

М 88096

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА, ордена ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
и ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Э.БАУМАНА

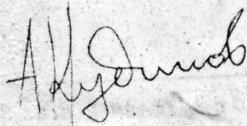
На правах рукописи

КУДИНОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

ИНФОРМАЦИОННО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕТАЛЛОРЕЗУЩИХ СТАНКОВ

Специальность 05.03.01 -
Процессы механической и физико-технической
обработки, станки и инструмент

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



Москва

1993

Работа выполнена в Российском Университете Дружбы Народов и
Экспериментальном НИИ металлорежущих станков

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
БУШУЕВ В.В.

доктор технических наук, профессор
НАХАПЕТЬН Е.Г.

доктор технических наук, профессор
ПРОХОРОВ А.Ф.

Ведущая организация: АО "КРАСНЫЙ ПРОЛЕТАРИИ"

Защита состоится "19" сентября 1994 г. в 15³⁰ час.
на заседании специализированного Совета Д053.15.04 при МГТУ
им.Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью,
просим присылать по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул.,
д.5.

С диссертацией можно о

Автореферат разослан "

УЧЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ
специализированного Сов
К.Т.Н., доцент

Подписано к печати 6.12
Тираж 100 экз. Типогр

НИИ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1088096

Кудинов А.В. Информационн

M 88096

Целью работы является теоретическое обобщение и решение научной проблемы формирования производственно-технических характеристик металлорежущих станков с учетом факторов, проявляющих себя в процессе эксплуатации, влияющих на процесс проектирования и определяющих совершенство потребительских свойств оборудования исходя из обоснованного назначения требуемой величины формируемых показателей.

Основные задачи работы включают: разработку принципиального теоретического подхода к проблеме формирования производственно-технических характеристик металлорежущих станков исходя из общих свойств производственной среды; анализ существующих показателей производственно-технических характеристик металлорежущих станков и методов их определения; изучение и анализ основных тенденций технического развития металлорежущих станков, определяющих процесс формирования производственно-технических характеристик; систематизацию и разработку рекомендаций по предпроектному обследованию производства с целью подготовки исходных данных для определения показателей производственно-технических характеристик металлорежущих станков; построение расчетных математических моделей, позволяющих формировать требуемые производственно-технические характеристики металлорежущих станков; синтез новых параметров производственно-технических характеристик металлорежущих станков и обоснование необходимости их применения; сопоставление результатов расчетов и закономерностей изменения производственно-технических характеристик металлорежущих станков с фактическими данными по эксплуатации оборудования в производственных условиях.

Автор защищает комплекс научных положений, методов и математических моделей, направленных на формирование совокупности традиционных и перспективных показателей производственно-технических характеристик металлорежущих станков и отличающихся методологией построения на основе фундаментальных информационно-вероятностных моделей, ограниченным объемом исходной информации и простотой технической реализации.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы определяется местом, которое занимают металлорежущие станки в современном машиностроительном производстве, являясь основным видом технологического оборудования. Ситуация, складывающаяся в мировом промышленном производстве, заставляет по новому взглянуть на задачи машиностроения в целом и станко-

строения в частности. Проявляющиеся тенденции к обострению конкурентной борьбы ставят проблему формирования технических показателей перспективного оборудования и реализации этих показателей, начиная с исходных процедур процесса проектирования. Другой вывод из прогноза мирового экономического развития связан с прекращением периода саморазвития промышленности и необходимостью сознательного управления характеристиками создаваемых станков, обеспечивающих реализацию прогрессивных технологических процессов и требуемую производительность труда.

Проблемы поиска и обоснования путей совершенствования станков, повышения технического уровня этого класса машин, а также разработка методов анализа и синтеза производственно-технических характеристик станков непосредственно связаны с работой конструктора. Технический уровень станка зависит не столько от качества изготовления, сколько от тех исходных принципов, которые использованы при проектировании. Среди показателей, включаемых в характеристику станка, особенно существенной является группа параметров, непосредственно влияющих на организацию эксплуатации. Только в конкретных производственных условиях происходит практическая реализация технического потенциала, заложенного в конструкцию станка.

Методы исследования, применяемые в работе, основаны на принципах системного анализа и теории самоорганизующихся систем. Средства системного анализа позволяют выделить из множества технических показателей подмножество параметров, определяющих особенности функционирования станка в конкретных производственных условиях, а также выявить связи, действующие на оборудование. Производственная среда, в рамках которой происходит функционирование металлорежущих станков, представляет из себя сложную динамическую систему, для понимания поведения которой в настоящее время наиболее конструктивными признаются принципы синергетики.

Исследовательской основой работы являются информационно-вероятностные методы, опирающиеся на математический аппарат информатики, теории вероятностей и теоретической физики. При разработке конкретных моделей расчета параметров производственно-технических характеристик станков используются методы математического анализа, высшей алгебры, теории дифференциальных уравнений, математической статистики. Обработка исходной информации и технические расчеты выполнены с применением вычислительной техники.

Научная новизна работы отражена в следующих положениях:

- определены характерные признаки производственной среды, свидетельствующие о наличии процессов самоорганизации при функциони-

рования металлорежущих станков и включающие: разнообразие составляющих элементов, наличие взаимодействия с внешней средой, нелинейность отклика на возмущающие воздействия, диссипативные кинетические свойства;

- выделена группа фундаментальных моделей, служащих структурно-функциональной базой самоорганизующейся производственной среды и включающих: информационную модель энтропии Шеннона, психофизиологический закон Вебера-Фехнера, физическую модель линейного осциллятора, вероятностную модель случайного блуждания;

- сформирована группа функционально-независимых параметров производственно-технической характеристики металлорежущего станка, позволяющая в сочетании с фундаментальными моделями синтезировать информационно-вероятностные методы определения функционально-зависимых параметров этой характеристики и регламентирующая минимально необходимый объем исходной информации.

Практическая ценность работы отражена в следующих положениях:

- разработан инженерный подход к определению требуемых значений параметров производственно-технических характеристик металлорежущих станков с позиций адекватности этих параметров особенностям психофизиологического восприятия человеком условий промышленного производства;

- сформирован набор параметров производственно-технической характеристики, позволяющий дать количественную оценку потребительским свойствам и техническому уровню металлорежущего станка в заданных условиях эксплуатации;

- предложен комплекс расчетных моделей для определения параметров производственно-технических характеристик металлорежущих станков, обладающих простотой технической реализации и предназначенных для использования при формировании требуемого уровня показателей оборудования.

Реализация работы в промышленности осуществлена при выполнении следующих инженерных разработок: расчеты точности универсальных и специальных станков, выпускаемых Московским заводом координатно-расточных станков (1970-1975 г.г.); технические задания на оборудование и участки из станков с ЧПУ для станкозавода им.С.Орджоникидзе (1976 г.) и Московского завода шлифовальных станков (1979); технико-экономическое обоснование АЗ шпинделей, пинолей, гильз и узлов на их основе (1978 г.); экспертные заключения на металлорежущие станки, закупаемые по импорту (1979-1980 г.г.); экспертные заключения на металлорежущие станки, заказываемые в специальном исполнении, а также в

состав комплектов оборудования, в т.ч. для поставок на КАМАЗ (1980-1984 г.г.); экспертные заключения на ГПС механообработки для различных отраслей машиностроения (1986-1988 г.г.); оценка технического уровня ГПС при приемо-сдаточных испытаниях станочных систем на Харцызском трубном заводе (1987 г.) и Новозыбковском заводе деревообрабатывающих станков (1987 г.); обследование работы станочного оборудования на Тбилисском станкостроительном заводе (1978 г.), на Ульяновском заводе тяжелых и уникальных станков (1982 г.), Рижском заводе гражданской авиации (1986 г.), Псковском заводе зубчатых колес (1988 г.); технико-экономическое обоснование АЗ токарных станков для завода "Красный пролетарий" и технические требования к оборудованию (1989-1990 г.г.); методические рекомендации по созданию автоматизированных производств (1978-1991 г.г.); учебно-лекционная работа в Российском университете дружбы народов (1992-1993 г.г.).

