

М472386

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи
УДК 621.952.8

КРАЙНЕВ Владимир Лазаревич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ
ПРИ РАСТАЧИВАНИИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА АВТОМАТИЧЕСКИХ
ЛИНИЯХ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

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

Москва – 1987

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Косилова А.Г.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Сизенов Л.К.

кандидат технических наук,
доцент Усов Б.А.

Ведущее предприятие - МПО "Станкоагрегат"

Защита диссертации состоится "15" февр. 1988 г.
на заседании специализированного Совета К 053.15.15 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени

одном экземпляре, заверенный
азанному адресу.

14.

дек. 1987 г.

Мещеряков МЕЩЕРЯКОВ Р.К.

M472386

Зак. 1146 Объем I п.л.
ни Н.Э.Баумана

Актуальность темы. Для отраслей машиностроения с массовым производством одним из важнейших направлений повышения эффективности производства является создание новых и улучшение использования созданных автоматических линий (АЛ), около половины которых предназначено для обработки корпусных деталей, где эффективность их применения наиболее высока.

Одним из главных условий эффективности АЛ является стабильное поддержание их точностной надежности, т.е. выдерживание всех размеров деталей в заданных полях допусков, что является задачей размерной настройки (РН).

РН при обработке на АЛ, где одновременно работают большие группы инструментов, обеспечивающие систему взаимосвязанных размеров, имеет особое значение, так как с увеличением концентрации обработки возрастают простои, связанные с заменой и регулировкой инструментов. Неправильная настройка или недопустимое смещение ее уровня хотя бы для одного из инструментов на АЛ приводит к браку или снижению качества обрабатываемых деталей.

Наиболее ответственной и трудоемкой из всех наладочных работ на АЛ является РН при растачивании основных отверстий корпусных деталей. Корпусные детали наиболее сложны, металлоемки и дорогостоящи. Их брак приводит к большим потерям. Точность корпусных деталей в значительной мере определяет качество узлов, собираемых на их базе. Концентрация инструментов на позициях обработки корпусных деталей наибольшая по сравнению с обработкой другого типа деталей.

На точность выдерживаемых размеров и на проведение настроечных работ существенное влияние оказывают тесно связанные с настройкой работы по замене инструмента и контролю размеров.

Замена, настройка инструмента, контроль размера на АЛ связаны также тем, что они выполняются одним человеком-наладчиком, ответственным за точность выдерживаемых размеров. Поэтому вопросы РН следует решать совместно с вопросами замены инструментов и контроля размеров на линии в рамках комплексной системы поддержания точности выдерживаемых размеров (ПТВР).

Система ПТВР включает: рациональные методы настройки, замены и контроля, а также средства для их осуществления, т.е. настроечные и контрольные приборы, типы конструкций крепления и регулировки инструмента; система ПТВР определяет также параметры, регламентирующие проведение данных работ: настроечные размеры, допус-

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1472386

Краинев В.П. Исследование и

Библиография

ки на настройку, контрольные границы, объем контрольных выборок, критерии замены инструментов, периодичность их проведения и некоторые другие параметры.

Эффективность системы ПТВР определяется степенью исключения брака по размерам, снижением простоев при настройке и смене инструмента, снижением трудоемкости работ по ПТВР.

Цель работы. Разработка системы поддержания точности выдерживаемых размеров основных отверстий корпусных деталей на АЛ и инженерной методики ее проектирования, обеспечивающих снижение связанных с проведением настроечных работ трудовых затрат, брака и простоев оборудования.

Методы исследования. Исследование системы ПТВР выполнено расчетно-аналитическими и экспериментальными методами. Математическое описание зависимостей эффективности системы от ее параметров получено на основе технологических расчетов погрешностей обработки, возникающих при многоинструментном растачивании отверстий, экономических расчетов составляющих затрат на ПТВР с использованием аппарата теории вероятностей и математической статистики, теории сложных систем и сопротивления материалов. Решение задач ПТВР осуществлено методом моделирования работ по ПТВР на ЭВМ ЕС-1022.

Проведены экспериментальные исследования факторов, влияющих на точность выдерживаемых параметров при растачивании - размерного износа и составляющих погрешности РН, на расточных позициях действующих автоматических и поточных линий и в лабораторных условиях.

