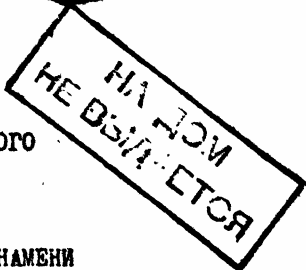


М 360086.
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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



На правах рукописи

Шумейко Иван Алексеевич

ОЦЕНКА ТОЧНОСТНОЙ НАДЕЖНОСТИ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЕЕ ВО ВРЕМЕНИ

05.03.01 - Процессы и машины обработки материалов
резанием; автоматические линии.

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1980

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

Научный руководитель - засл. деятель науки и техники
РСФСР, доктор технических наук,
профессор А.С.Проников

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Б.А.Дубовиков;
кандидат технических наук,
доцент А.А.Шатилов

Ведущее предприятие - Горьковский им. В.И.Ленина
завод фрезерных станков

Защита состоится " _____ " _____ 1980 года в
_____ часов на заседании специализированного Совета
К053.15.15. по технологии машиностроения при МВТУ им. Н.Э.Бау-
мана по адресу: Моск. _____ К-5, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваши отзывы
печатью, просим

енных

С диссертаци
им. Н.Э.Баумана

Авторефер

0 г.

Ученый се

в

М/360086

Л-65542 Под
Ротапринт МВУ

ир.100 экз.
д. 5.



1360086

Шунайко И.А. Оценка точност

- ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Важнейшей задачей развития народного хозяйства СССР в 10-й пятилетке является повышение качества выпускаемой продукции. Особенно это относится к металлорежущим станкам, от технологической надежности которых зависит качество выпускаемой на них продукции.

Большие резервы повышения технологической надежности металлорежущих станков могут быть вскрыты при оценке состояния станка по параметру запаса точностной надежности и его изменения во времени. Для решения этой задачи необходимо оценить все основные факторы, влияющие на изменение параметров станка с течением времени, определить запас станка по точности и дать прогноз о времени израсходования этой точности.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является создание частной методики по оценке точностной надежности станков фрезерной группы по параметрам отклонений размера, расположения и формы обрабатываемых поверхностей с рассмотрением процессов формирования и изменения отклонений во времени с учетом вероятностного характера входных параметров.

Для достижения указанной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Выявить степень влияния входных точностных параметров станка на формирование отклонений размера, расположения и формы поверхностей обрабатываемых деталей (выходные параметры).

2. Разработать математическую модель формирования отказа по указанным выходным параметрам детали для станков фрезерной группы на примере вертикально-фрезерного станка с программным управлением (ПУ).

3. Экспериментально проверить степень адекватности модели и реального процесса формирования точностных параметров при обработке на фрезерном станке.

4. Разработать основные положения по прогнозированию безотказности работы станков фрезерной группы с ПУ в условиях обработки малых партий деталей.

5. Показать, что разработанный методический подход по оценке точностной надежности и прогнозирования изменения ее во времени применим для фрезерных станков в разнообразных видах производства.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на основе положений надежности машин с применением методов теории вероятностей. Экспериментальные исследования по оценке точностной надежности проводились с использованием современной аппаратуры в лабораторных условиях на вертикально-фрезерном станке мод. 676 с ПУ и в производственных условиях на агрегатно-фрезерном станке мод. АМ-4834. Обработка и анализ экспериментальных данных проводились методами теории вероятностей и математической статистики.

Научная новизна. До последнего времени точностная надежность металлорежущих станков оценивалась, как правило, по параметру отклонения размера. Специальных исследований, посвященных точностной надежности фрезерных станков по другим выходным параметрам, практически не проводилось. В данной работе сделана попытка оценить точностную надежность фрезерного станка не только по параметру отклонения размера, но и по параметрам отклонений формы и расположения. Разработаны методы оценки степени влияния на точностную надежность геометрии станка, упругих отжаты и тепловых деформаций его узлов, погрешности позиционирования. Рассмотрен процесс формирования погрешностей обработки основными узлами станка и системой программного управления.