Апробация работ. Основные результаты работы докладывались на ряде республиканских, всесоюзных и международных конференций и семинаров, в число которых входят: Республиканская конференция "Автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении" (г.Севастополь, 1968 г.); Вторая международная конференция "Вычислительная техника и математические методы в организации, управлении и технологии складов" (ЧССР, Высокие Татры, 1978 г.); Всесоюзная научно-техническая конференция "Проблемные вопросы автоматизации производства" (г.Рига, 1978 г.);

Всесоюзный научно-технический семинар "Опыт создания и применения высокоэффективных машин-автоматов в серийном и массовом производстве" (г.Москва, 1979 г.); Научно-техническая конференция "Основные проблемы развития технологии машиностроения" (г.Москва, 1981 г.); Всесоюзная научно-техническая конференция "Проблемы создания и внедрения гибких производственных и робототехнических комплексов на предприятиях машиностроения" (г.Одесса, 1986 г.); Республиканская конференция "Проблемы создания гибких производственных систем в машиностроении" (г.Вильнюс, 1987 г.); Всесоюзный научно-технический симпозиум "Проблемные вопросы автоматизации производства" (г.Воронеж, 1987 г.); Цикл лекций "Научно-технический прогресс в отечественном станкостроении" (г.Москва, 1990 г.); Всесоюзная научно-техническая конференция "Итоги, проблемы и перспективы комплексно-автоматизированных производств в машиностроении и приборостроении" (г.Горький, 1990 г.); Всесоюзная научно-техническая конференция "Проблемы создания и эксплуатации ГПС и ПР на предприятиях машиностроения" (г.Севастополь,

1990 г.); Конференция профессорско-преподавательского состава Инженерного факультета РУДН (г. Москва, 1993 г.).

Отдельные разделы работы докладывались на научно-технических и экспертных советах НПО ЭНИМС в 1975-1990 г.г., в Московском станкоинструментальном институте в 1987 г., в Институте машиноведения в 1991 году, в Московском Высшем Техническом Училище им. Н.Э. Баумана в 1991 году. В работе учтены замечания и рекомендации, полученные при апробации отдельных разделов выполненного исследования.

Публикации. По результатам работы опубликовано 35 печатных работ.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и трех приложений. Объем основной части работы - 324 с., вкл. илл. и табл. на 56 с. Список литературы - 301 наим. Общий объем работы - 372 с.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение включает аннотацию содержания исследования с указанием целей работы, основных задач и положений, которые выносятся на защиту.

Первая глава связана с определением основных понятий, постановкой задачи и подготовкой исходной информации. Речь идет о проведении качественного анализа, предшествующего процедуре формирования производственно-технических характеристик. Обсуждаются принципы и признаки группировки технических показателей. Выясняются области применения производственно-технических характеристик и источники исходной информации. В отдельные разделы выделен анализ тенденций технического развития станков и обсуждение особенностей предпроектного обследования производства.

Потребительские свойства металлорежущих станков оцениваются по пяти критериям, к которым относятся качество обработки, производительность обработки, затраты ручного труда при эксплуатации, экологичность и экономичность. Потребительские свойства станков принято описывать показателями, которые могут иметь качественную и количественную форму. Качественным показателем-сообщением является описание технического назначения станка. Этот показатель дает пример простейшей и общепринятой формы производственно-технической характеристики.

Количественные показатели потребительских свойств называются параметрами, допускают сравнение в виде чисел и могут быть использованы в математических расчетных моделях и моделях оптимизации. Относительные параметры служат для сопоставления различных вариантов оборудования между собой. Абсолютные параметры дают на-

туральное описание свойств станка. В масштабе времени технические показатели делятся на три уровня. Требуемые значения устанавливаются на начальной стадии проектирования, ожидаемые - после окончания проектирования, фактические - по результатам длительной эксплуатации. В данной работе речь идет о требуемых значениях абсолютных количественных показателей потребительских свойств металлорежущих станков.

Технические показатели объединяются в характеристики, которые представляют из себя совокупности показателей, связанных с конкретным признаком. Наиболее распространены такие характеристики как техническая, технологическая, характеристика системы управления, характеристика технического уровня, рекламная и т.д. В нашей стране развитие методов составления, анализа и синтеза технических характеристик станков связано с именами таких ученых как Саввин Н.Н., Курбатов К.О., Каширин А.И., Панкин А.В., Дикушин В.И., Соколовский А.П., Демьянюк Ф.С., Владзиевский А.П., Проников А.С., Дашенко А.И., Волчкович Л.И. и др.

Производственно-техническая характеристика металлорежущих станков, являющаяся предметом исследования в данной работе, объединяет технические параметры, определяющие особенности функционирования оборудования в конкретных производственных условиях. Показатели характеристики можно разбить на две группы. Первая группа показателей является функционально-независимой информационной основой последующих расчетов. Ведущую роль в первой группе играет информация, заимствованная из технологической характеристики. Только сложность производства, оцениваемая коэффициентом серийности, используется при решении задач организации производства. Существует подгруппа независимых параметров, имеющая логарифмическую энтропийную форму. Энтропийные показатели помимо общности определения связаны свойством фрактальности, которое служит признаком принадлежности показателей подгруппы к характеристикам нелинейной динамической системы. Вторая группа изучаемой характеристики объединяет показатели, функционально зависящие от параметров первой группы. Здесь выделяются подгруппы производительности, внутрисменной надежности, организационных потерь, а также диссипативно-кинетических и общесистемных показателей. В качестве классификатора показателей производственно-технической характеристики можно использовать приводимый ниже перечень.

I. Группа функционально-независимых показателей.

I.1. Показатели-сообщения. Техническое назначение, модель станка, модель станка-аналога.

1.2. Абсолютные показатели.

Основной геометрический параметр, качество точности обработки, внутрицикловая сложность обработки, число облокированных циклов обработки, длительность цикла обработки, число одновременно обрабатываемых деталей, коэффициент серийности.

1.3. Энтропийная форма абсолютных показателей.

Качество точности обработки, индекс производства, индекс надежности, индекс станка.

2. Группа функционально-зависимых показателей.

2.1. Показатели производительности.

Коэффициент использования, коэффициент технического использования.

2.2. Показатели внутрисменной надежности.

Наработка на отказ, длительность переналадки, размер партии деталей.

2.3. Диссипативно-кинетические показатели.

Кинетическая константа, период стабилизации фактической производительности.

2.4. Показатели уровня организационных потерь.

Общий допустимый уровень потерь, потери при ожидании обслуживания, первичные совмещенные потери, вторичные совмещенные потери, потери при независимом обслуживании, емкость пристаночного накопителя.

2.5. Общесистемные показатели.

Уровень многостаночного обслуживания, уровень автоматизации, индекс производства, индекс станка.

Область применения показателей производственно-технической характеристики охватывает техническую заявку, техническое задание, технические условия, карту технического уровня, экспертное заключение и прогноз развития металлорежущих станков. Исходная информация для формирования характеристик содержится в требованиях заказчика, маршрутной и операционной технологической документации, стандартах и нормативах. В каждом отдельном случае особое внимание следует уделять анализу тенденций технического развития и результатам обследования производства.

Для определения требуемых значений показателей производственно-технических характеристик широко распространены методы качественного анализа фактических показателей с последующим применением технико-экономических расчетов и количественной оценкой технического уровня. Конструкторские и технологические расчеты как правило требуют разработки технической документации, опираются на стандарты и нормативы и позволяют выявить ожидаемый уровень технических характеристик. Как показывает практика существующие методы не явля-

ются достаточными для определения параметров станков на начальной стадии проектирования. Известные методы анализа и синтеза требуемых показателей предлагается дополнить информационно-вероятностными способами рассмотрения особенностей эксплуатации станков в производственных условиях.

