

М396444

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 621.91 - 529: 62 - 19

Горбунов Виктор Петрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ МЕ-
ТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОМПОНОВ-
КИ С ПОЗИЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ЧПУ С УЧЕТОМ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТАНКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Специальность 05.03.01 - процессы и машины обра-
ботки материалов резанием; автоматические линии

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

Москва

1982

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

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

Официальные оппоненты - лауреат Ленинской премии, доктор
технических наук, профессор
Б.М. Базров

- кандидат технических наук
Б.А. Миронов

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного
Совета

Защита состоится "___" _____ 198__ года на
заседании специализированного Совета К 053.15.15 в Москов-
ском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу:
107

библиотеке МВТУ

яре, заверенный
су,

198__ г.

И. Мецераков

899

Объем I п.л.

М396444



1396444

Горбунов В.П. Исследование

ШАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Важнейшей задачей отечественного станкостроения в II-й пятилетке является значительное увеличение выпуска металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ), особенно многооперационных с автоматической сменой инструмента, а также повышение их точности и надежности при эксплуатации.

Металлорежущий станок с ЧПУ является основным элементом технологической системы, точность выходных параметров которого оказывает существенное влияние в формировании точности обработки деталей. Наряду с требованием высокой начальной точности металлорежущих станков с ЧПУ важным является сохранение данной точности в течение заданного периода времени, что характеризует их технологическую (параметрическую) надежность.

Особенностью металлорежущих станков с ЧПУ является то, что они представляют из себя органически связанный комплекс устройства ЧПУ и сложного комплекса исполнительных механизмов и несущей конструкции станка, которые взаимодействуют между собой в процессе эксплуатации. Поэтому обеспечение заданных выходных параметров металлорежущего станка с ЧПУ будет зависеть не только от совершенства его элементов и узлов, но и от характеристик системы управления, в частности от принятой схемы управления приводами подач, типа и характеристик измерительных преобразователей перемещений (ИП). Вследствие этого формирование выходных параметров металлорежущих станков с ЧПУ и сохранение их в течение установленного периода времени невозможно рассматривать без учета взаимного влияния выходных параметров самого станка и системы управления друг на друга, а также без учета изменения этих параметров во времени. Таким образом, разработка методов оценки и повышения уровня технологической надежности металлорежущих станков с ЧПУ с учетом влияния системы управления является актуальной задачей.

Цель работы. Целью работы является разработка метода оценки технологической надежности металлорежущих станков вертикальной компоновки, оснащенных позиционными системами ЧПУ, с учетом взаимодействия выходных параметров станка и системы управления, а также рассеивания составляющих погрешностей по вы-



ходному параметру - точности выхода рабочих органов металлорежущего станка с ЧПУ в запрограммированное положение; разработка методики исследования составляющих погрешностей по этому выходному параметру и рекомендаций по рациональному проектированию и эксплуатации данных металлорежущих станков с ЧПУ.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на основе теории надежности машин с применением методов теории вероятности и математической статистики. Экспериментальные исследования проводились на многооперационном станке вертикальной компоновки мод. 243ВМ52 с позиционной системой числового программного управления "Размер-2М" в лаборатории кафедры "Металлорежущие станки и автоматы механосборочного производства" ИВТУ им. Н.Э.Баумана с применением современной измерительно-регистрающей аппаратуры. Обработка экспериментальных данных производилась при помощи ЭВМ.

Научная новизна работы заключается в оценке технологической надежности металлорежущих станков вертикальной компоновки с позиционными системами ЧПУ на основе рассмотрения их выходного параметра - точности выхода рабочих органов в запрограммированное положение с учетом взаимодействия выходных параметров станка и системы управления и учетом степени влияния на данный выходной параметр изменения геометрических погрешностей станка и погрешности позиционирования под воздействием нагрузок и тепловых деформаций элементов станка.