Практическая ценность. Разработанная методика по оценке точностной надежности фрезерного станка по параметрам отклонений: размера, расположения и формы позволяет вскрывать резервы повышения надежности станков находящихся в эксплуатации. Получаемая в результате исследований по разработанной методике модель точностной надежности позволяет:

1) выявлять те входные параметры станка, которые оказывают влияние на формирование отклонений расположения и формы и которые не могут быть компенсированы путем подналадки; назначать межналадочный период из условия наиболее эффективного использования станка; 2) назначать уровень наладки с максимальным запасом точности по отклонению размера. Разработанный методический подход дает возможность производить прогнозирование изменения точностных параметров станка для заданных условий эксплуатации.

Апробация работы. Диссертационная работа была доложена на заседании кафедры "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана в январе 1979 года. По основным разделам работы были сделаны доклады на научно-теоретических семинарах.

нарах упомянутой кафедры в 1976 и 1977 гг., на научно-технической конференции Павлодарского индустриального института в 1976 году, на IV-ой и V-ой научно-технических конференциях молодых ученых и специалистов в 1976, 1977 годах, состоявшихся на Московском автомобильном заводе им. И.А.Лихачева.

Публикации. По результатам работы опубликовано четыре статьи, выполнен один научно-технический отчет.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из четырех глав и общих выводов. Содержит 139 страниц основного текста, 90 рисунков, 24 таблицы, список литературы из 70 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дается обзор по методам оценки надежности металлорежущих станков, обосновывается необходимость оценки точностной надежности станков по параметрам отклонений размера, расположения и формы и прогнозирования изменения ее во времени. Дается анализ методов оценки точностных параметров станка и процессов различной скорости и их влияния на точностную надежность, обосновывается выбор объекта исследований.

В настоящее время одним из основных методов оценки надежности станков является метод оценки на основе статистических данных. Основным недостатком данного метода является необходимость иметь достаточное число станков работающих длительное время. Для устранения недостатков этого метода применяют ускоренные испытания на надежность путем форсирования режимов. Но всякое форсирование процесса потери точности станком искажает реальную картину. За основу при разработке методики по оценке точностной надежности в работе взяты следующие принципы:

- 1) проведение кратковременных испытаний с введением показателя запаса надежности по данному параметру функционирования;
- 2) быстрое получение информации при наличии высокочувствительных методов;
- 3) испытания на надежность должны сочетаться с прогнозированием.

За основу при разработке модели точностной надежности принята общая модель потери машиной работоспособности, разработанная профессором А.С.Прониковым. Частный случай ее реализация для оценки потери станком работоспособности по параметру отклонения размера дает возможность разработать модель, позволяющей оценить точностную надежность самого станка как средства производства по таким выходным параметрам обрабатываемой

поверхности детали как отклонение формы и расположения. Эти параметры имеют не меньшее значение для надежности будущих машин, чем отклонение размера.

По методам оценки точности обработки проанализированы работы советских ученых Н.А.Бородачева, А.П.Соколовского, Б.С.Балакшина, В.М.Кована, В.С.Корсакова, А.Н.Гаврилова и других. В настоящее время существует множество различных методов оценки точности обработки: методы кривых распределения и точечных диаграмм, расчетно-аналитический и другие. Они позволяют оценивать в основном формирование отклонения размера, оценка же формирования отклонений расположения и формы, как правило, затруднительна. В существующих работах формирование выходных параметров оценивается в основном с технологической точки зрения, т.е. из-за влияния приспособления, неравномерности припуска и твердости детали, ее жесткости, режущего инструмента и т.д. В них рассматривается потеря точности как правило по параметру отклонения размера за межналадочный период. Возникает необходимость в исследовании влияния параметров самого станка на образование отклонений расположения и формы. Эта задача усложняется изменением указанных отклонений с течением времени в основном из-за потери станком точности.

В качестве объектов исследования выбраны станки фрезерной группы, получивших широкое применение в машиностроении, а также в связи с отсутствием работ по исследованию их точностной надежности.

Во второй главе изложены теоретические положения по оценке точностной надежности по параметрам отклонений размера, расположения и формы применительно к обработке на вертикально-фрезерном станке с ПУ с учетом вероятностного характера составляющих входных параметров станка и технологической системы в целом. При этом влияние входных параметров на формирование указанных отклонений рассматривается во времени. На основе изложенных положений разработана модель точностной надежности фрезерного станка по параметрам отклонений размера, расположения и формы с последующим расчетом коэффициентов запаса точности, способствующих изысканию резервов по повышению точностной надежности.