При формировании требуемого уровня показателей производственно-технических характеристик проектируемый станок рассматривается как "черный ящик" без детализации элементов и взаимосвязей между ними. В этом случае важно учитывать, что любая техническая система не просто находится в рамках производственной среды, но существует и функционирует благодаря своему окружению. Успех проектирования металлорежущего станка определяется главным образом совместимостью с окружающей средой. В самоорганизующихся системах, к которым относится производственная среда, возникают характерные диссипативные структуры, которые определенным образом связывают независимые параметры в функциональные соотношения, снижающие число степеней свободы. Это принципиальное обстоятельство послужило основанием для поиска системных связей между параметрами производственно-технических характеристик в виде набора фундаментальных моделей, адекватных упомянутым структурам.

Ограниченный объем исходных данных на начальном этапе проектирования требует для идентификации производственной среды наиболее общего информационного описания, которое дается фундаментальной моделью энтропии Шеннона. Количественное значение энтропии совпадает с абсолютной величиной математического ожидания логарифмов вероятностей состояний технической системы. Взаимодействие между производственной средой и металлорежущим станком происходит с участием обслуживающего персонала, являющегося источником и потребителем информации. Логарифмическая функция, используемая в определении энтропии Шеннона, связана с психофизиологическим законом Вебера-Фехнера, который определяет зависимость между внешним сигналом (раздражением) и сигналом, воспринимаемым мозгом (ощущением). Суть закона состоит в том, что при изменении раздражения в геометрической прогрессии ощущение изменяется в арифметической прогрессии.

Статистическое взаимодействие станка с производственной средой и собственное статистическое состояние станка как технической системы на исходном этапе проектирования неизвестно. Системная связь между объектом проектирования и производством описывается фундаментальной физической моделью линейного осциллятора для волновой функции, квадрат которой после усреднения дает вероятностное распределение состояний металлорежущего станка. Подобное описание позво-

ляет сформировать первоначальное представление о структуре фонда времени работы оборудования в заданных условиях. Вероятностное описание собственного состояния станка как технической системы необходимо для оценки требуемого уровня надежности, параметров обслуживания, уровня автоматизации. Для этих целей используется модель случайного блуждания. Связь между фундаментальными и разработанными информационно-вероятностными моделями показана в таблице I.

Таблица I

Разработанные информационно-вероятностные модели	Фундаментальные модели			
	Энтропия Шеннона	Закон Вебера-Фехнера	Линейный осциллятор	Случайное блуждание
Размерный ряд по основному параметру	+			+
Единица допуска	+		+	
Длительность цикла обработки			+	+
Индекс производства	+	+		
Диссипация возмущений	+	+		
Распределение коэффициента технического использования		+	+	
Многостаночное обслуживание		+		+
Обобщенная циклограмма		+	+	
Энтропия функционирования	+		+	
Внутренняя надежность			+	+
Объем пристаночного накопителя		+		+
Уровень автоматизации	+			+

Обзор направлений технического развития металлорежущих станков позволил выделить глобальные и локальные тенденции. Общие тенденции являются традиционными и связаны с разработкой новых технологий и автоматизацией производства. В технологической области отмечены успехи в развитии адаптивной и модульной технологий. Развивается нанотехнология и технология для автоматизированных станочных систем. В области автоматизации производства отмечен прогресс в развитии

комплектов оборудования и станочных систем разного уровня автоматизации и комплексности. Локальные тенденции развития металлорежущих станков определяются модульным агрегатированием, модернизацией и специализацией оборудования. Распространение многоцелевых станков привело в ряде случаев к потере видовых признаков. В процессе развития электронных микропроцессорных средств управления сформировалась мехатронная тенденция в проектировании машин, связанная с унификацией систем управления и программно-математического обеспечения.

Обследование производства рекомендуется выполнять в несколько этапов: изучаются мотив и направления технической политики заказчика, определяется цикл обновления продукции и требуемый уровень гибкости оборудования, технологии и организации производства, проверяется соответствие серийности производства, форм его организации и уровня автоматизации параметрам применяемых и заказываемых станков, формируется структурно-функциональная схема развития производства, необходимая для выявления условийстройки станка в станочные системы. Особенности обследования производства сводятся к сбору информации по трем основным направлениям: организация производства, технология и металлорежущее оборудование. По каждому направлению выделяется три уровня информации: фактически реализованная, определяемая перспективами конкретного заказчика, определяемая общими тенденциями технического развития.

Вторая глава посвящена аналитическому представлению независимых параметров, образующих из себя информационную основу производственно-технической характеристики. Показатель - сообщение, связанный с техническим назначением станка, не допускает представления в количественной форме. Параметр серийности лежит в основе моделей производственной среды и обсуждается в следующей главе. В аналитическом представлении нуждается основной геометрический параметр, качество точности обработки, внутрицикловая сложность обработки, число заблокированных циклов обработки, длительность цикла обработки, число одновременно обрабатываемых деталей. Эти шесть параметров являются следствием технологической характеристики станка. Таким образом речь идет только о системном представлении независимых параметров, показывающих их принадлежность к характеристикам самоорганизующейся среды.

Процесс формирования параметрического ряда металлорежущих станков рассматривается исходя из принципов и особенностей поведения самоорганизующихся систем. Относительная стоимость механи-

ческой обработки J_{MP} представляется в виде двух сомножителей, один из которых J_{MV} зависит от объема выпуска, а другой J_{VP} - от диапазона изменения основного параметра.

$$J_{MP} = J_{MV} \cdot J_{VP} = \frac{\ln M (1 - e^{-\alpha})}{\sqrt{(\ln M - \ln V) (1 - e^{-\alpha/\sqrt{V}})}}, \quad (I)$$

где M - общая годовая программа выпуска станков, V - число интервалов размерного ряда, α - показатель экспоненты, зависящий от диапазона изменения основного параметра станка. Представление (I) относительной стоимости механической обработки в виде произведения является обобщением известного подхода к данной задаче, впервые предложенного Аверьяновым О.И. Чем больше объем выпуска и чем меньше число интервалов размерного ряда, тем выгоднее положение изготовителя. При противоположных тенденциях выигрывает заказчик. Сомножитель относительной стоимости, зависящий от объема выпуска, формально соответствует определению фрактальной размерности. Данное обстоятельство показывает, что по части параметров производственно-техническая характеристика станка может быть свойственна нелинейной динамической системе. Сомножитель относительной стоимости, зависящий от основного размера, связан со спецификой описания и восприятия информации человеком. При формировании размерного ряда оказывается целесообразным соблюдать постоянство разности значений функции спроса для смежных значений ряда. В случае станков общемашиностроительного применения этот принцип приводит к образованию размерного ряда по геометрической прогрессии.

Понятие точности реальной поверхности является эмпирическим, так как отклонения от номинального профиля, возникающие в процессе механической обработки, связаны со сложными физическими процессами, механизм которых изучен далеко недостаточно. Современный взгляд на геометрию поверхностей состоит в разделении отклонений профиля на макроскопические и микроскопические. Иерархия в систематике отклонений связана с самоподобием и фрактальной структурой реальной поверхности. В качестве теоретической модели поверхности рассматривается гладкая геометрически правильная функция, на которую накладывается процесс случайного блуждания. Для

различной длины L реализации процесса случайного блуждания отклонение S будет соответствовать шероховатости R , волнистости W , отклонениям формы F и допуску на размер T . Результаты расчетов показаны в таблице 2.

Параметр	S	L	S/R	Таблица 2 j
Шероховатость	R	10^1	1,0	1,1
Волнистость	W	10^3	4,8	1,8
Отклонение формы	F	10^5	17,1	3,8
Допуск размера	T	10^7	57,7	9,2

Теоретическая единица допуска j определена по формуле

$$j = \ln^{-1} L \sqrt{\sqrt{2\pi L} \ln \ln L}. \quad (2)$$

Интуитивно очевидное самоподобие реальной поверхности при изменении масштаба рассмотрения нашло аналитическое подтверждение. Единицы отклонений для уровней шероховатости, волнистости, отклонения формы и допуска размера примерно соотносятся как последовательные степени двойки. Признак удвоения и фрактальная размерность реальной поверхности показывают принципиальную возможность описания процессов механообработки в форме нелинейных динамических систем.