Научная новизна. 1. Разработана комплексная система ПТВР для участков растачивания основных отверстий корпусных деталей на АЛ, включающая настройку, смену инструмента, контроль размеров и определяющая методы, средства, параметры и порядок оптимального проведения этих работ. 2. Выявлены зависимости эффективности системы ПТВР от ее параметров на основе разработанных математических моделей процессов изменения выдерживаемых размеров и проведения работ по ПТВР на АЛ. 3. Разработана научно-обоснованная методика автоматизированного проектирования системы ПТВР для участков АЛ чистового и получистового растачивания основных отверстий корпусных деталей, позволяющая повышение точности и производительности АЛ.

Практическая ценность. Практическую ценность работы представ-

ляют:

1. Математическая модель системы ПТБР и разработанная на ее основе программа, позволяющая производить автоматизированный расчет параметров настройки, смены инструмента и контроля размеров, а также оценку вариантов методов и средств проведения этих работ.

2. Результаты исследования износа резцов и разработка исходных данных для расчета величины размерного износа при чистовом и получистовом растачивании чугунных деталей для инструментальных материалов и режимов резания, соответствующих условиям обработки на АЛ.

3. Результаты экспериментальных исследований погрешности закрепления на станке сменных инструментов: расточных резцов, многогранных неперетачиваемых пластин, резцовых блоков, расточных оправок различных конструкций.

4. Рекомендации по выбору методов и средств размерной настройки по точности и трудоемкости выполнения этих работ.

Реализация работы. Результаты работы в виде методики проектирования системы ПТБР и его программного обеспечения переданы Мос.СКСБ АЛ и АС для проведения проектно-конструкторских и проектно-технологических работ.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры АМ-3 МВТУ им.Н.Э.Баумана 1985 г., 1986 г., 1987 г.

Публикации. Материал диссертации отражен в 3 публикациях. Получено 1 авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, изложенных на 150 страницах машинописного текста. Работа содержит 137 рисунков, 28 таблиц, приложения на 26 страницах, включающего описание программы расчета для ЭВМ, и список литературы из 103 наименований.

В первой главе содержится обзор состояния вопросов проведения настроечных работ. Проведен анализ простоев АЛ при настройке и смене инструментов. По различным данным они составляют 6-12% общего фонда времени в среднем по всем позициям АЛ. Но как показывают проведенные производственные исследования, на участках чистового растачивания простой по вине инструмента значительно выше - 12-17,5%.

Потери времени по инструменту зависят от частоты проведения поднастроек и замен инструмента, определяемой его размерной и

общей стойкостью, а также от трудоемкости их проведения, зависящей от применяемых методов настройки, настроечной и контрольной оснастки, конструкции крепления инструмента и организации обслуживания.

Необходимость проведения поднастроек и замен режущего инструмента при чистовом растачивании на АЛ вызвана в основном его затуплением, следствием которого является размерный износ и увеличение сил резания. Вследствие случайного характера изменения первичных погрешностей обработки, изменение выдерживаемых размеров по мере обработки также является случайным процессом с математическим ожиданием $(MO)X(t)$ и средним квадратическим отклонением $(СКО)\delta X(t)$, изменяющимися во времени обработки партий деталей. Для рационального поддержания точности размеров с учетом их изменения в работах Яхина А.Б., Соколовского А.П., Кована В.М., Корсакова В.С., Балакшина Б.С., Комиссарова В.И., Кубарева А.И. и других авторов предложены следующие параметры: рациональный настроечный размер, допуск на настройку, границы контрольного допуска, периодичность настройки и контроля. Гонимым Н.Г. предложена совместная оптимизация этих параметров. Однако параметры настройки рассматриваются для одного инструмента и не учитывают особенностей их изменения при работе многоинструментных наладок.

Для снижения потерь при смене режущего инструмента Волчковичем Л.И., Герцбахом И.В., Дашенко А.И. и другими авторами предложены различные варианты стратегии его замены. Они основаны на нахождении оптимального момента плановой замены инструмента, исходя из минимума потерь от недоиспользования его режущей способности и от его случайных отказов при известном законе распределения стойкости инструмента. Для частичного совмещения времени замены разработаны различные варианты стратегий групповой замены. Однако планово-предупредительная и групповая стратегия замены инструмента не связаны с точностью выдерживаемых размеров и с процессом их изменения. При этом рассматриваются в основном осевые инструменты.