Значение выходного параметра детали по точности может быть представлено в виде вектора $Z = (z_1, z_2, z_3 \dots z_n)$, описываемого многомерным нормальным законом распределения при условии

независимости составляющих с плотностью вероятности

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n \cdot |K|}} \cdot e^{-\frac{1}{2}(Z-\mu)' \cdot K^{-1}(Z-\mu)},$$

где K - ковариационная матрица; $|K|$ - определитель матрицы; μ - вектор, представляющий собой среднее значение результатов измерения всех составляющих параметров случайного вектора Z . Использование этого закона дало возможность оценить параметры распределения составляющих вектора Z , каждая из которых в подавляющем большинстве имеет многомерный характер распределения.

Для реализации возможности оценки точностной надежности выбрана типовая деталь. Геометрические и точностные характеристики детали, конфигурация установлены на основании статистических данных. Формирование погрешности рассматривается применительно к обработке горизонтальной поверхности концевой фрезой, среднего размера по программе.

На первом этапе оценки точностной надежности составляется структурная схема формирования выходных параметров на основе теоретического и предварительного экспериментального анализа. Структурная схема необходима прежде всего для детального представления факторов, определяющих построение модели точностной надежности.

Входные параметры, в зависимости от природы возникновения, разделены на две основные группы: 1) технологические; 2) зависящие от состояния основных узлов станка и устройства программного управления. По состоянию системы в данный момент времени: 1) параметры, обусловленные статическим состоянием; 2) обусловленные процессом обработки и зависящие от скорости протекания (быстро протекающие процессы, средней скорости и медленно протекающие процессы).

На втором этапе подробно рассматриваются составляющие точностные параметры с точки зрения влияния их на формирование отклонений размера, расположения и формы. Показано, что все параметры представляют собой функции тех или иных случайных величин, поэтому они носят стохастический характер и определяются следующими параметрами распределения: математическим ожиданием: MZ_{Σ} , дисперсией DZ_{Σ} , средним квадратическим отклонением $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{DZ_{\Sigma}}$ и зоной рассеивания равной $A_{\Sigma} = K_{\sigma} \cdot \sigma_{\Sigma}$. При ве-

малости выхода текущего значения z_i за пределы рассматриваемых меньшей 0,003, $K_0 = 6$, тогда $A_z = 6\sigma_z$. Очевидно, что все упомянутые точностные параметры определяют формирование отклонения размера.

Многие точностные параметры являются функцией не только каких-то случайных величин, но и текущего относительного положения формообразующих узлов станка. Такие параметры, наряду с образованием отклонения размера, определяют формирование отклонений расположения и формы. К ним относятся параметры, зависящие от состояния станка и определяемые быстро протекающими процессами: отклонение от параллельности поверхности стола направлению подачи Δ_{pac} , отклонение от прямолинейности перемещения поверхности стола на линии оси шпинделя $\Delta\phi$, упругие отжатия суппортной группы и нестабильность жесткости при перемещении стола по направляющим салазок Δ_{oc} , то же для шпиндельной группы Δ_{ow} при ее перемещении по направляющим станины.

При принятом построчном фрезеровании горизонтальной поверхности процессы средней скорости проявляются в том, что изменяют отклонение расположения обрабатываемой поверхности в направлении, перпендикулярном направлению подачи (при условии, что за время обработки по одной строке влияние процессов средней скорости не успевает наступить). В течение межналадочного периода процессы средней скорости (тепловые деформации Δt и износ режущего инструмента Δu) определяют формирование отклонения размера.

Медленно протекающие процессы и, главным образом, износ основных сопряжений станка, определяют образование отклонения формы на длине обработки. Износ, как и все предыдущие параметры, носит случайный характер. Параметры распределения погрешности обработки из-за износа определяют формирование отклонения размера.