Распространенная классификация универсальных металлорежущих станков по классам точности основывается на относительных параметрах и представляет определенные удобства в основном для изготовителей станков. Для специализированных и специальных станков более характерно указание абсолютных допусков на обработку конкретной поверхности. Рассмотрена задача об определении числа K технологических переходов при механической обработке, необходимых для достижения заданного качества q точности, допусков на размер, форму и шероховатость поверхности по известному исходному качеству q_0 точности заготовки.

$$K = T^2 F^{-1} R^{-1} q_0^{-1} \ln(q_0 q^{-1}). \quad (3)$$

Выявление системной целостности параметров точности реальной поверхности позволило выделить три конкретных параметра для использования в производственно-технической характеристике. Качество точности представляет из себя энтропию числа единиц допус-

ка. Число технологических переходов, необходимых для получения требуемой точности, оказывается информативным для оценки внутрицикловой сложности обработки. Число облокированных циклов обработки и число одновременно обрабатываемых деталей отражают специфику построения технологической компоновки станка.

Внутрицикловая сложность зависит от числа технологических переходов при механической обработке, необходимых для достижения заданного качества точности, допусков на размер, форму и шероховатость поверхности по известному исходному качеству точности заготовки. Расчет показывает адекватность разработанной модели для числа переходов имеющимся технологическим рекомендациям. Аналитическая зависимость внутрицикловой сложности обработки от параметров точности свидетельствует о системном характере этого количественного показателя.

Число облокированных циклов связано с технологической компоновкой станка и представляет интерес при многошпиндельной и многосуппортной обработке. Параметр числа облокированных циклов зависит от геометрии детали, точности, внутрицикловой сложности, длительности цикла обработки и других технологических факторов, что служит подтверждением системной принадлежности этого параметра. Аналитическое представление для этой величины отсутствует, хотя известны оптимизирующие алгоритмы синтеза технологических компоновок металлорежущих станков, принадлежащие Дашенко А.И.

Производительность является важным критерием качества металлорежущего станка при условии обеспечения точности обработки детали. При бесперебойной работе оборудования, а также при условии, что вся выпускаемая продукция является годной, производительность определяется длительностью рабочего цикла. В настоящее время основой для определения режимов обработки являются справочные и нормативные материалы. В работе анализируются два способа аналитического представления процедуры нормирования, направленные на доказательство принадлежности величины длительности цикла обработки к параметрам самоорганизующейся среды.

Во многих практических ситуациях, особенно в условиях серийного и мелкосерийного производства, задача об оценке времени обработки ставится в плане использования информации об аналогичных процессах, то есть речь идет о типичной задаче прогнозирования. Эксплуатационные регрессии, несмотря на свои определенные преимущества, в системном плане поиска взаимосвязи между параметрами самоорганизующейся производственной среды не могут быть признаны

удовлетворительными. Было исследовано влияние геометрии, размеров и массы деталей на производительность станков, однако степень влияния точности обработки в общем случае выявлена не была.

Другая модель цикловой производительности опирается на положение о том, что при обработке резанием величина оборотной подачи на одну режущую кромку примерно равна допуску размера обрабатываемой поверхности. Модель была опробована при анализе большого числа наладок специальных станков, изготовленных на отечественных и зарубежных предприятиях. Экспериментальные данные охватывают также несколько десятков видов технологических операций. Итогом исследования явилось аналитическое соотношение, связывающее цикловую производительность Q , скорость резания V , точность (качество) обработки φ , число одновременно обрабатываемых деталей K_z и геометрическую характеристику реальной поверхности (площадь S).

$$Q = C V S^{-1} K_z \varphi, \quad C = 60 i \varphi^{-1} K_0, \quad (4)$$

где i — стандартная единица допуска, K_0 — коэффициент, учитывающий долю технологических воздействий в пределах цикла,

$\varphi = \sqrt[5]{10} \approx 1,58$. Скорость резания является функциональной характеристикой процесса резания, а фрактальный характер параметрических рядов по основному геометрическому параметру и параметров точности был установлен ранее. Наличие количественного соотношения (4) служит доказательством принадлежности параметра длительности цикла обработки к показателям самоорганизующейся производственной среды.

Результаты, касающиеся количественного представления основных параметров производственно-технической характеристики, не следует понимать как конкретные рекомендации по разработке операционной и маршрутной технологии. Цель состоит только в доказательстве принадлежности параметров к характеристикам самоорганизующейся производственной среды. Возможность практического использования аналитических моделей для независимых параметров ограничена контролем информации и приближенной оценкой величины показателей.

Третья глава дает описание моделей производственной среды, необходимость в которых возникает при разработке производственно-технических характеристик металлорежущих станков. Специфика производственной среды обычно оценивается коэффициентом серийности,

определение которого приведено в стандарте. Помимо стандартного существует также организационно-техническое (Сатановский Р.Л.), технологическое (Шрайбман С.М., Шадский Г.В.) и энтропийное определения типа производства, которые не противоречат друг другу и имеют самостоятельные области применения.

Информационно-вероятностная модель производственной среды связана с определением индекса производства J_s , являющимся линейной функцией натурального логарифма коэффициента серийности K_s . Индекс производства соответствует энтропийному определению типа производства, предложенному автором. Выполненный анализ индекса производства показал, что производственная среда оказывает влияние на характеристики станка через факторы: резервирования f_z , объема производства f_N , спроса на оборудование f_H и сложности обработки f_c .

$$J_s = \ln K_s + 1 = [1 - \exp(-f_H)]^{-1} [f_z(1 - f_z)^{-1} + f_N \ln f_c + 1]. \quad (5)$$

В условиях возникающих градиентов избытка или недостатка тех или иных компонентов производства возникают переходные кинетические процессы, в результате которых происходит диссипация возмущений в текущем значении индекса производства. Эти нестационарные процессы, происходящие при взаимодействиях в рамках систем станочных систем, исследованы с применением дифференциального уравнения в частных производных. Сформирован технический параметр, названный кинетической константой. Этот показатель связан с характеристиками изделий через значение станкоемкости и значение производственной площади, занимаемой станочной системой. Кинетическая константа требует привлечения ряда специальных организационно-технических характеристик производства и в производственно-техническую характеристику станка может не включаться.

Другая кинетическая задача связана с диссипацией возмущений внутри станочной системы. Данная проблема рассмотрена с позиций изменения границ средней производительности R , которая с учетом флуктуаций составляет

$$R = Q H n_i U_i \exp(w U_i) [\sum n_i U_i \exp(w U_i)]^{-1}, \quad (6)$$

где Q - цикловая производительность, H - число станков, n - число состояний станка на определенном отрезке времени, U - интенсивность изменения состояний, W - нормирующий коэффициент,

I - индекс состояния станка (1 - рабочее состояние, 2 - простой по собственным техническим причинам, 3 - переналадка станка, 4 - организационные простои). В рамках конкретной станочной системы стабилизация производительности завершается за конечный промежуток времени. При этом отношение величины отклонения производительности от среднего значения к этому среднему значению может составлять 5-10% по аналогии с уровнем значимости, принятым в математической статистике. Период стабилизации фактической производительности является вторым кинетическим параметром станка, используемого в условиях конкретной производственной среды. Этот показатель дает характерный масштаб времени для определения фактических значений параметров производственно-технической характеристики металлорежущего станка.