На основании проведенного анализа для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: 1) разработать математическую модель изменения выдерживаемых размеров (диаметральных и осевых) при многоинструментном растачивании основных отверстий корпусных деталей на АЛ; 2) разработать систему поддержания точности выдерживаемых размеров (ПТВР) на участках АЛ чистового и получистового растачивания; 3) провести исследование факторов,

изменяющих выдерживаемые размеры, в производственных и лабораторных условиях, разработать нормативные данные для расчета характеристик размерного износа резцов при условиях обработки, наиболее типичных для растачивания корпусных деталей на АЛ; 4) исследовать зависимость эффективности системы ПТВР от ее параметров, разработать расчет и программу для ЭВМ определения оптимальных методов, средств и параметров ПТВР; 5) разработать методику проектирования системы ПТВР.

Во второй главе содержится анализ условий проведения работ по ПТВР при многоинструментном растачивании отверстий корпусных деталей на АЛ. Работы по ПТВР включают в себя работы по замене инструмента, его регулировке, предварительной и окончательной настройке, поднастройке и контролю размера. Проведены анализ и классификация методов и средств ПТВР, применяющихся при растачивании основных отверстий корпусных деталей.

Проведены анализ и расчеты погрешности настройки при применении различных методов и средств ПТВР. Одной из существенных составляющих погрешности настройки является погрешность, возникающая при фиксации инструмента после его регулировки. Поэтому для тонкой настройки целесообразно применять конструкции крепления инструментов, позволяющие его регулировку без расфиксации.

Выявлено, что при автоподнастройке возникает дополнительная составляющая погрешности — погрешность определения момента поднастройки $\Delta_{\text{о.м.н.}}$. Она возникает вследствие настройки на величину поднастроечного импульса от центра группирования размера, имевшегося до поднастройки, а не на определенный настроечный размер, как при остальных методах. Погрешность $\Delta_{\text{о.м.н.}}$ характеризует разброс положения центра группирования размера, при котором возможна подача команды на поднастройку. Величина $\Delta_{\text{о.м.н.}}$ зависит как от величины мгновенного рассеяния $\delta_{\text{мгн}}$, так и от интенсивности размерного износа U_0 . Для ее определения построена графическая зависимость удельной величины $\delta_{\text{о.м.н.}}/\delta_{\text{мгн}}$ от соотношения $U_0/\delta_{\text{мгн}}$. Величина $\Delta_{\text{о.м.н.}}$ значительна и может составлять до 80% всей погрешности автоподстройки.

При проектировании системы ПТВР для многорезцовых наладок необходимо учитывать особенности, возникающие вследствие совмещения работы инструментов, заключающиеся в силовом взаимодействии; совместном влиянии размерного износа и тепловых деформаций каждого из резцов на точность размеров, образуемых двумя поверхностями;

совмещении их обслуживания. Для учета этих особенностей проведен ряд расчетов.

Проведен расчет упругих отжатий каждого из резцов многоинструментной оправки от сил резания, действующих на все резцы. При этом, вследствие неодновременности вступления резцов в работу, следует для каждой цилиндрической поверхности рассматривать в общем случае несколько участков, соответственно числу резцов в оправке с разным МО и СКО размера, зависящих от комбинации резцов, участвующих в работе при обработке данного участка. МО и СКО размеров на всех участках находятся в корреляционной связи между собой. Поэтому при обработке многоинструментной оправкой значительно расширяется поле разброса размера, а также возникает дополнительная составляющая погрешности формы в осевом сечении отверстия.

Дано математическое описание процесса изменения выдерживаемых размеров при различных схемах обработки, как для диаметральных, так и для осевых размеров с учетом проведения работ по ПТВР. Роль оси времени играет число обработанных деталей N , являющееся общим для всех резцов. При этом определяются МО максимального $X_{max i}(N)$ и минимального $X_{min i}(N)$ размера, а также их СКО $\delta X_i(N)$, являющиеся суперпозициями МО и СКО первичных погрешностей обработки.

Изменение осевых размеров складывается из изменения положения двух торцов в течение обработки. При этом элементарные погрешности, такие как размерный износ и тепловые удлинения шпинделя, при наложении могут, в зависимости от схемы обработки, как суммироваться, так и частично или полностью компенсироваться.

Проведен расчет трудоемкости работ по поддержанию точности группы размеров. Средневероятностная трудоемкость работ по поддержанию точности при единичной остановке участка АЛ для проведения групповой настройки или замены инструментов складывается из трудоемкости основных работ, т.е. смен и поднастроек, вспомогательных, подготовительных работ, настройки вне станка, контроля размеров. Средневероятностная трудоемкость каждой из работ зависит как от ее длительности, так и вероятности настройки по данному размеру. Длительность каждой из работ состоит из длительности элементарных приемов, состав которых связан с методом ПТВР. Длительность элементарных приемов найдена методом микроэлементарного анализа и частично взята из нормативов ВАЗа, которые также разработаны на основе микроэлементарного анализа.