Следующим этапом в оценке точностной надежности является оставление модели надежности. Для возможности реализации этапа суммируются параметры распределения, определенных на основании статистической обработки экспериментальных данных или полученных расчетным путем. Суммирование параметров распределения производится в начале межналадочного периода, в конце периода и по истечению длительного периода эксплуатации. Параметры распределения, характеризующие формирование отклонения размера в начале межналадочного периода, в наиболее общем виде могут быть пред-

ставлены следующими соотношениями:

$$MZ_{\Sigma} = MZ_H + MZ_Y + MZ_{\Pi\Sigma} + M[f_{2C}(X)] + M[f_{0\Sigma}(X, F)] + M\Delta_{\Pi\Sigma}; \quad (1)$$

$$DZ_{\Sigma} = DZ_H + DZ_Y + DZ_{\Pi\Sigma} + D[f_{2C}(X)] + D[f_{0\Sigma}(X, F)] + D\Delta_{\Pi\Sigma}; \quad (2)$$

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{DZ_{\Sigma}}; \quad A_{\Sigma} = 6\sigma_{\Sigma} = 6\sqrt{DZ_{\Sigma}}. \quad (3)$$

В соотношениях (1, 2) MZ_H , MZ_Y , $MZ_{\Pi\Sigma}$ и DZ_H , DZ_Y и $DZ_{\Pi\Sigma}$ — математические ожидания и дисперсия погрешностей наладки, установки и позиционирования; $M[f_{2C}(X)]$ и $D[f_{2C}(X)]$ — математическое ожидание и дисперсия положения кривой, определяющей отклонение формы и расположения из-за влияния параметров $\Delta_{\text{рас}}$ и Δ_{φ} ; $M[f_{0\Sigma}(X, F)]$ и $D[f_{0\Sigma}(X, F)]$ — то же из-за суммарного влияния параметров Δ_{0C} и $\Delta_{0\Pi}$; X — параметр, определяющий относительное положение формообразующих узлов; F — сила резания. Совмещение нижней границы зоны рассеивания с минимальным размером детали $L_{\min}$ определит запас точности по отклонению размера $\delta_{\text{тр}}$ при заданном значении поля допуска δ_p : $\delta_p - \delta_{p\delta} = \delta_{\text{тр}}$, где $\delta_{p\delta}$ — действительное значение отклонения размера.

Перенесение кривой (полученной в результате суммирования аппроксимированных функций $\Delta_{2C} = f_{2C}(X)$ и $\Delta_{0\Sigma} = f_{0\Sigma}(X, F)$), характеризующей отклонения формы и расположения, в крайние точки зоны рассеивания позволяет определить область существования реальных профилей обрабатываемой поверхности в начале межналадочного периода. Запас точности по отклонению формы $\delta_{\text{тф}}$ будет равен разности между допуском на отклонение формы δ_{φ} и действительным значением отклонения $\delta_{\varphi\delta}$, т.е. $\delta_{\text{тф}} = \delta_{\varphi} - \delta_{\varphi\delta}$. Аналогично по отклонению расположения $\delta_{\text{т.рас}} = \delta_{\text{рас}} - \delta_{\text{рас}\delta}$.

К концу межналадочного периода параметры распределения принимают значения:

$$MZ'_{\Sigma} = MZ_{\Sigma} + M\Delta t + M\Delta u = MZ_{\Sigma} + M[f_t(t)] + M[f_u(t)]; \quad (4)$$

$$DZ'_{\Sigma} = DZ_{\Sigma} + D\Delta t + D\Delta u = DZ_{\Sigma} + D[f_t(t)] + D[f_u(t)]; \quad (5)$$

$$\sigma'_{\Sigma} = \sqrt{DZ'_{\Sigma}}; \quad A'_{\Sigma} = 6\sigma'_{\Sigma} = 6\sqrt{DZ'_{\Sigma}}. \quad (6)$$

Разность $a_c = MZ'_{\Sigma} - MZ_{\Sigma}$ определит смещение уровня наладки к концу межналадочного периода. В результате износа режущего инструмента и, как следствие, увеличения сил резания и их колебания, отклонения формы и расположения также изменяются. Запас

точности по отклонению размера составит $\delta'_{гр} = \delta_r - \delta'_{r_d}$, по отклонению формы - $\delta'_{гф} = \delta_{\varphi} - \delta'_{\varphi_d}$, по отклонению расположения - $\delta'_{гр.рас} = \delta_{рас} - \delta'_{рас_d}$.