Техническая производительность металлорежущих станков связана с цикловой производительностью через коэффициент технического использования. Исследована информационно-вероятностная модель коэффициента технического использования металлорежущих станков. Информационный характер модели определяется применением для оценки серийности индекса производства, являющегося линейной функцией энтропии от числа выполняемых деталяеопераций. Вероятностная сторона вопроса выражена в использовании дифференциального уравнения маятника для вычисления волновой функции, квадрат которой соответствует плотности распределения коэффициента технического использования. Уравнение для волновой функции Ψ имеет вид

$$\ddot{\Psi} + 2\lambda\dot{\Psi} + \omega^2\Psi = \mathcal{L} \exp(i\gamma\tau), \quad (7)$$

где λ - коэффициент затухания, ω - циклическая частота, $\mathcal{L}$ - амплитуда внешнего возмущения, γ - частота внешнего возмущения, τ - безразмерное время, i - мнимая единица. Все перечисленные параметры зависят от текущего значения η коэффициента технического использования. Искомая плотность распределения после усреднения по времени и возведения в квадрат получает форму

$$\Psi^2(\eta) = \mathcal{X}\eta^4[\eta^2(1-\eta^2\gamma^2)^2 + 1]^{-1}, \quad (8)$$

где $\mathcal{X}$, φ - коэффициенты, γ - эквивалентное значение индекса производства, учитывающее величину сменной цикловой производительности Π станка. Связь между плотностью распределения Ψ и средними значениями M коэффициента технического использования по

определению математического ожидания выглядят как

$$M_c = \int_0^1 \eta \Psi^2(\eta, J_c, \Pi) d\eta, \quad M_{cs} = \int_0^1 \eta \Psi^2(\eta, J_{cs}, \Pi) d\eta, \quad (9)$$

где J_c - индекс надежности, J_{cs} - индекс станка. В первом случае учитывается собственная надежность станка, во втором случае дополнительно принимается во внимание переналадка станка. Коэффициент технического использования металлорежущего станка является параметром, включенным в состав производственно-технической характеристики.

В четвертой главе рассматриваются проблемы локальных структурных взаимодействий, связанные с возникновением организационных простоев в самоорганизующейся производственной среде. Возникающие задачи могут быть разделены на два класса. При анализе ожидаемого уровня потерь предполагается известной структура станочной системы и циклограмма работы станка. При синтезе требуемой величины потерь исходная информация связана только с заданными условиями производства.

Структура производства определяется набором взаимодействующих элементов и перечнем системных связей между элементами. В работе рассматриваются только те системные связи, которые описывают функционирование определенного металлорежущего станка в конкретных производственных условиях. Системные связи одного центрального элемента - станка - с примыкающими вспомогательными элементами формируют локальный характер структурных взаимодействий.

Величина организационных потерь имеет важную техническую и юридическую сторону. Прогрессивное, технически совершенное оборудование стимулирует качественное обслуживание и уход. Организационные потери минимальны. Станки, обладающие недостаточной точностью, производительностью, надежностью эксплуатируются нерационально. При приемосдаточных испытаниях всегда возникают вопросы о том, какой уровень потерь является допустимым и где лежит грань между ответственностью изготовителя и обязанностями заказчика.

При проектировании металлорежущего станка, обладающего высоким уровнем автоматизации, ставится вопрос о потерях, связанных с многостаночным обслуживанием оборудования операторами и наладчиками. Системная связь "человек-машина" в ряду локальных струк-

турных взаимодействий рассмотрена отдельно с учетом критерия экономии живого человеческого труда. Решение задачи многостаночного обслуживания целесообразно начинать с качественного анализа форм и методов обслуживания, а также мотивов поведения персонала.

Количественный анализ потерь при многостаночном обслуживании проводится на основе удобных аналитических моделей. Исследована задача о возможном числе станков в системе при известных характеристиках процесса обслуживания. Решена задача о возможном числе наладчиков при известных характеристиках станочной системы. Дан анализ уровня потерь при совмещенной с циклом обработки и независимой от этого цикла формах деятельности персонала. Потери Δ , связанные с ожиданием обслуживания, можно определить по формуле

$$\Delta = (5h^{\frac{x}{2}})^{-x}, \quad x = [\sqrt{B} + B(1 + \sqrt{B})^{-1}(Hh^{-1} - 2)]^{-1}, \quad (10)$$

где h — численность персонала, H — число станков, B — удельная длительность восстановления.

Общий количественный анализ уровня организационных потерь при локальных структурных взаимодействиях связан с методом обобщенных циклограмм. Циклограмма определяет не только наличие системных связей, но и продолжительность выполнения отдельных функций. Для составления циклограммы обычно рекомендуется четко представить себе функциональную структуру станка. В рамках такой структуры циклограмма носит обобщенный характер. Смысл обобщенности основан на двух положениях. Первое из них связано с тем, что элементы циклограммы являются случайными величинами, позволяющими учитывать категории надежности и гибкости станка. Второе положение заключено в зависимости последовательности реализации системных связей от сложившейся ситуации в производственной среде.

Обобщенная циклограмма относится к конкретному металлорежущему станку и включает шесть типов циклов. Основной цикл складывается из времени реализации технологических и вспомогательных процессов. По отношению к основному остальные виды циклов носят дополняющий характер. Речь идет о совмещенных, несомещенных и независимых циклах. Присутствие на обобщенной циклограмме дополняющих циклов приводит к появлению цикла потерь, обозначаемому как организационный. Организационный цикл складывается с основным и несомещенным и образует фактический цикл.

После качественного анализа функциональной структуры станка и составления обобщенной циклограммы возникает проблема количест-

венной оценки составляющих организационного цикла. Проведенное исследование показывает, что структура организационного цикла может быть представлена в виде четырех независимых составляющих, соответствующих основным системным связям. Речь идет о потерях при ожидании обслуживания, первичных и вторичных совмещенных потерях и потерях при независимом обслуживании. Потери δ при совмещении нескольких циклов с основным можно оценить как

$$\delta = \xi^2 (1 + \xi)^{-1} \ln [0,43(K+1)^2 + 0,50(K+1)], \quad (11)$$

где ξ - наибольшая длительность совмещенного цикла, K - приведенное число совмещенных циклов.

Характерным для процесса функционирования металлорежущих станков является случай, касающийся совмещения нескольких вспомогательных циклов. Физически эта ситуация возникает при одновременной работе нескольких систем, обслуживающих станок, который в данный момент не загружен технологическим воздействием на изделие. Потери, возникающие от совмещения вспомогательных операций, являются вторичными совмещенными потерями Δ и определяются по формуле

$$\Delta = \chi^2 (\xi + \chi)^{-1} \ln [0,43(K+1)^2 + 0,50(K+1)], \quad (12)$$

где ξ - относительная длительность вспомогательного цикла, χ - величина совмещения циклов, K - приведенное число совмещенных циклов.

Организационные потери, возникающие при наличии системной связи между основным и независимым циклом могут быть определены вероятностными методами и методами теории исследования операций. С практически приемлемой точностью потери γ при независимом характере обслуживания составляют

$$\gamma = \alpha^h (\beta h)^{-h}, \quad (13)$$

где α - интенсивность поступления требований, β - интенсивность обслуживания, h - число обслуживаемых устройств.

При решении задач анализа характеристики вспомогательных систем задаются в исходной информации. Выбирая различные структурные решения, можно определить уровень возникающих потерь, которые в свою очередь сопровождаются снижением надежности, услож-

нием переналадки и уменьшением эффективности автоматизации. С другой стороны уровень занятости человека снижается и возрастает степень автоматизации. Так можно качественно судить о выборе структуры вспомогательных систем обслуживающих станок. В количественном плане относительная доля Γ организационных потерь, связанная с функционированием вспомогательных систем, составит

$$\Gamma = \tau_0 \cdot (\Delta + \delta) + \alpha + \gamma, \quad (14)$$

где τ_0 - длительность основного цикла.