Разработанные расчеты оформлены в виде отдельных подпрограмм для ЭВМ и могут использоваться для решения других задач.

На основе анализа условий поддержания точности, обобщения теоретических и практических разработок, анализа работы наладчиков расточных участков АЛ автомобильных заводов разработана система рационального проведения работ по ПТВР на участках чистового и получистового растачивания корпусных деталей на АЛ. Она сочетает плановость их проведения и гибкость, необходимую при имеющемся большом разбросе как размерной, так и общей стойкости инструментов.

ПТВР на каждом участке АЛ, обслуживаемом обычно одним наладчиком, проводится автономно, вследствие гибкой связи между участками. Рабочая смена для участка разбита на целое расчетное число периодов планового обслуживания и межконтрольных интервалов, продолжительность которых определяется инструментами с наименьшей размерной стойкостью.

Поднастройка отдельных инструментов производится по результатам планового контроля при выходе центра группирования размера за расчетную контрольную границу. При выходе центра группирования за границу групповой настройки поднастройка по этому размеру производится совместно с группой других размеров. Этим определяется гибкость проведения групповых поднастроек.

После настройки или поднастройки производится контроль размера, и если его центр группирования не попадает в поле допуска на настройку, то производится повторная настройка по этому размеру.

Смена инструмента производится по результатам планового осмотра при его износе до определенной величины, или после определенного числа поднастроек, после которого дальнейшая его эксплуатация ведет к учащению поднастроек и тем самым к увеличению простоев.

Итак, задачи разрабатываемой методики ПТВР состоят в том, чтобы для рассматриваемых выдерживаемых размеров определить оптимальные условия поддержания их точности:

1. Методы и средства ПТВР — M_i , для предварительной и окончательной настройки, поднастройки, замены инструмента, контроля размера.

2. Семь целочисленных параметров: межконтрольный интервал $N_{м.к. i}$, кратный минимальному на участке; период, в течение кото-

того контроль после очередной настройки не требуется $N_{б.і}$; период между плановыми осмотрами инструмента $N_{о.і}$; число поднастроек до смены $N_{п.і}$; объем контрольной выборки $N_{к.і}$; объем настроечных выборок $N_{1і}$ и $N_{2і}$ для метода настройки по размерам обработанных деталей.

3. Девять параметров, являющихся непрерывными переменными: настроечный размер предварительной и окончательной настройки $X_{н.пр.і}$, $X_{н.і}$, как рабочие, так и статические, границы поля допуска на настройку $X_{н.н.і}$, $X_{н.в.і}$, контрольные границы $X_{к.в.і}$, $X_{к.н.і}$, границы групповой настройки $X_{г.в.і}$, $X_{г.н.і}$, контрольную величину износа по задней поверхности инструмента $h_{з.і}$. Для промежуточных размеров необходимо определить также допуск $T_{х.і}$.

В третьей главе рассматривается задача оптимизации системы ПТВР. Вследствие совмещения работ по поддержанию точности, параметры ПТВР находятся во взаимосвязи, т.е. изменение одних параметров вызывает изменение оптимального значения других параметров как для данного размера, так и для других размеров. Поэтому определение оптимальных параметров ПТВР возможно только при комплексном подходе, предусматривающем совместную оптимизацию параметров для рассматриваемых размеров.

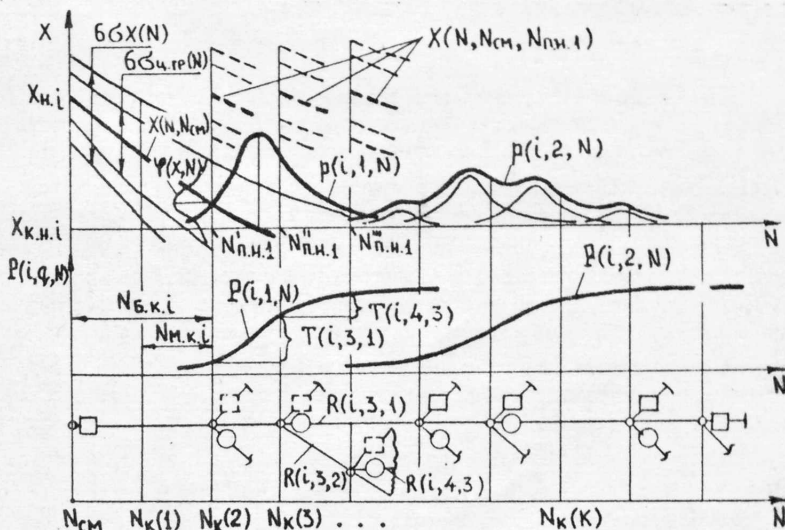
Критерием оптимальности, определяющим эффективность системы ПТВР, является минимум затрат Z , приведенных к одной готовой детали. Это с одной стороны потери от брака $Z_{бр}$, зависящие от надежности системы, и с другой – затраты на поддержание ее надежности, в которые входят затраты на обслуживание $Z_{обсл}$ (смену, поднастройку и контроль), потери от простоев при обслуживании $Z_{пр}$, затраты на режущий инструмент $Z_{инс}$, затраты на настроечную и контрольную оснастку $Z_{осн}$:

$$Z = Z_{бр} + Z_{обсл} + Z_{пр} + Z_{инс} + Z_{осн} . \quad (I)$$

Для расчета затрат была построена статистическая модель процесса проведения работ по ПТВР на АЛ. При принятой гибкой стратегии проведения смен и поднастроек этот процесс является случайным. При этом момент смены инструмента $N_{см}$ и очередной q -й поднастройки по i -му размеру $N_{п.н.}(i, q)$ не определены, так как эти работы проводятся по результатам контроля величин износа режущих инструментов и положения центра группирования выдерживаемых размеров, процессы изменения которых случайны.

Вероятность того, что q -ю поднастройку по i -му размеру

$P(i, q)$ зависит от случайного процесса изменения положения центра группирования i -го размера во времени обработки - $X(N)$, $\Delta_{\text{ц.гр.}}(N)$.



□ - смена инструмента; ○ - поднастройка; ● - контроль размера; [] - маловероятная реализация.

Моделирование производилось на отрезке в N_{Σ} обработанных

деталей, позволим получить достаточную точность расчета. При этом приведенные затраты $Z(N_{\Sigma})$ рассчитываются по формуле

$$Z(N_{\Sigma}) = Z_{\Sigma}(N_{\Sigma}) / N_{\Sigma}, \quad (2)$$

где $Z_{\Sigma}(N_{\Sigma})$ - суммарные затраты по ПТВР при обработке N_{Σ} деталей.

Соответствующие статьи затрат определяются по формулам

$$Z_{\Sigma \text{обсл}}(N_{\Sigma}) = C_{\text{обсл}} \cdot \Theta_{\Sigma \text{обсл}}(N_{\Sigma}), \quad (3)$$

$$Z_{\Sigma \text{пр}}(N_{\Sigma}) = C_{\text{пр}} \cdot \Theta_{\Sigma \text{пр}}(N_{\Sigma}), \quad (4)$$

$$Z_{\Sigma \text{бр}}(N_{\Sigma}) = C_{\text{бр}} \cdot N_{\Sigma \text{бр}}(N_{\Sigma}), \quad (5)$$

где $C_{\text{бр}}$ - потери от брака I детали, руб.; $C_{\text{обсл}}$, $C_{\text{пр}}$ - потери за I мин. соответственно обслуживания и простоя; $N_{\Sigma \text{бр}}(N_{\Sigma})$, $\Theta_{\Sigma \text{обсл}}(N_{\Sigma})$, $\Theta_{\Sigma \text{пр}}(N_{\Sigma})$ - соответственно число бракованных деталей, суммарное время обслуживания и простоя.

На каждом участке АЛ моделирование производится только с учетом наложения простоев и брака между участками. Для каждого участка отрезок моделирования N_{Σ} разбивается на интервалы между соседними актами контроля, на которых случайные процессы изменения выдерживаемых размеров описываются гладкими кривыми. Число бракованных деталей, время обслуживания и простоя накапливаются по отдельным интервалам:

$$N_{\Sigma \text{бр}} = \sum_{k=1}^{N_{\text{ц}}} [N_{\text{бро}}(k) + N_{\text{брен}}(k)], \quad \Theta_{\Sigma \text{обсл}} = \sum_{k=1}^{N_{\text{ц}}} \Theta_{\text{обсл}}(k), \quad \Theta_{\Sigma \text{пр}} = \sum_{k=1}^{N_{\text{ц}}} \Theta_{\text{пр}}(k), \quad (6)$$