По истечению длительного периода эксплуатации параметры распределения принимают значения аналогичные соотношениям (4-6) с учетом формирования выходных параметров из-за износа основных сопряжений.

Коэффициенты запаса точностной надежности по отклонению размера $K_{гр}$, по отклонению формы $K_{гф}$ и по отклонению расположения $K_{гр.рас}$ в начале межналадочного периода принимают следующие значения:

$$K_{гр} = \frac{\delta_r}{\delta_r - \delta'_{гр}}; \quad K_{гф} = \frac{\delta_{\varphi}}{\delta_{\varphi} - \delta'_{гф}}; \quad K_{гр.рас} = \frac{\delta_{рас}}{\delta_{рас} - \delta'_{гр.рас}}. \quad (7)$$

По аналогии рассчитываются коэффициенты запаса для конца межналадочного периода и по истечению длительного периода эксплуатации.

Таким образом, теоретические предпосылки показывают возможность прогнозирования точностной надежности станка по параметрам отклонений размера, расположения и формы для данных и других режимов резания как в начале межналадочного периода, так и к концу его, а также по истечению длительного периода эксплуатации.

Третья глава посвящена оценке точностной надежности конкретного образца фрезерного станка мод. 676 с ЧПУ и прогнозирования изменения ее во времени. Целью экспериментальных исследований явилась необходимость проверки степени адекватности разработанной модели точностной надежности реальному процессу формирования выходных параметров с учетом изменения их во времени.

Перед обработкой опытной партии типовых деталей производилась статистическая оценка погрешностей наладки и установки, а также погрешности выхода суппортной группы исследуемого станка в заданную позицию. С целью возможности оценки точностной надежности по параметру отклонения размера и изыскания резервов по ее повышению по этому параметру, измерение погрешности позиционирования производилось с выявлением составляющих из-за запаздывания сигнала на отключение электродвигателя подачи и из-за нестабильности пути торможения с помощью частотомера ЧЗ-12 и специальных устройств. Статистическая обработка экспериментальных данных по выше указанным входным параметрам показала, что

все они формируют отклонение размера, а погрешность установки, кроме того, и отклонение расположения.

Для оценки степени влияния геометрической неточности станка на формирование отклонений расположения и формы обрабатываемой поверхности в данной системе координат измерение геометрической неточности производилось непрерывно по трассам, увязанным в той же системе координат.

Существенное влияние на формирование выходных точностных параметров оказывают быстро протекающие процессы и, главным образом, упругие отжатыя формообразующих узлов. Известно, что жесткость перемещающихся узлов станка имеет переменный характер. Нестабильность жесткости оказывает значительное влияние на формирование отклонений расположения и формы. Для возможности оценки точностной надежности по этим выходным параметрам измерения упругих отжатий формообразующих узлов станка производились в процессе их относительного перемещения на рабочей подаче без снятия стружки. Практическая реализация указанного способа была достигнута заменой в существующем статическом способе измерения жесткости неподвижной связи между узлами на подвижную и сообщении столу станка скорости перемещения, равной скорости рабочей подачи. Нестабильность упругих отжатий узлов станка для условий встречного фрезерования при нагрузке 500 Н на длине 120 мм составила 8 - 12 мкм, для условий попутного фрезерования это значение несколько меньше. Многократные повторные измерения упругих отжатий формообразующих узлов позволили оценить их влияние на формирование рассеивания отклонения размера.

Оценка отжатий элементов шпиндельного узла была дана в процессе обработки детали с переменным припуском. Регистрация осевых отжатий производилась бесконтактным способом с использованием пневмоэлектроконтактных сильфонных преобразователей мод. 235 и самопишущего прибора мод. Н3020-3. Регистрация сил резания производилась с помощью тензоизмерительной аппаратуры. По достижению определенного значения силы резания (около 250 Н) упругие отжатыя стабилизировались несмотря на дальнейшее повышение сил. Этот факт, и то, что шпиндельная группа оставалась неподвижной в процессе обработки, позволили сделать допущение, что элементы шпиндельного узла и шпиндельной группы не оказывают непосредственного влияния на формирование отклонений формы и расположения. Значения отжатий элементов шпиндельного узла и

их колебаний для данной нагрузки при повторных измерениях характеризуют отклонение размера.