Практическая полезность. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации, которые позволяют:

1. Выявлять основные факторы, влияющие на точность выхода рабочих органов металлорежущего станка с ЧПУ вертикальной компоновки в запрограммированное положение; выбирать места рациональной зоны в рабочем объеме металлорежущего станка, обеспечивающей минимальные погрешности, исходя из требований к точности и размеров обрабатываемых деталей; использовать знание систематических составляющих погрешностей для их последующей коррекции.
2. Назначать требования к параметрам измерительных преобразователей, исходя из их местоположения и изменения параметров ИП, связанных с изменением геометрических параметров станка.
3. Использовать основные и вспомогательные показатели техноло-

гической надежности металлорежущего станка с ЧПУ для определения характера влияния на формирование уровня технологической надежности систематических и случайных составляющих погрешностей.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены на:

- научных семинарах кафедры "Металлорежущие станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана 1977 - 1979 г.г.;

- научно-техническом семинаре "Ремонт и надежность технологического оборудования" МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, г. Москва, 1979 г.;

- XX научной конференции Восточно-Сибирского технологического института, г. Улан-Удэ, 1981 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 3 печатных работы.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и общих выводов, списка литературы из 118 наименований и приложения. Содержит 149 страниц основного текста, 93 рисунка, 19 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации анализируются исследования в области технологической надежности и точности металлорежущих станков с ЧПУ. Отмечается, что основное влияние на формирование точности обработки деталей оказывают выходные параметры металлорежущего станка с ЧПУ как основного элемента технологической системы. Как отмечается в ряде работ, большую долю в парке металлорежущих станков с ЧПУ занимают станки с вертикальной компоновкой оси шпинделя. Корпусные детали и детали типа плит, обрабатываемые на них, характеризуются наличием плоских поверхностей большого размера, отверстий различного назначения. В работах Б.С.Балакшина, А.Н.Гаврилова, В.С.Корсакова, А.Г.Косиловой, А.А.Маталина и других ученых приводятся основные погрешности при обработке указанных деталей. Причем, анализ показывает, что наиболее высокие требования предъявляются к параметрам основных отверстий, в частности, точности линейных раз-

меров, как к диаметральному, так и межосевым расстояниям. Поэтому к металлорежущим станкам с ЧПУ предъявляются требования высокой начальной точности и, что особенно важно, сохранение данной точности в течение заданного периода времени эксплуатации. Это характеризует технологическую надежность данного вида оборудования.

Теоретические основы по оценке технологической надежности металлорежущих станков заложены в работах проф. А.С.Проникова. Развитие проблем в данной области отражено в работах его учеников. Отмечается, что оценка технологической надежности металлорежущих станков с ЧПУ осложняется из-за ряда специфических особенностей, присущих данному виду оборудования, где наиболее важным является то, что из-за сложности металлорежущих станков с ЧПУ необходимо рассматривать их как единый комплекс, в котором станок и система ЧПУ органически связаны и при работе которых происходит взаимодействие механических, гидравлических, электрических, электронных узлов и блоков при высоких требованиях по надежности и точности их работы. Одним из направлений работ по оценке технологической надежности металлорежущих станков с ЧПУ является исследование процессов и факторов, влияющих на выходные параметры. Основой их служат разработанные модели формирования параметрических отказов, которые связывают причины возникновения отказа с выходными параметрами металлорежущего станка с ЧПУ. Рассмотрев основные достижения в этой области, делается вывод о том, что вопрос проявления взаимодействия выходных параметров станка и системы управления недостаточно изучен. Эта погрешность приводит к изменению параметров измерительных преобразователей системы обратной связи. Кроме того, в ряде случаев целесообразно в дополнение к основным показателям технологической надежности вводить частные показатели, которые бы давали возможность оценивать долю случайных и систематических погрешностей в поле допуска на выходной параметр.

Анализ работ по исследованиям технологической надежности металлорежущих станков с ЧПУ показывает, что в качестве выходного параметра необходимо выбирать такой параметр, который бы отражал особенности этих станков и формировался совокупностью взаимосвязанных единичных движений рабочих органов. При обработке деталей типа плиты и корпусных деталей на металлорежущих

станках вертикальной компоновки с позиционными системами ЧПУ выходным параметром будет являться точность выхода рабочих органов в запрограммированное положение. Все составляющие погрешности, формирующие данный выходной параметр, являются частными выходными параметрами металлорежущего станка с ЧПУ.

Как отмечается во многих работах, одним из основных частных выходных параметров металлорежущего станка с ЧПУ является погрешность позиционирования, характеризующая влияние прочих погрешностей вдоль направления перемещения рабочего органа и через которую проявляется взаимодействие выходных параметров станка и системы управления. В настоящее время проводится большая работа по исследованию погрешности позиционирования, которая включает в себя следующие направления: разработка методов расчета и оценки параметров погрешности позиционирования, разработка методов ее экспериментальной оценки, исследование факторов и процессов, характера их влияния при формировании погрешности позиционирования. Однако при формировании выходного параметра в рабочем объеме, когда необходимо учитывать особенности движений по различным осям координат, определение качества металлорежущего станка с ЧПУ через погрешность позиционирования является недостаточным.