где $N_{\text{ц}} = N_{\Sigma} / N_{\text{м.к. min}}(u)$ - число актов контроля на отрезке моделирования, $N_{\text{м.к. min}}(u)$ - минимальный межконтрольный интервал на u -м участке АЛ, являющийся шагом моделирования, $N_{\text{бро}}(k)$, $N_{\text{брен}}(k)$ - число бракованных деталей между k -м и $k+1$ -м актами контроля (на k -м шаге моделирования) соответственно при обработке и при настройке, $\Theta_{\text{обсл}}(k)$, $\Theta_{\text{пр}}(k)$ - соответственно время обслуживания и простоя при k -м акте контроля.

k -й шаг моделирования заключается в определении величин $N_{\text{брен}}(k)$, $N_{\text{бро}}(k)$, $\Theta_{\text{обсл}}(k)$, $\Theta_{\text{пр}}(k)$ и расчете вероятности смены инструмента или очередной поднастройки по каждому из размеров при данном шаге. Средневероятностное число бракованных деталей при обработке на k -м шаге моделирования определяется следующим образом:

$$N_{\text{бро}}(k) = \sum_{i=1}^{N(k+1)} [1 - P_{\text{БР}}(i, e, N) \cdot T(i, k, e)], \quad (7)$$

где $Q(i, k)$ – число рассматриваемых (кроме маловероятных) реализаций процесса проведения работ по поддержанию точности i -го размера на k -м шаге моделирования; R_u – число выдерживаемых размеров на u -м участке; $F_{\text{бр}}(i, \ell, N)$ – вероятность брака N -й детали по i -му размеру в случае ℓ -й реализации.

Аналогично рассчитываются средневероятностные величины времени обслуживания и простоев на k -м шаге моделирования.

Затраты на инструмент $Z_{\text{инс}}$ рассчитывается в конце моделирования по среднему числу замен каждого инструмента.

Разработанная модель позволяет получить зависимости эффективности системы ИТВР от каждого из искомых параметров. Характер этих зависимостей определяется двумя противоположными тенденциями, что позволяет находить оптимальные значения всех искомых параметров. Так оптимальное положение границы групповой настройки $X_{\text{г.н. } i}$ определяется тем, что при ее удалении от контрольной границы $X_{\text{к.н. } i}$ с одной стороны снижается средневероятностная трудоемкость вспомогательных и подготовительных работ по поддержанию точности за счет их совмещения для группы выдерживаемых размеров, но с другой стороны увеличивается средневероятностная трудоемкость основных работ вследствие учащения смен и поднастроек. Вследствие независимости параметров, являющихся координатами n -мерного пространства, функция приведенных затрат также имеет глобальный минимум. Оптимальность варианта методов и средств ИТВР определяется не точкой, а областью, в которой данный вариант имеет преимущество перед другими. Положение границ области определяется условиями поддержания точности.

Расчет параметров и определение вариантов ИТВР для конкретных позиций АЛ производится на основе данных о полях допусков, схемах обработки, режимах резания, жесткости технологической системы, размерах оправок, о структуре АЛ, экономических параметрах. Параметры, являющиеся непрерывными переменными, определяются методом многопараметрической оптимизации. Целочисленные параметры определяются методом направленного перебора за конечное число шагов.

Выбор варианта определяется путем сравнения ограниченного числа предварительно отобранных вариантов, по каждому из которых производится расчет суммарных приведенных затрат.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований факторов, влияющих на точность размеров растачиваемых

мых отверстий корпусных деталей. Исследования проводились с целью получения зависимостей и нормативных данных для проектирования системы ПТВР при условиях, наиболее типичных для растачивания чугунных корпусных деталей на АЛ.

Были проведены исследования размерного износа расточных резцов и его влияния на точность растачиваемых отверстий в производственных условиях. В ходе исследований установлено, что размерный износ является основным фактором, изменяющим диаметральные размеры при чистовом и получистовом растачивании.

Анализ кривых размерного износа, полученных при различных условиях обработки, показал, что практически во всех случаях наблюдается увеличение интенсивности размерного износа после прохождения резцом определенного пути резания и достижения больших величин размерного износа, часто задолго до достижения рекомендуемых для чистовой обработки на АЛ критериев стойкости твердосплавных резцов.

Увеличение интенсивности размерного износа приводит к учащению поднастроек, а следовательно к увеличению простоев. Поэтому определенная степень увеличения интенсивности размерного износа, или практически определенное число поднастроек может служить дополнительным критерием замены инструмента в случае, когда размерная стойкость в несколько раз меньше общей стойкости резца.