Тепловые деформации измерялись в процессе обработки партии типовых деталей. Для возможности оценки степени влияния тепловых деформаций на отклонение расположения формообразующие узлы выводились в позицию контроля трехкратно за время обработки одной детали. Измеренные значения относительного положения узлов из-за тепловых деформаций последовательно от детали к детали определяют формирование отклонения размера. Повторная обработка партий деталей позволила определить зону рассеивания отклонения размера из-за влияния исследуемого параметра в течение межналадочного периода.

Влияние износа режущего инструмента на погрешность обработки оценивалось путем измерения уровня вершин режущих зубьев фрезы до и после обработки. Показано, что износ фрезы оказывает влияние на формирование отклонений размера и расположения обрабатываемой поверхности аналогично тепловым деформациям.

Для возможности проверки степени адекватности разработанной модели реальному процессу формирования выходных параметров перед обработкой каждой опытной партии деталей производилась наладка режущего инструмента на заданный размер, перед обработкой каждой детали производилось измерение погрешности установки. Кроме того, наладка и измерение погрешности установки производились и перед записью с помощью измерительной системы мод. 260 реальных профилей сечений обрабатываемых деталей на микроскопе УИМ-21.

Влияние износа основных сопряжений на образование отклонений размера и формы оценивалось расчетным путем по методике, разработанной профессором Прониковым А.С.

На основании полученных экспериментальных и расчетных данных составлена модель точностной надежности фрезерного станка мод. 676 с ЧПУ по параметрам отклонений размера, расположения и формы. За критерий адекватности прогнозируемой модели реальному процессу нами выбрана степень расхождения прогнозируемого профиля и реального по указанным выходным параметрам. Степень расхождения в начале межналадочного периода составила в среднем 25%, в конце — 23%.

Таким образом, сопоставление прогнозируемой и реальной модели точностной надежности показывает, что составленная реальная

модель достаточно полно отражает те процессы, которые формируют выходные параметры и ухудшают состояние станка по точности при его работе. Модель позволила оценить влияние на надежность отдельных факторов и произвести расчет коэффициентов запаса точностной надежности по параметрам отклонений размера, расположения и формы.

Четвертая глава посвящена проверке возможности применения разработанной методики по оценке точностной надежности станка и прогнозирования изменения ее во времени с учетом вероятностного характера составляющих параметров в условиях крупносерийного производства.

При анализе надежности работы агрегатно-фрезерных станков на участке обработки балансира трактора ДТ-75М на Павлодарском тракторном заводе им. В.И.Ленина было установлено, что отказы наступают в основном не из-за поломок механизмов, а в результате выхода за пределы поля допуска отклонений размера, расположения и формы обрабатываемых торцев. Неравномерность зазоров в связи с образованием значительных отклонений формы и, как правило, увеличения доступа абразивов на трущиеся поверхности узла, вызывает снижение функциональной надежности ходовой части трактора. Отклонение расположения торцев является причиной некруглости протягиваемых отверстий, а иногда причиной поломок протяжек. Оценка точностной надежности станка на основе выявления степени влияния составляющих входных параметров на формирование погрешности позволила дать рекомендации по уменьшению последней и снизить имеющий место определенный процент брака.

В результате предварительного анализа составляющих погрешности обработки агрегатно-фрезерного станка была разработана его структурная схема формирования выходных параметров. К технологическим факторам отнесены погрешности наладки, установки, а также погрешность, вносимая режущим инструментом. Точностные характеристики узлов станка определяются следующими параметрами, обусловленных статическим состоянием станка: 1) погрешность фиксации поворотного стола, вызывающей формирование отклонения размера Δr_{ϕ} и расположения $\Delta r_{ас\phi}$; 2) отклонение от перпендикулярности направления перемещения фрезерных головок к базовым поверхностям приспособления $\Delta_{\perp}$ и траектория перемещения фрезерной головки на уровне оси шпинделя в горизонтальной плоскости Δ_{τ} (формирование отклонений в сечении балансира по линии перемеще-