На необходимость оценки точности выходного параметра металлорежущего станка с ЧПУ в рабочем объеме указывается в работах Е.Маттиаса, Л.Шарбоннеля, Р.Швейгхофера. Кроме того, при формировании погрешности выходного параметра металлорежущего станка с ЧПУ с замкнутой системой управления приходами подач недостаточно отражены вопросы учета погрешности, связанной с влиянием выходных параметров станка на параметры ИП, особенно изменение этих параметров в процессе эксплуатации, что искажает информацию о действительном положении рабочего органа. Также указывается на необходимость создания таких методов оценки и расчета выходных параметров металлорежущего станка с ЧПУ, которые были бы приемлемы как на стадии проектирования, так и при испытаниях данного вида оборудования.

В соответствии с целью работы основные задачи исследований были сформулированы следующим образом:

1. Произвести сравнительный анализ составляющих погрешностей выходного параметра металлорежущих станков вертикальной компоновки с позиционными системами ЧПУ - точности выхода рабо-

чих органов в запрограммированное положение и дать оценку влияния данного выходного параметра на уровень технологической надежности.

2. Разработать расчетно-теоретическую модель формирования данного выходного параметра с учетом взаимного влияния составляющих погрешностей и их рассеивания при эксплуатации.

3. Провести экспериментальные исследования составляющих погрешностей выходного параметра и оценить характер их изменения под воздействием нагрузок и тепловых деформаций станка.

4. Исследовать характер и особенности возникновения параметрического отказа по выходному параметру с учетом взаимодействия станка и системы управления и выявить влияние долей систематических и случайных составляющих в поле допуска на него при оценке уровня технологической надежности.

5. Разработать методику оценки технологической надежности рассматриваемых металлорежущих станков с ЧПУ и дать рекомендации по повышению ее уровня.

Вторая глава посвящена разработке модели формирования точности выхода рабочих органов металлорежущего станка с ЧПУ в запрограммированное положение.

Анализ работ, посвященных вопросам влияния выходных параметров металлорежущего станка с ЧПУ на параметры качества обработки деталей, показывает на их существенное взаимное влияние, а также влияние вредных процессов и внешних воздействий, возникающих во время эксплуатации. Очевидно, что точность установочных перемещений в рабочем объеме станка необходимо определять путем оценки погрешностей линейных и угловых перемещений по отдельным осям координат с выявлением взаимосвязи их между собой.

Точность выходного параметра металлорежущего станка с ЧПУ при перемещении в запрограммированное положение характеризуется в общем виде либо погрешностью радиуса вектора, либо его проекциями на соответствующие оси координат. Проведенный анализ составляющих погрешностей проекций выходного параметра соответственно вдоль направления перемещения, в плоскости стола станка, в рабочем объеме показывает, что определяющими для металлорежущих станков вертикальной компоновки являются установочные перемещения стола и салазок, а погрешности, связанные

с перемещением шпиндельной бабки и гильзы, приводят к пропорциональному смещению начальных погрешностей в плоскости стола. Если учитывать весь комплекс элементарных угловых и линейных перемещений, соотношение проекций погрешностей любой точки в рабочем объеме станка относительно выбранной нулевой точки будет иметь следующее выражение:

$$\begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \delta_{xx} & \delta_{xy} & \delta_{xz} \\ \delta_{yx} & \delta_{yy} & \delta_{yz} \\ \delta_{zx} & \delta_{zy} & \delta_{zz} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} d_{xx} & d_{xy} & d_{xz} \\ d_{yx} & d_{yy} & d_{yz} \\ d_{zx} & d_{zy} & d_{zz} \end{vmatrix} \quad (1)$$

Погрешности позиционирования, то есть погрешности вдоль соответствующих осей координат, измеренные в плоскости аттестации станка δ_{xx} , δ_{yy} , δ_{zz} , формируются погрешностями системы обратной связи, которые определяются собственными погрешностями ИП $\Delta_{ип}^{сов}$ и погрешностями, возникающими из-за изменения параметров ИП $\Delta_{вз}$; погрешностями, связанными с местоположением ИП Δ^M и погрешностями в цепи привода подачи рабочего органа, не охваченных обратной связью $\Delta^{ро}$. То есть,

$$\Delta_{поз} = (\Delta_{ип}^{сов} + \Delta_{вз}) + \Delta^M + \Delta^{ро} \quad (2)$$

При смещении плоскости обработки относительно плоскости аттестации появляются дополнительные погрешности, связанные с нарушением принципа Аббе.