Метод обобщенной циклограммы исчерпывающим образом решает задачу анализа. При синтезе требуемого уровня организационных простоев, возникающих в самоорганизующейся производственной среде, используется принцип экстремальности, соответствующий максимуму производственной энтропии станка. Фактический цикл обобщенной циклограммы соответствует при таком подходе фактической производительности металлорежущего станка, связанного с цикловой производительностью через коэффициент использования. Модель коэффициента использования носит информационно-вероятностный характер. Информационные свойства вытекают из использования логарифмического оценивания сложности производственной среды, сложности цикла обработки и сложности обобщенной циклограммы. Вероятностные оценки связаны с применением плотности распределения коэффициента технического использования, основанной на уравнении для волновой функции (7). Информационно-вероятностная модель коэффициента использования описывается на фундаментальные модели энтропии Шеннона и линейного осциллятора и может быть использована в трех принципиально важных случаях: автономно работающий станок; система заблокированных станочных узлов и станочная система с гибкой межагрегатной связью. Вычисления показывают, что значение организационных потерь в задаче синтеза на основе энтропии функционирования соответствуют величине

$$\gamma = \frac{M}{1 + \exp \left[\frac{(1 + \ln \eta)(1 - MD)}{MD} + CD^{-1} + \frac{2 \ln(\Pi + 2)}{3MD} \right]}, \quad (15)$$

где M - среднее значение коэффициента технического использования (9), Π - цикловая сменная производительность, C и D - коэф-

фициенты, определенные по распределению (8). Коэффициент использования определяется по известному среднему значению коэффициента технического использования и уровню синтезированных организационных потерь (15) и включается в производственно-техническую характеристику в подгруппу показателей производительности металлорежущего станка.

Пятая глава посвящена общим особенностям параметризации, связанным с определением большой группы разнообразных функционально-зависимых параметров производственно-технической характеристики. Рассмотрена задача о показателях внутрисменной надежности металлорежущих станков, исследованы вопросы эволюции внутренних запасов в станочных системах и определена емкость пристаночного накопителя деталей. Глава завершается общим анализом взаимодействия системы "человек-машина" в условиях конкретной производственной среды.

Надежность металлорежущих станков связана с возможностью обрабатывать детали с сохранением в требуемых пределах точности и производительности в течении определенного периода времени. Вынужденные перерывы в работе металлорежущих станков могут быть вызваны техническим отказом станка, техническим обслуживанием узлов и механизмов, выработкой ресурса стойкости инструментом и процедурой переналадки. Таким образом надежность рассматривается на относительно коротких и характерных промежутках времени, равных рабочей смене. Конструктору в своей работе необходимо ориентироваться на конкретные значения наработки на отказ, размера партии деталей и времени переналадки станка.

В основу математической модели внутрисменной надежности станков положен процесс случайного блуждания. Наиболее наглядной является интерпретация этого процесса на языке азартных игр. Условный участник подбрасывает монету, которая с одинаковым успехом после падения может показать игроку сторону с номиналом, либо обратную сторону, что соответствует выигрышу или проигрышу определенной денежной единицы. В результате последовательных подбрасываний монеты условный игрок может получить прибыль, оказаться в проигрыше или вернуться в исходное состояние игры. В физической интерпретации момент первого возвращения в начало соответствует параметру наработки на отказ. По известным значениям коэффициента технического использования и коэффициента использования можно определить остальные параметры внутрисменной надежности при заданной наработке на отказ. Расчетная формула для вычисления па-

параметра наработки на отказ имеет вид

$$T = - \frac{480 \ln[J_c(P+2)]}{J_c(P+2) \pi q^2 v \ln(\pi q^2 v)} \quad (16)$$

где J_c - индекс надежности, P - сменная цикловая производительность, q - уровень синтезированных организационных потерь, v - коэффициент вариации для усеченного процесса случайного блуждания.

Проведено сопоставление результатов расчета с фактическими данными обследования работы агрегатных, специальных и универсальных станков. Количественное сравнение выполнено на основе статистического анализа по критериям Колмогорова - Смирнова, Стьюдента и Фишера. В целом результаты сопоставления показали удовлетворительное согласие между теоретической моделью и фактическими результатами, полученными при эксплуатации металлорежущих станков.

Выполненные исследования по внутрисменной надежности позволили определить способ учета параметра внутрицикловой сложности обработки в производственно-технической характеристике. При назначении этого параметра необходимо в первую очередь учитывать число переходов (3) в технологическом процессе, для реализации одного из которых предназначается данный станок. В сложных процессах каждый последующий переход является и более ответственным. В таком случае коэффициент сложности может совпадать с порядковым номером операций, что не исключает введения определенных поправок. Индекс надежности J_c связан с коэффициентом внутрицикловой сложности обработки K_c формулой

$$J_c = \ln[3^{-1}(K_c + 1)] + 1. \quad (17)$$

Спределение индекса надежности по параметру внутрицикловой сложности обработки ставит вопрос о применении индекса производства (5) в задачах определения внутрисменной надежности. Анализ экспериментальных данных о работе универсальных металлорежущих станков показал, что для одновременного учета собственных отказов и процессов переналадки целесообразно пользоваться параметром

$$J_{cs} = J_c + J_s - 1, \quad (18)$$

где J_{cs} - индекс станка, J_s - индекс производства, J_c - индекс надежности. Для универсального оборудования индекс станка является поправкой для индекса производства. Для специальных и спе-

специализированных станков индекс производства становится поправкой к индексу надежности. Использование индекса станка в формуле (17) для вычисления параметра наработки на отказ позволяет определить элементарным образом искомые значения для тельности переналадки и характерного для данных условий производства размера партии деталей.

Флуктуации производительности металлорежущих станков приводят к появлению специфического вида потерь, называемых наложенными простоями. Эффективным средством борьбы с наложенными простоями является введение внутренних запасов в рассматриваемую станочную систему. В зависимости от места расположения можно различать начальные, промежуточные, оперативные, конечные и интегрированные виды запасов. Величина промежуточных запасов определяет емкость пристаночного накопителя, который является комплексным параметром производственно-технической характеристики, связанным с надежностью и производительностью станка с одной стороны и структурой производственной среды с другой. Математическая модель внутренних запасов опирается на психофизиологический закон Вебера-Фехнера и вероятностный процесс случайного блуждания.

Определение емкости пристаночного накопителя выполнено на основании вероятностной модели, учитывающей влияние принятой формы статистического распределения состояний накопителя на его емкость. Проведено сравнение аналитических методов расчета с методами моделирования и детерминированными подходами, используемыми в задачах проектирования предприятий машиностроения и металлообработки. Наряду с задачей синтеза, позволяющей определить объем пристаночного накопителя по известным характеристикам производственной среды рассмотрена задача анализа, решение которой позволяет дать оценку фактической производительности станка по известной емкости пристаночного накопителя. Для практических целей оказывается удобной формула, определяющая емкость Z пристаночного накопителя

$$Z = 2a^{-1} \ln [pd(\omega \lambda us)^{-1} \operatorname{sh}(\lambda us)], \quad (19)$$

где p - безусловная вероятность простоя, a - интенсивность изменения состояния накопителя, d - поправочный коэффициент, λ - коэффициент регулярности запуска, S - размер партии деталей, ω - абсолютная вероятность простоя.

Общая задача оценки взаимного влияния системы "человек - машина" и самоорганизующейся производственной среды связана с определением уровня автоматизации станка. Проведено исследование су-

существующих способов определения этого параметра. В результате показана возможность применения фундаментальной модели случайного блуждания и предложено воспользоваться понятием ранга объекта управления. При выполнении фрагмента технологической операции на универсальном станке ранг равен единице. Максимальный ранг равен девяти и соответствует оборудованию для идеального абсолютно автоматического производства. Ранг R_g объекта управления отождествляется с числом двойных шагов процесса случайного блуждания. Затем определяются вероятности g моментов возвращения блуждания на начальный уровень. В этом случае уровень автоматизации K_a можно определить через относительную величину энтропии Шеннона как

$$K_a(R_g) = \left(\sum_1^{R_g} g_i \ln g_i \right) \left(\sum_1^9 g_i \ln g_i \right)^{-1} \quad (20)$$

Рассмотрено несколько вариантов функциональной связи между параметрами станка, обслуживаемого персонала и производственной среды. Станку соответствует параметр уровня автоматизации, обслуживаемому персоналу – уровень многостаночного обслуживания, производственной среде – индекс производства. Как правило проявляется сильная корреляционная связь между уровнем многостаночного обслуживания и уровнем автоматизации. Индекс производства, выступающий как мера относительной стоимости механической обработки, обратно пропорционален уровню автоматизации станка. При определении уровня автоматизации следует учитывать величину коэффициента использования. В этом случае справедливо уравнение

$$e^2 + L(1+L) \ln J_{cs} e - 1 = 0, \quad (21)$$

где L – коэффициент использования, J_{cs} – индекс станка, $e = K_a L^{-1}$ – отношение коэффициента автоматизации к коэффициенту использования. Параметр e имеет смысл поправки к теоретическому определению предельного значения коэффициента многостаночного обслуживания K_h .

$$K_h = e(1-L)^{-1} \quad (22)$$

Исходя из имеющихся в распоряжении конструктора параметров производственно-технической характеристики станка требуемый уровень автоматизации можно оценить по формуле

$$K_a = [1 - (1-L)e^{-1}]L + eL(1-L). \quad (23)$$

Информационно-вероятностная модель уровня автоматизации может

быть эффективно использована при создании нормативной базы и при проектировании механообрабатывающих производств.