Характеристики размерного износа, полученные в одних и тех же условиях обработки, имеют значительный разброс (до 200%), что вызвано большим разбросом как физических характеристик твердого сплава, так и, в особенности, твердости материала заготовок.

Исследование твердости материала заготовок на заводах показывают, что ее разброс превышает допустимые значения на 60-100%, что является дестабилизирующим фактором автоматической обработки.

Для исследования размерного износа, а также влияния разброса твердости материала заготовки на характеристики износа резцов при различных условиях обработки были проведены исследования в лабораторных условиях при растачивании гильзы цилиндра ЗИЛ.

В соответствии с планом эксперимента были отобраны 3 группы гильз с разбросом твердости в пределах 200 МПа. В ходе исследования одновременно измерялись диаметры расточенных отверстий, статический настроечный размер резца, износ по задней поверхности h_3 , размерный износ резца ΔH , а также исследовалась топография износа с помощью проектора и микроскопа.

Установлено, что зависимость $\Delta U(h_3)$ при чистовом и получистовом растачивании чугуна твердосплавными резцами с криволинейным режущим лезвием имеет нелинейный характер. Нелинейность увеличивается с ростом глубины резания и радиуса при вершине резца, и уменьшается с ростом твердости заготовок, скорости резания и подачи. Эта нелинейность приводит к увеличению интенсивности размерного износа по мере изнашивания резца.

Зависимость $\Delta U(h_3)$ имеет значительно меньший разброс, чем зависимость $\Delta U(\ell)$ и $h_3(\ell)$, где ℓ — путь резания, тыс. м. Поэтому принят расчет размерного износа через величину износа по задней поверхности в виде

$$\Delta U(h_3) = D_1 + D_2 \cdot h_3 + D_3 \cdot h_3^{D_4}, \quad (8)$$

где константы D_i представлены в виде степенных зависимостей от параметров обработки

$$D_i = A_{i1} \cdot V^{A_{i2}} \cdot S^{A_{i3}} \cdot t^{A_{i4}} \cdot HB^{A_{i5}} \cdot Z^{A_{i6}}, \quad (9)$$

где V — скорость резания, м/с; S — подача, мм/об; t — глубина резания, мм; Z — радиус при вершине резца, мм; HB — твердость материала заготовки, МПа; $A_{i1} - A_{i6}$ — найденные коэффициенты и показатели степеней.

Для расчета погрешности установки на станке предварительно настроенного инструмента были проведены исследования погрешности от его закрепления для различных конструкций сменного инструмента: резцов, неперетачиваемых пластин, резцовых блоков, расточных оправок. Исследования проводились путем многократного перезакрепления инструмента и фиксации при этом отклонений его положения. Установлено, что погрешности закрепления (3–20 мкм) с учетом других погрешностей позволяют применять вышеперечисленные предварительно настраиваемые инструменты без последующей окончательной настройки на станке для обработки отверстий не выше 9–10 классов точности.

В пятой главе представлена методика проектирования системы ПТВР. В качестве примера взята разработка системы ПТВР для расточных участков А1 обработки картера редуктора заднего моста (КРЗМ) завода ВАЗ.

Система ПТВР проектируется в несколько этапов. На I-м этапе проводится технологический анализ операции растачивания; выбор главных размеров, оказывающих наибольшее влияние на точность

детали и на проведение настроечных работ, для автоматизированного проектирования системы поддержания их точности; предварительный отбор целесообразных методов и средств ПТВР в нескольких вариантах; подготовка данных для машинного расчета. Предварительный отбор вариантов производится на основании разработанных рекомендаций, исходя из требуемой точности и условий обработки.

На 2-м этапе производится автоматическое проектирование системы поддержания точности основных размеров.

На 3-м этапе производится выбор рациональных методов и средств поддержания точности остальных размеров, выдерживаемых на расточных участках. При этом они должны быть по возможности унифицированы с оптимальными методами и средствами поддержания точности главных размеров. Рациональные параметры поддержания точности остальных размеров следует выбирать из рекомендуемых зависимостей целевой функции системы от ее параметров и условий ПТВР.

На 1-м и 3-м этапах работы производится технологом. На 2-м, наиболее трудоемком, производится машинный расчет по разработанной программе.

Ожидаемый экономический эффект от применения разработанной системы ПТВР в данном примере составил 59080 руб./год.