Погрешность позиционирования характеризуется систематическими и случайными составляющими и оценивается по результатам ряда повторных испытаний с определением статистических характеристик: среднего арифметического значения и среднего квадратического отклонения от среднего арифметического значения. Анализ методов оценки погрешности позиционирования показывает, что они сводятся в основном к двум известным рекомендациям VDI - 3254 (ФРГ) и NMTBA (США), причем при исследовательских испытаниях, когда необходимо знать характер изменения погрешности позиционирования на всей длине перемещения, наиболее эффективным является метод, изложенный в рекомендациях NMTBA.

Характер и величина $\Delta_{вз}$, которая влияет на формирование искаженной информации о действительном положении рабочего органа металлорежущего станка с ЧПУ, зависит от конструкции, типа

используемого ИП. У круговых ИП на величину $\Delta_{\Delta 3}$ будут влиять погрешности механизмов, связывающих ИП с рабочим органом станка.

$\Delta_{\Delta 3}$ у линейных ИП главным образом обуславливается стабильностью взаимного положения элементов ИП и влияния на нее изменения параметров рабочих органов станка несущих элементы ИП.

Для индуктивных ИП, которые нашли широкое применение в металлорежущих станках с ЧПУ, это обусловлено стабильностью воздушного зазора при установке и относительном перемещении элементов ИП. Погрешности, вызываемые колебаниями величины воздушного зазора, связанного с изменением выходных параметров металлорежущего станка, рассмотрены на примере линейного датчика индуктивного типа с круговым охватом якоря. Рассмотренные схемы (при изменении величины номинального воздушного зазора вдоль одной из осей координат и вдоль двух осей координат) показывают, что изменение воздушного зазора в пределах допуска на геометрические параметры перемещения рабочего органа приводит к появлению дополнительной погрешности измерения, достигающей 3,5 мкм (для номинальной величины воздушного зазора 150 мкм ИП, установленного на многооперационном станке мод. 243ВМФ2).

При оценке точности выхода рабочих органов металлорежущего станка с ЧПУ в запрограммированное положение наряду с погрешностью позиционирования, которая учитывает и погрешности геометрических параметров станка вдоль направления перемещения, необходимо рассматривать погрешности геометрических параметров станка в направлениях, перпендикулярных заданным перемещениям. Данное влияние необходимо рассматривать взаимосвязано с перемещениями рабочих органов вдоль различных направлений и с учетом их суммарного влияния. Для металлорежущих станков вертикальной компоновки геометрические погрешности станка первоначально определяются в плоскости стола, где в наименьшей степени проявляется нарушение принципа Аббе. С этой целью строится поле геометрических погрешностей и оценивается его стабильность в рабочем объеме за счет перемещения шпиндельной бабки и гильзы, а также влияния возникающих при эксплуатации нагрузок и тепловых де-

формаций элементов и узлов станка. Тепловые деформации, кроме линейного смещения сформированного начального поля геометрических погрешностей, приводят к угловому повороту оси шпинделя. Величина этих смещений определяется компоновкой, конструкцией станка, взаимным местоположением шпиндельной бабки и гильзы и режимами обработки деталей.

В третьей главе рассматриваются экспериментальные исследования погрешностей перемещения по отдельным осям координат: погрешности позиционирования, погрешности прямолинейности и перпендикулярности перемещения, определяются величины и характер рассеивания составляющих погрешностей и изменение их в рабочем объеме станка, а также оценка влияния нагрузки и тепловых деформаций на стабильность поля погрешностей.

Экспериментальные исследования проводились на многооперационном станке мод. 243ВМФ2 в лабораторных условиях. На основе экспериментальных данных построено поле геометрических погрешностей и оценено влияние его изменения в рабочем объеме, а также под действием центрально расположенной нагрузки в 500 Н, 1000 Н, 1500 Н. Анализ геометрических погрешностей станка показывает на значительное рассеивание их, которое для исследуемого станка достигает величины $\pm 3,5$ мкм и может быть соизмеримо с систематической составляющей погрешности. Смещение плоскости аттестации относительно плоскости стола приводит к появлению систематической "ложной" информации, поступающей в устройство ЧПУ о действительном положении рабочего органа. Величина данной погрешности зависит от величины смещения и меняется относительно центра стола станка. Измерения геометрических погрешностей станка проводились при одновременной регистрации погрешности позиционирования. Исследования показали, что изменение направления при подходе к запрограммированным точкам приводит и к изменению геометрических погрешностей. Анализ показывает, что величина рассеивания увеличивается при приближении перемещаемого рабочего органа к крайним положениям.