ния точки на оси шпинделя); 3) отклонение от перпендикулярности оси шпинделя фрезерной головки к оси приспособления в вертикальной плоскости $\Delta_{ш-пр}$ (формирование отклонений в сечении балансира по оси симметрии перпендикулярно обрабатываемым поверхностям). К быстро протекающим процессам отнесены колебания фрезерной головки на уровне оси шпинделя и поворотного стола относительно оси, а также упругие отжаты детали относительно приспособления Δ_{∂} , фрезерной головки на уровне оси шпинделя $\Delta_{\partial г}$, поворотного стола с приспособлением относительно вертикальной оси в рассматриваемой позиции $\Delta_{пс}$, шпинделя в опорах $\Delta_{шг}$.

Параметры распределения погрешности установки и наладки определены расчетным путем. Параметры распределения погрешности фиксации определены путем статистической обработки данных, полученных при измерении текущих значений погрешности фиксации для каждой позиции стола. Параметры Δ_r и $\Delta_{\partial г}$ определены посредством записи траектории перемещения фрезерной головки с помощью тензорезисторных преобразователей и регистрирующей системы тензометрический усилитель ТОПАЗ-2 - осциллограф НО4ИУ4.2. Параметр $\Delta_{ш-пр}$ определен на основании данных, полученных путем измерения действительного отклонения от параллельности обрабатываемых поверхностей с учетом формирования отклонения расположения $\Delta_{рас_{\partial г}}$ из-за упругих отжаты фрезерной головки. С целью непосредственного измерения параметра $\Delta_{ш-пр}$ на станке в работе предложено использовать образцовую деталь.

Для измерения упругих отжаты использованы тензорезисторные преобразователи, которые расставлены в направлениях формирования отжаты Δ_{∂} , $\Delta_{пс}$ и $\Delta_{\partial г}$. Измерения производились в процессе обработки деталей с записью при помощи системы тензометрический усилитель ТОПАЗ-2 - осциллограф НО4ИУ4.2. Амплитуды колебаний упомянутых параметров, в связи с недостаточной изученностью влияния колебаний на точность обработки, приняты за соответствующие зоны рассеивания.

Влияние тепловых деформаций на формирование отклонений размера и расположения оценено расчетным путем. При этом учитывались тепловые деформации детали и шпинделя. Размерный износ фрезы определялся из статистических данных по износу по задней грани режущих зубьев. Был произведен расчет влияния износа основных сопряжений формообразующих узлов на формирование отклонений.

На основании полученных экспериментальных и расчетных данных составлена модель точностной надежности агрегатно-фрезерного станка мод. АМ-4834 по параметрам отклонений размера, расположения и формы. Модели составлены для двух ранее упомянутых сечений балансира. Запись реальных профилей сечений производилась на кругломере *Taluzond-2*. Расчетные значения коэффициентов запаса точностной надежности показали, что для вертикального сечения лимитирующим является отклонение расположения, для горизонтального сечения - отклонение формы.

Таким образом, полученные значения выходных параметров агрегатно-фрезерного станка и оценка степени адекватности модели и реальной системы показали возможность применения разработанной методики по оценке точностной надежности и ее прогнозирования в условиях крупносерийного производства.

Выводы по работе.

1. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований станков фрезерной группы показано, что разработанная модель точностной надежности с учетом вероятностного характера формирования отклонений размера, расположения и формы обработанных поверхностей достаточно полно отражает те процессы, которые формируют указанные отклонения и ухудшают состояние станка по точности с течением времени.

2. Разработанный методический подход по оценке точностной надежности дает возможность осуществлять прогнозирование в трех аспектах:

- прогнозирование потери станком работоспособности по указанным параметрам в течение длительного периода эксплуатации;
- прогнозирование формирования отклонений как в начале межналадочного периода, так и к концу его, что особенно важно при обработке сложных и дорогостоящих деталей на станках с ЧПУ в единичном и мелкосерийном производстве;
- прогнозирование формирования выходных параметров станка по точности и потери работоспособности по этим параметрам с течением времени для различных режимов и условий обработки.