Заключение содержит краткую характеристику работы. Там же приведены сведения, касающиеся научной новизны, практической ценности, реализации в промышленности и апробации работы. Раздел завершают общие выводы по выполненной работе.

Приложение I содержит примеры синтеза требуемых параметров производственно-технических характеристик металлорежущих станков. Часть этих примеров приведена в таблице 3.

Приложение 2 содержит основные обозначения, применяемые в работе.

Приложение 3 содержит документы, подтверждающие внедрение результатов выполненной работы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан принципиальный теоретический подход и предложено решение научной проблемы формирования производственно-технических характеристик с учетом факторов, проявляющих себя в процессе эксплуатации и влияющих на процесс проектирования металлорежущего станка. Отличительными свойствами полученных результатов являются: достаточность использования ограниченного объема исходной информации, простота технической реализации и возможность совершенствования потребительских свойств станка исходя из обоснованного назначения требуемой величины технических показателей.

2. Выполнен анализ существующих показателей производственно-технических характеристик металлорежущих станков и методов их определения, показавший широкое распространение качественного анализа фактической информации с последующим применением технико-экономических расчетов и количественной оценкой технического уровня. Предложено дополнить известные методы анализа требуемых показателей способом рассмотрения производственной среды как самоорганизующейся системы. Результаты выполненного исследования показывают, что производственная среда обладает типичными для синергетики признаками, к которым относится структурное разнообразие элементов, взаимодействие с внешней средой, нелинейный и диссипативный характер протекания процессов.

3. Систематизированы рекомендации по предпроектному обследованию производства и изучению основных тенденций развития металлорежущих станков с целью подготовки исходных данных для определения показателей производственно-технических характеристик. По результатам анализа производственных процессов выделена группа фундаментальных моделей, служащих структурно-функциональной ба-

Производственно-технические характеристики металлорежущих станков. Таблица 3

Модель станка-аналога	16K20	63610	27820	5A122	3K151	3A544	6C214
Основной геометрический параметр, мм	220	1000	800	250	200	1150	65
Квалитет точности обработки	9	7	5	8	5	7	11
Внутрицикловая сложность обработки	3	3	6	3	10	4	4
Число облокарованных циклов обработки	1	2	2	2	1	5	8
Длительность цикла обработки, мин.	15	24	5	3	5	32	0,08
Коэффициент серийности	25	2	1	1,5	6	1	1
Коэффициент техн. использования	0,828	0,677	0,694	0,337	0,751	0,414	0,923
Коэффициент использования	0,353	0,524	0,652	0,716	0,447	0,274	0,902
Переработка на отказ, мин.	301	162	86	131	122	59	25
Длительность переналадки, мин.	83	30	-	98	44	-	-
Размер партии деталей, шт.	5	30	-	257	14	-	-
Период стабилизации факт. произв. смен	69	2	12	11	6	296	2
Вязкость приспосабочного накопителя, шт.	10	6	81	51	32	8	110
Уровень многостан. обслуживания	1,09	1,60	2,08	2,56	1,16	1,28	7,22
Уровень автоматизации	0,19	0,39	0,50	0,58	0,22	0,25	0,84

зой производственной среды и включающих: информационную модель энтропии Шеннона, психофизиологический закон Вебера-Фехнера, физическую модель линейного осциллятора, вероятностную модель случайного блуждания. Применение единых фундаментальных моделей позволяет провести разбиение производственной среды, как самоорганизующейся системы в целом на подсистемы, характеризуемые разными группами параметров и едиными закономерностями функционирования.

4. Сформирован инженерный подход к определению требуемых значений параметров производственно-технических характеристик металлорежущих станков с позиций адекватности этих параметров особенностям психофизиологического восприятия человеком условий промышленного производства. Определены общие свойства параметров характеристик, подразумевающие абсолютный характер величины каждого параметра, наличие группы функционально-независимых параметров, энтропийную логарифмическую форму представления части независимых параметров, связь независимых параметров с зависимыми через фундаментальные модели, линейную независимость внутри группы функционально-зависимых параметров.

5. Дано аналитическое представление группы независимых параметров на основе моделей размерного ряда по геометрическому параметру, единицы допуска, числа переходов для достижения заданной точности, длительности цикла обработки и индекса производства. Подтверждена принадлежность независимых параметров к характеристикам самоорганизующейся производственной среды через зависимость от фундаментальных моделей и через свойство фрактальности, которое присуще энтропийной группе независимых параметров и служит признаком нелинейной динамической системы. Возможность практического использования упомянутых моделей связана с контролем информации и приближенной оценкой величины показателей.

6. Сформулирована и выражена в количественной форме проблема кинетических явлений в производственной среде. Показано, что источником возмущений могут быть как внешние факторы, связанные с поступлением заказов, материалов, энергий, информации, так и собственный вероятностный характер функционирования металлорежущего станка. Межсистемные взаимодействия описаны кинетической конструкцией, существенной при проектировании комплексов станочных систем. Внутрисистемный переходный процесс охарактеризован периодом стабилизации фактической производительности, дающим типичный масштаб времени для определения показателей производственно-технических характеристик.

7. Обоснован и использован при решении задач анализа локаль-

ных структурных взаимодействий метод обобщенной циклограммы, отличительной особенностью которого является вероятностный характер системных связей и продолжительности процессов взаимодействия. Показано, что структурное разнообразие элементов самоорганизующейся производственной среды и наличие обмена энергией и информацией с внешней средой приводит к возникновению организационных потерь и образованию группы показателей, описывающих это явление. Определена структура и дана количественная оценка четырем составляющим потерь, соответствующим ожиданию обслуживания, первичным и вторичным совмещенным потерям и потерям при независимом обслуживании. Практическую ценность имеет оценка емкости пристаночного накопителя, обеспечивающего компенсацию наложенных простоев и относительную автономность работы оборудования.

8. Разработан способ количественной оценки показателей технической и фактической производительности металлорежущих станков, опирающийся на вычисление коэффициента технического использования и коэффициента использования. Для данного класса задач обосновано применение метода волновой функции и принципа экстремальности энтропии функционирования станка в конкретных производственных условиях. Проведена апробация разработанных способов инженерных расчетов и сравнение полученных результатов с данными обследования различных групп станочного оборудования, включающего специальные, агрегатные, универсальные станки и станки с ЧПУ. Продемонстрирована практическая важность применения показателей производительности для оценки структуры фонда времени.

9. Предложена интерпретация параметров внутрисменной надежности на языке азартной игры с подбрасыванием монеты, в которой момент возвращения к начальному состоянию капитала игроков, идентифицирован с моментом технического или организационно-технического отказа станка. Указан практический способ вычисления параметров наработки на отказ, времени устранения отказа, длительности переналадки, размера партии деталей. Проведен подробный статистический анализ, показавший удовлетворительное согласие между теоретической моделью и фактическими результатами, полученными при эксплуатации металлорежущих станков.