Оценка влияния теплового режима работы металлорежущего станка проводилась с целью выявления характера изменения составляющих погрешностей выходного параметра под действием тепловых деформаций и, в частности, проверки наличия зоны минимальных влияний. Экспериментальные исследования проводились при наиболее характерных частотах вращения шпинделя 500 мин^{-1} , 1250

мин⁻¹, а также при максимальном 2500 мин⁻¹ и минимальном 50 мин⁻¹ значениях. Положения шпиндельной бабки и гильзы были приняты, исходя из максимальных возможных величин перемещения шпиндельной бабки и гильзы и промежуточного положения шпиндельной бабки, которое наиболее характерно при обработке деталей. Экспериментально проверено также влияние температуры нагрева станка на прямолинейность и перпендикулярность перемещения шпиндельной бабки и гильзы. Характер данного влияния показывает, что вследствие перераспределения тепла по передней и задней стенкам колонны и шпиндельной бабки происходит изменение углового положения оси шпинделя (для данной модели на противоположное положение) и изменение отклонений от прямолинейности перемещения (форма кривой также меняется). Так, при $n = 1250$ мин⁻¹ через 6 часов непрерывной работы станка угловое отклонение оси шпинделя станка в плоскости YOZ изменит свое значение с $-6''$ до $+6,6''$. Экспериментальные исследования подтвердили возможность применения расчетного метода для оценки данного влияния.

Проведенные экспериментальные исследования влияния теплового режима работы станка показали, что линейные и угловые смещения оси шпинделя происходят по разным законам. Причем, на данное изменение влияют как положения шпиндельной бабки и гильзы относительно плоскости стола, так и изменение частоты вращения шпинделя при фиксированных положениях рабочих органов. Например, угловой поворот оси гильзы в плоскости XOZ при $n = 500$ мин⁻¹ изменялся по экспоненциальному закону, а при $n = 2500$ мин⁻¹ по закону, имеющему знакопеременный характер с явно выраженными максимумом и минимумом. Полученные результаты показывают на значительное изменение пространственной ориентации оси шпинделя, рассеивание его положений в процессе эксплуатации. Наибольшее проявление влияния тепловых деформаций происходит в направлении оси координат У. Подтверждено, что тепловые деформации оказывают влияние на точность измерительной системы, что приводит к увеличению "ложной" информации, поступающей от ИП. Например, при частоте вращения шпинделя $n = 1250$ мин⁻¹ центр группирования систематической составляющей погрешности позиционирования сместился с 0,5 мкм ($\tau = 0$) до 1,7 мкм ($\tau = 3$ часа) и 3,7 мкм ($\tau = 6$ часов).

Полученные экспериментальные данные и зависимости позволяют составить баланс погрешностей выходного параметра исследуемого станка для последующей оценки уровня технологической надежности.

Четвертая глава посвящена оценке показателей технологической надежности металлорежущих станков вертикальной компоновки. Рассматривается процесс формирования параметрического отказа металлорежущего станка с ЧПУ. Отмечается, что если для собственно станка наиболее характерными являются параметрические отказы, то для устройства ЧПУ присущи как параметрические отказы, так и отказы функционирования, при этом последние наиболее характерны для него. Возникающие изменения состояния элементов и блоков устройства ЧПУ, как и для собственно станка, объясняются также воздействием вредных процессов и внешних воздействий. Данные изменения состояния приводят либо к изменению параметров устройства ЧПУ, либо к повреждению и выходу его из строя. Изменение параметров устройства ЧПУ при неблагоприятном сочетании может привести к появлению неиндицируемых сбоев, индицируемых сбоев и к устойчивым отказам. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что неиндицируемые сбои могут появляться и за счет изменения выходных параметров станка. Это происходит за счет изменения параметров измерительных преобразователей, что приводит к появлению в устройстве ЧПУ ложной информации о фактическом положении рабочего органа. Для исследуемого станка появление дополнительной погрешности функционально связано с изменением воздушного зазора ИП.