В приложении к работе представлена программа автоматизированного проектирования системы ПТВР с комментариями для пользователей, блок-схема и описание программы. Приложены вспомогательные табличные данные, необходимые для расчетов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Для условий многоинструментной обработки разработана научно обоснованная система поддержания точности выдерживаемых размеров (ПТВР), охватывающая комплекс взаимосвязанных работ по текущему контролю размеров, настройке, смене инструментов и определяющая оптимальные методы, средства, параметры и периодичность проведения этих работ. Разработанная система обеспечивает ее максимальную эффективность, т.е. степень снижения брака, простоев АЛ и трудоемкости работ по поддержанию точности размеров.

2. В результате исследований установлено, что при растачивании многоинструментными оправками отверстий по 7-8 квалитетам точности с учетом погрешности формы (3-20 мкм), разброса упругих отжатий (5-10 мкм), погрешности настройки (5-20 мкм) допустимая величина размерного износа между поднастройками не должна превы-

шать 5-15 мкм. Поэтому на участках чистового растачивания корпусных деталей необходим оптимальный режим ПТВР, позволяющий сократить потери при смене и регулировке инструмента, составляющие 12-18% общего фонда времени.

3. Выявлено, что разброс твердости чугунных корпусных деталей превышает допустимый в 1,5-2,5 раза. Вследствие этого разброс упругих отжатый возрастает в 1,5-2 раза, и размерная стойкость резцов имеет разброс, превышающий ее средние значения, что существенно дестабилизирует процесс автоматической обработки и затрудняет его статистическое регулирование.

4. При имеющемся большом разбросе размерной стойкости инструментов и ее непостоянстве в течение обработки рекомендуется проведение групповых настроек и поднастроек по результатам планового контроля размеров при выходе их центра группирования за расчетные контрольные границы. Эта гибкая стратегия позволит более полно использовать размерную стойкость инструментов и увеличить эффективность ПТВР на 5-10%.

5. При растачивании многорезцовыми оправками вследствие неодновременности вступления резцов в работу в осевом сечении отверстия возникает дополнительная составляющая погрешности формы. Величина этой погрешности достигает 8-10 мкм и увеличивается по мере износа каждого из резцов наладки. Поэтому предельная величина износа должна быть ограничена не только для главных, но и для других резцов наладки.

6. Установлено, что применение быстросменных предварительно настраиваемых оправок эффективно для фланцевой байонетной оправки при числе резцов не менее 3-4, для оправки с базовым цилиндрическим хвостовиком - не менее 2. Эффективность их применения снижается с уменьшением полей допусков на размеры и с удалением резцов от фланца оправки.

7. С целью повышения точности настройки рекомендуется применение конструкций креплений инструмента, позволяющих его тонкую регулировку без расфиксации, в частности блок "Микробор" и оправку, предложенную в данной работе, позволяющих исключать погрешность фиксации резцов (5-20 мкм) и повысить точность настройки до 5-10 мкм вместо 15-50 мкм.

8. Установлено, что применение автоподнастройки наиболее эффективно при обработке отверстий чугунных деталей с твердостью выше 1800 МПа со скоростями резания свыше 2,2 м/с при точности

размера по 6-8 квалитетам.

9. Разработанную методику и программу для ЭВМ автоматизированного проектирования системы ПТВР рекомендуется применять на стадии проектирования АЛ для выбора оптимальных методов и средств настройки, контроля, типов конструкции крепления и регулировки инструментов, а также при эксплуатации АЛ для расчета оптимальных настроечных размеров, допусков на настройку, контрольных границ, периодичности контроля размеров и других параметров. Внедрение разработанной методики позволит сократить затраты на поддержание точности на 25%.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Крайнев В.Л. Размерный износ при чистовом растачивании вского чугуна // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1984. - № 6. - С.114-117.

2. Косилова А.Г., Крайнев В.Л., Гемба И.Н. К вопросу об определении контрольной границы и погрешности настройки при растачивании отверстий деталей с применением автоподнастройки // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1985. - № 1. - С.117-121.

3. Косилова А.Г., Крайнев В.Л. Исследование эксплуатационной точности многоинструментных наладок при растачивании ступенчатых отверстий на агрегатных станках // Межвузовский сборник трудов "Обеспечение технологической точности и надежности деталей автомобильной техники". / Под ред. В.В.Нищеты. - М.: Завод-вуз при ЗИЛе, 1986. - С.31-32.

4. А.С. №166906 (СССР) МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная оправка / В.Л.Крайнев. № 3626375/25-08; Заявлено 27.07.83; Опубликовано 15.07.85, Бюл. №26 // В.И. - 1985. - № 26. - С.36.