3. Проведение экспериментальные исследования на примере вертикально-фрезерного станка мод. 676 с ЧПУ и агрегатно-фрезерного мод. АМ-4834 показали, что коэффициент запаса точностной надежности по отклонению формы к концу межналадочного периода приближает исследованный станок к отказу значительно быст-

рее, чем по отклонению размера. При повышении требований к выходным параметрам обрабатываемой детали отказ по отклонению формы может наступить значительно раньше, чем по отклонению размера.

4. Показано, что для достоверной оценки точностной надежности по параметрам отклонений формы и расположения жесткость должна измеряться не в статике, а в процессе перемещения формообразующих узлов на рабочей подаче в силу неустойчивости жесткости на длине перемещения узлов и ее завышенного значения (до 25%) при измерении в статике. Разработаны методика и аппаратура для этих измерений.

5. Необходимым условием для оценки точностной надежности по параметрам отклонений размера, расположения и формы является измерение геометрических параметров станка и упругих отжатиий формообразующих узлов в направлениях эквидистант обрабатываемой поверхности.

6. Формирование отклонения размера определяет степень расхождения тех или иных параметров и их вероятностная сумма, отклонений формы и расположения - характер рассматриваемых параметров на длине обработки и изменение их во времени.

7. Показано, что на отклонение размера влияют все параметры технологической системы. Отклонение формы и расположения, т.е. те параметры, которые не могут быть компенсированы путем подналадки, определяют в основном станочные факторы: траектории перемещения узлов и точность их взаимного расположения, неустойчивость жесткости узлов, тепловые деформации.

8. Составленная модель формирования отказа по параметрам отклонений размера, расположения и формы на примере вертикально-фрезерного станка мод. 676 с ЧПУ показала следующие численные соотношения составляющих погрешностей для типовых условий обработки: взаимное расположение узлов станка и траектории их перемещения - 23%, упругие отжатиия и их неустойчивость - 36%, погрешность установки - 8%, погрешность наладки - 13%, погрешность выхода рабочего органа в позицию обработки - 6%. Влияние неучтенных параметров и ошибка методов измерений составили 14%.

9. Показано, что разработанный методический подход по оценке точностной надежности по параметрам отклонений размера, расположения и формы применим для станков фрезерной группы во всех видах производства.

10. Численные значения ошибок при прогнозировании формирования отказа по параметрам отклонений размера, расположения и формы не превышают 25%, что показывает адекватность модели точностной надежности реальному процессу формирования отказа.

11. Разработанный методический подход по оценке точностной надежности по параметрам отклонений размера, расположения и формы на основе анализа степени влияния составляющих точностных параметров с учетом их вероятностной природы показал основные пути повышения надежности. Так, для правильной координации узлов агрегатно-фрезерного станка предложено использовать образцовую деталь. При этом указаны допуски на взаимное полсьжение узлов с целью компенсации по жесткости. Для сведения к минимуму отклонений расположения и формы обрабатываемых поверхностей предложено в компоновке станка из двух параллельно действующих головок на одной позиции жестко объединить головки с обеспечением управления от путевых переключателей одной из них.

12. Ожидаемый экономический эффект в результате применения методики для оценки точностной надежности агрегатно-фрезерного станка мод. АМ-4834 на Павлодарском тракторном заводе имени В.И.Ленина и разработки рекомендаций по повышению точностной надежности станка указанной модели составил 23 тыс. рублей.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Б.М.Дмитриев, И.А.Шумейко "Взаимосвязь отклонения размера, формы и расположения обрабатываемой поверхности детали". "Известия вузов. Машиностроение", 1978, №1, с. 172-176.

2. Б.М.Дмитриев, И.А.Шумейко "Оценка возможностей станка по обеспечению точности геометрических параметров". "Станки и инструмент", 1978, №5, с. 6-7.

3. А.С.Проников, Б.М.Дмитриев, И.А.Шумейко "Изучение системы программного управления фрезерного станка мод. 676 и исследование точности позиционирования станка". Методические указания к лабораторной работе по курсу "Станки с программным управлением". М., МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1978, 23 с.

4. А.С.Проников, Б.М.Дмитриев, И.А.Шумейко "Измерение жесткости станка при относительном перемещении формообразующих узлов". "Известия вузов. Машиностроение", 1979, №1, с. 124-127.