Так как выходной параметр металлорежущего станка с ЧПУ имеет систематические и случайные составляющие погрешности, то для количественной оценки степени их влияния в дополнение к основным показателям технологической надежности $P(t)$, K_n , δ_t , γ_k , γ_t . Тр были введены частные показатели K_1 , K_2 , K_3 , характеризующие: K_1 - долю неизрасходованного резерва выходного параметра металлорежущего станка с ЧПУ, в пределах которого не наступает отказ по выходному параметру; K_2 - долю, которую в поле допуска δ на выходной параметр занимают случайные составляющие его погрешностей; K_3 - долю, которую в поле допуска δ на выходной параметр занимает систематическая часть составляющих погрешностей.

Тогда основные показатели технологической надежности $P(t)$ и K_n , выраженные через K_1 , K_2 , K_3 и учетом их взаимовлияния, то есть $K_1 = 1 - K_2 - K_3$, будут равны:

$$P(t) = 0,5 + \Phi \left\{ \frac{(1 - K_3) \cdot K_p}{1 - K_1 - K_3} \right\} = 0,5 + \Phi \{A\}, \quad (3)$$

$$а \quad K_n = \frac{1}{K_2 + K_3} = \frac{1}{1 - K_1}, \quad (4)$$

где K_p – квантиль нормального распределения, а $\Phi \{A\}$ представляет собой нормированную функцию Лапласа.

По результатам экспериментальных исследований составлен баланс погрешностей по выходному параметру. Причем, рассматривалась только одна проекция выходного параметра Δy , где в наибольшей степени проявляется действие тепловых деформаций. Таким образом, по частным составляющим погрешностям выходного параметра были определены показатели технологической надежности исследуемого металлорежущего станка с ЧПУ.

На рис. 1 показаны области существования значений показателей K_n и $P(t)$ для исследуемого станка в зависимости от величины поля допуска на рассматриваемый размер.

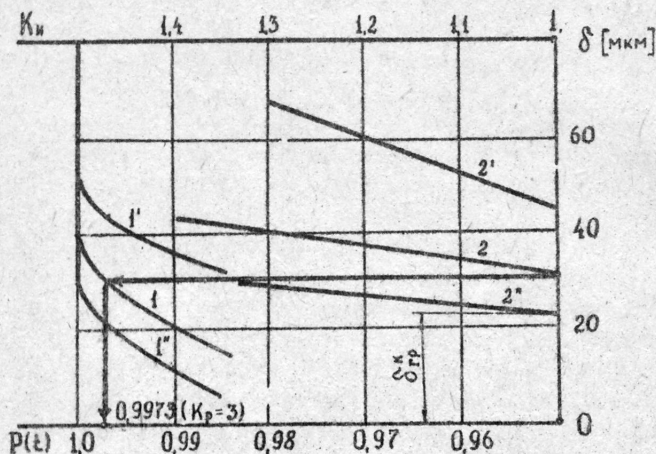


Рис. 1.

Кривая 1 и прямая 2 характеризуют начальное состояние многооперационного станка мод. 243ВМФ2. Характер изменения $P(t)$ и K_n в конце межналадочного периода представлен кривой 1' и прямой 2'. Линии 1" и 2" дают нижнюю границу показателей $P(t)$ и K_n в зависимости от назначаемого поля допуска при условии компенсации систематической составляющей погрешности выходного параметра до уровня $\ell_0 = \ell_1$, то есть, когда $K_2 = K_3$. Приведенные на рис. 1 зависимости характеризуют процесс формирования выходного параметра в рабочем объеме станка перемещениями стола, салазок и шпиндельной бабки. Граничное значение поля допуска на линейный размер исследуемого станка будет равно 26,4 мкм в плоскости стола и 30,4 мкм в рабочем объеме. Скорректированная величина $\delta_{гр}^*$ до уровня $K_2 = K_3$ в рабочем объеме (на примере формирования линейного размера вдоль оси координат Y равного 50 мм) будет равна 22,8 мкм, то есть в этом случае возможна обработка с точностью выше на один класс.

ВЫВОДЫ

1. В работе показано, что для металлорежущих станков вертикальной компоновки с позиционными системами ЧПУ при обработке отверстий корпусных деталей и деталей типа плит целесообразно принять основным выходным параметром, определяющим его технологическую надежность, точность выхода рабочих органов в запрограммированное положение.