10. Выполнены оценки взаимного влияния системы "человек-машина" и самоорганизующейся производственной среды, основанные на определении уровня автоматизации металлорежущего станка исходя из частной энтропии процесса случайного блуждания. Выявлена сильная корреляционная связь между уровнем автоматизации, уровнем много-станочного обслуживания и индексом производства. Определена об-

ласть практического использования информационно-вероятностной модели уровня автоматизации при разработке нормативов и проектировании станочных систем.

11. Накоплен определенный практический опыт применения информационно-вероятностных методов формирования показателей точности, производительности и надежности металлорежущих станков, входящих в производственно-технические характеристики. Строгие статистические и примерные практические оценки показывают, что отношение фактических и требуемых по расчету количественных показателей может изменяться вдвое в большую или меньшую сторону. Достигнутая точность оставляет определенную свободу выбора для принятия технологических, конструкторских и экономических решений при создании станков.

12. Разработанные теоретические подходы и практические методы формирования производственно-технических характеристик металлорежущих станков нашли свое применение при решении ряда инженерных задач, выполненных с участием автора. Результаты исследовательской апробации и опыт практического применения позволяют рекомендовать информационно-вероятностные методы для использования при разработке технических заявок, технических заданий, технических условий, карт технического уровня, экспертных заключений и прогнозов развития станочного оборудования.

Основные результаты работы отражены в следующих публикациях:

1. Кудинов А.В. Влияние внутренних запасов на эффективность автоматизированных производств // Проблемные вопросы автоматизации производства: Тез. докл. Всес. науч. техн. конф. — М., 1978. — С. III.

2. Кудинов А.В. Влияние структуры автоматизированного производства на производительность // Опыт создания и применения высокоэффективных машин-автоматов в серийном и массовом производстве: Тез. докл. Всес. науч. техн. сем. — М., 1979. — С. 91-94.

3. Кудинов А.В. Вопросы применения принципов групповой технологии при создании комплексных производств // Основные проблемы развития технологии машиностроения / МДНП. — М., 1981. — С. 128-131.

4. Кудинов А.В. Выбор объема склада и размеров накопителей для участков типа АСВ // Сб. науч. тр. ЭНИИ. — М., 1976. — С. 52-55.

5. Кудинов А.В. Выбор размеров шлифовальных кругов для обработки спиральных лисков // Станки и инструмент. — 1974. — № 9. — С. 20.

6. Кулинов А.В. Границы изменения средней производительности ПЧ // Станки и инструмент. - 1987. - № 4. - С.4-6.

7. Кулинов А.В. Использование эксплуатационных характеристик при проектировании автоматизированных участков // Сб. науч. тр. ЭНИМС. - М., 1981. - С.98-104.

8. Кулинов А.В. Количественные характеристики ПЧ механообработки // Проблемные вопросы автоматизации производства: Тез. докл. Всес. науч. техн. симп. - Воронеж, 1987. - С.28-30.

9. Кулинов А.В. Метод расчета кинематической точности резьбообрабатывающих станков / Ред. журн. "Станки и инструмент". - М., 1976. - 14 с. - Деп. в НИИМАШ, 07.01.76, № 1176.

10. Кулинов А.В. Некоторые закономерности формирования гибкой операционной и маршрутной технологии // Прогрессивные информационные и технологические процессы в машино- и приборостроении: Матер. межресп. сем. / СФ ЦЧО РИА. - Орел, 1993. - С.83-94.

11. Кулинов А.В. Новые технические решения при создании автоматизированного завода на МСПО "Красный пролетарий" // Проблемы создания и эксплуатации ПЧ и ПР на предприятиях машиностроения: Тез. докл. Всес. науч. техн. конф. - М., 1990. - С.11-12.

12. Кулинов А.В. О влиянии геометрической точности станка на профиль винтовых поверхностей изделия // Сб. науч. тр. ЭНИМС. - М., 1974. - С.60-63.

13. Кулинов А.В. О погрешностях профиля, возникающих при правке дискового инструмента // Сб. науч. тр. ЭНИМС. - М., 1974. - С.64-67.

14. Кулинов А.В. Обоснование уровня автоматизации при создании станочных систем механической обработки // Станки и инструмент. - 1987. - № 7. - С.7-8.

15. Кулинов А.В. Определение параметров интегрированных производств при проектировании: Методические рекомендации / ЭНИМС. - М., 1991. - 44 с.

16. Кулинов А.В. Основные этапы формирования комплексных автоматизированных участков // Сб. науч. тр. ЭНИМС. - М., 1981. - С.92-97.

17. Кулинов А.В. Особенности обследования предприятий при создании ПЧ механической обработки // Станки и инструмент. - 1989. - № 10. - С.11-14.

18. Кулинов А.В. Особенности предпроектного анализа предприятий при создании ГПС механобработки // Проблемы создания и внедрения гибких производственных и робототехнических комплексов на предприятиях машиностроения: Тез. докл. Всес.науч.техн.конф.

- Одесса, 1986. - С.28-29.

19. Кулинов А.В. Оценка искажения профиля при затывании дисковым инструментом // Изв. вузов. Машиностроение. - 1974. - № 12. - С.161-163.

20. Кулинов А.В. Предпроектный анализ машиностроительных предприятий при создании ГПС // Сб. науч.тр. ЭНИМС. - М., 1986. - С.37-45.

21. Кулинов А.В. Предпроектный анализ при создании ГПС для механической обработки: Методические рекомендации / ЭНИМС. - М., 1987. - 23 с.

22. Кулинов А.В. Принципы выбора оборудования и объектов обработки при автоматизации производства // Сб.науч.тр. ЭНИМС. - М., 1979. - С.3-II.

23. Кулинов А.В. Расчет автоматизированных производств при проектировании: Методические рекомендации / ЭНИМС. - М., 1979. - 75 с.

24. Кулинов А.В. Расчет автоматизированных производств при проектировании: Методические рекомендации / ВНИИТОМР. - М., 1985. - 75 с.

25. Кулинов А.В. Расчет искажения винтовых поверхностей, обработанных дисковым инструментом // Станки и инструмент. - 1977. - № 10. - С.33-34.

26. Кулинов А.В. Расчет канала возврата шариков в передачах винт-гайка качения // Станки и инструмент. - 1976. - № 4. - С.21-22.

27. Кулинов А.В. Расчет столов металлорежущих станков // Изв. Вузов. Машиностроение. - 1975. - № 4. - С.165-168.

28. Кулинов А.В. Связь спектра вибраций технологической системы с параметрами волнистости обработанной поверхности // Машиноведение. - 1974. - № 2. - С.91-95.

29. Кулинов А.В. Специфика использования внутренних запасов в автоматизированных производствах // Вычислительная техника и математические методы в организации, управлении и технологии складов: Тез. докл. межд. науч. техн. конф. - Братислава, 1978. - С.10-14.

30. Кулинов А.В. Техническая заявка на ИПС. // Руководящий документ по стандартизации РД 2 НО2-3-87 / МСИП. - М., 1987. - С.26-29.

31. Кулинов А.В. Экспериментальное операционное технологическое оборудование для автоматизированного завода, создаваемого на МСПО "Красный пролетарий" // Итоги, проблемы и перспективы комплексно-автоматизированных производств в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. Всес.науч.техн.конф.- Горький, 1990. - С.26-27.

32. Кулинов А.В., Дунаевский С.И. Идентификация статистических объектов в машиностроении / Автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении: Тез.докл.респ.конф. - Севастополь, 1968. - С.29.

33. Кулинов А.В., Козырев Ю.Г., Великович В.Б. Самоцентрирующий захват для гладких и ступенчатых валов // Механизация и автоматизация производства. - 1976. - № 10. - С.15-17.

34. Кулинов А.В., Сорокалетов Л.А. Экономическое конструирование системы управления // Автоматизация и комплексная механизация процессов в машиностроении и приборостроении. - Киев, 1970. - С.55-58.

35. Кулинов А.В., Гевлин З.В. Разработка технической заявки на ИПС для механообработки: Методические рекомендации / ЭИМС.- М., 1986. - 47 с.