2. Разработанная расчетно-теоретическая модель формирования точности выхода рабочих органов металлорежущего станка с ЧПУ в запрограммированное положение позволяет учитывать комплекс элементарных погрешностей линейных и угловых перемещений данных органов в рабочем объеме с учетом взаимного влияния составляющих погрешностей друг на друга и их рассеивания в процессе эксплуатации.

3. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия выходных параметров станка и системы управления показали, что погрешности станка оказывают влияние на параметры измерительных преобразователей, в частности линейных ИП, приводя к появлению "ложной" информации о действительном положении рабочих органов. На примере линейного индуктивного ИП показано, что изменение воздушного зазора в нем за счет геомет-

рических погрешностей и изменения данных погрешностей под действием нагрузок, а также проявления тепловых деформаций приводит к появлению дополнительной погрешности, достигающей 15% от поля допуска на точность выхода в запрограммированное положение.

4. Экспериментальные исследования на примере многооперационного станка мод. 243ВМФ2 вертикальной компоновки с позиционной системой ЧПУ "Размер-2М" показывают, что сформированное поле погрешностей для оценки точности выхода рабочих органов в запрограммированное положение меняется в рабочем объеме, причем случайные составляющие погрешностей бывают соизмеримы с систематическими.

5. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили существование области минимального пространственного смещения сформированного начального поля погрешностей от тепловых деформаций элементов станка. Использование этой зоны позволяет обрабатывать детали с более высокими требованиями к точности обработки.

6. Неравномерность распределения температуры по объему колонны и шпиндельной бабки станка приводит к изменению геометрических погрешностей шпиндельной бабки и гильзы, а это, в свою очередь, приводит к линейному и угловому смещению сформированного в начальный момент поля геометрических погрешностей. Так, например, при частоте вращения шпинделя $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$ через 6 часов работы отклонение от перпендикулярности перемещения шпиндельной бабки в плоскости YOZ изменит свое значение с $-6''$ до $+6,6''$.

7. Разработка и исследование формирования параметрического отказа по предложенному выходному параметру металлорежущего станка вертикальной компоновки с позиционными системами ЧПУ показали, что влияние погрешностей станка на точность выходных параметров ИП приводит к появлению неиндицируемых обоев в системе управления и увеличению вероятности возникновения параметрического отказа металлорежущего станка с ЧПУ в целом.

8. На основании общей модели потери машиной работоспособности разработана методика оценки технологической надежности металлорежущих станков вертикальной компоновки с позиционными системами ЧПУ по выходному параметру — точности выхода рабочих

органов в запрограммированное положение.

9. Показано, что при оценке уровня технологической надежности металлорежущих станков с ЧПУ, когда вероятность безотказной работы по выходному параметру $P(t) \rightarrow I$, $K_n > I$, целесообразно наряду с основными показателями иметь дополнительные (частные) показатели технологической надежности. Введенные частные показатели технологической надежности K_1 , K_2 , K_3 , которые характеризуют долю неиспользованного резерва и отношение систематических и случайных составляющих погрешности выходного параметра к величине поля допуска на него, позволяют выбирать рациональное отношение, исходя из требований к точности и условий эксплуатации данного вида оборудования.

10. Определенная для рассматриваемого станка область существования основных показателей технологической надежности $P(t)$ и K_n позволяет оценить уровень технологической надежности данного станка и дать целенаправленные рекомендации по его повышению.

11. Экономический эффект в результате внедрения разработанных практических рекомендаций по оценке технологической надежности металлорежущих станков с ЧПУ вертикальной компоновки мод. КС 12-500, МА655А, МА655С2 по выходному параметру - точности выхода рабочих органов в запрограммированное положение на одном из предприятий составил 49840 руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Стародубов В.С., Горбунов В.П. Оценка технологической надежности металлорежущих станков с ЧПУ с учетом взаимодействия станка и системы управления. - В кн.: Ремонт и надежность технологического оборудования. - М.: МНТП им.Ф.Э.Дзержинского, 1979. - с.36-46.

2. Методические рекомендации. Надежность в технике. Технологические системы. Расчет и оценка показателей параметрической надежности технологического оборудования с ЧПУ. - М.: ВНИИНАШ - МВТУ, 1981. - 109 с.

3. Кузнецов А.П., Горбунов В.П. Оценка влияния теплового режима металлорежущего станка с ЧПУ на точность обработки. - М.: Надежность и контроль качества, 1982, № 2. - с.30-37.

Горбунов

