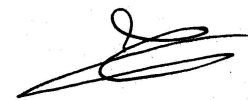


На правах рукописи



ЧИГИРИНСКИЙ Юлий Львович

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ
ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ
НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ
И МАТЕМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОЕКТИРУЮЩЕЙ
ПОДСИСТЕМЫ САПР ТП**

Специальность: 05.02.08 – Технология машиностроения
05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами
(в машиностроении)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Саратов 2014

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»

Научный консультант:	доктор технических наук, профессор Полянчиков Юрий Николаевич
Официальные оппоненты:	Аверченков Владимир Иванович доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Компьютерные технологии и системы» Копылов Юрий Романович доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО Воронежский государственный технический университет, профессор кафедры «Технология машиностроения» Иващенко Владимир Андреевич доктор технических наук, старший научный сотрудник Институт Проблем Точной механики и Управления РАН (г. Саратов), ведущий научный сотрудник лаборатории системных проблем управления и автоматизации в машиностроении
Ведущая организация	ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск)

Защита состоится «23» апреля 2014 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.242.02 при ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет» по адресу: 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, СГТУ, корп. 1, ауд. 319.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет».

Автореферат разослан « » 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

А. А. Игнатьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Технологическое проектирование как комплекс инженерных задач, можно рассматривать в виде циклической итерационной последовательности дискретных, в достаточной степени самостоятельных и завершенных во времени, проектных процедур. Основная сложность автоматизации процесса технологического проектирования состоит в отдаленности по времени двух проектных процедур: принятия решения на этапе маршрутного проектирования и проверки корректности принятого решения, которая выполняется, как правило, в условиях опытного производства, т. е. на завершающем этапе цикла проектирования. От корректности инженерных решений, полученных на начальных стадиях (выбор методов и последовательности обработки поверхностей и смены баз), зависит необходимость выполнения всех последующих проектных процедур. Большинство промышленно применяемых технологических систем автоматизированного проектирования ориентированы на решение, так называемых, «формализованных», вычислительных задач. Задачи индивидуального маршрутного проектирования в таких системах не решаются.

В основе проектирования технологии механической обработки лежат проблемы формирования заданного качества изделия, которое в целом определяется размерной и геометрической точностью, микрогеометрическими и физико-механическими характеристиками отдельных обработанных поверхностей и точностью взаимного расположения поверхностей. Такие показатели качества обеспечиваются, соответственно, выбором не только методов окончательной обработки, с учетом технологической наследственности, но и выбором базовых поверхностей и последовательности обработки и смены баз. Проблемы, связанные с базированием, нашли отражение в работах А. М. Дальского, А. В. Королева, С. Н. Корчака, А. А. Кошина, А. Г. Сулова и других исследователей. Большинство изделий машиностроения характеризуется достаточно простой геометрической формой и, следовательно, качество обработки отдельных поверхностей может быть обеспечено выполнением относительно несложных методов формообразования.

Качество и точность обработанной поверхности оценивается комплексом показателей, каждый из которых можно рассматривать как параметр определенного технологического метода, формирующего заданное состояние поверхности изделия. Таким образом, одной из важнейших задач технологической подготовки производства следует считать задачу построения технологического маршрута для изделия в-целом и, на начальной стадии, для каждой элементарной поверхности. Используемые, в настоящее время, концептуальные подходы к маршрутному технологическому проектированию, предложенные А. П. Соколовским, С. П. Митрофановым, Б. М. Базровым, А. В. Королевым, базируются на концепции индивидуального маршрутного проектирования, которая реализуется в справочной информации в виде таблиц точности обработки, представляющих собой совокупность диапазонов значений технологических показателей для различных методов обработки. Основным недостатком традиционных таблиц точности, фактически определяющим невозможность формализованного решения задачи проектирования последовательности обра-

ботки, является отсутствие значений, определяющих величины изменения технологических показателей при каждом последующем переходе обработки. Кроме того, сами значения технологических показателей, приводимые в справочной литературе, также являются неоднозначными. Неоднозначность и низкая статистическая достоверность нормативно-справочной информации, применяемой в технологическом проектировании, приводит к низкой надежности результатов проектирования. Использование в САПР ТП преимущественно принципов типового технологического проектирования в сочетании с недостаточной достоверностью нормативно-справочной информации приводит к наследованию некорректных технологических решений прототипа в проектируемой технологии.

Предположения о сходстве методов решения задач технологического проектирования и задач дискретной математики, высказанные А. М. Дальским и С. Н. Корчаком, подтверждаются результатами исследований ведущих технологических научных школ и, в частности, работами В. И. Аверченкова, А. С. Васильева, А. И. Кондакова, Ю. Р. Копылова, В. Г. Старостина. Кроме того, экономический характер технологических проектных задач также определяет возможность применения положений теории графов. Методы дискретной математики, сформулированные в основных положениях теории графов, с учетом стохастической природы результатов механической обработки, должны быть дополнены положениями теории вероятностей и математической статистики. Таким образом, повышение уровня формализованности задач технологического проектирования и, в результате, повышение эффективности технологического проектирования, в особенности автоматизированного, возможно за счет использования математических методов имитационного моделирования. Для более эффективного использования предлагаемых методов необходимо разработать соответствующее информационное, математическое и программное обеспечение.

Повышение эффективности технологического проектирования (в особенности автоматизированного) возможно при использовании современных математических методов, таких как теория графов и имитационное моделирование, что в свою очередь, требует изменения логической структуры справочных данных.

Анализ состояния вопроса по материалам научных публикаций и предварительные исследования технологических возможностей машиностроительных предприятий позволили выявить ряд основных противоречий, не позволяющих в должной мере использовать существующие технологические знания для использования формальных методов проектирования маршрутных технологических процессов и построения САПР ТП, к которым можно отнести следующие:

- противоречие между различными уровнями формализации задач инженерного проектирования: высоким – для конструкторских задач и низким – для технологических. Как следствие, эффект, достигнутый за счет применения САПР при разработке проекта изделия, теряется на этапе технологической подготовки производства;
- противоречие между необходимостью применения САПР на всех этапах

- технологической подготовки производства и отсутствием формализованных проектных методик;
- противоречие между заявляемыми и реальными возможностями технологических систем автоматизированного проектирования;
 - противоречивые данные о технологических возможностях методов механической обработки, использование которых в качестве информационной основы маршрутного проектирования не позволяет получать достоверные проектные результаты.

Выявленные противоречия определили актуальность данного исследования и позволили сформулировать **научную проблему**, которая состоит в необходимости совершенствования методов проектирования индивидуальных маршрутных технологических процессов механической обработки изделий заданного качества на основе уточнения представлений о стохастической природе процессов формирования качества обработанной поверхности и информационных и математических средств проектирующей подсистемы САПР ТП на основе имитационного моделирования для прогнозирования результатов многопереходной механической обработки.

Целью работы является повышение эффективности и надежности технологической подготовки многономенклатурного механообрабатывающего производства с использованием САПР ТП и применением современных математических методов для формализации процесса индивидуального маршрутного проектирования в части построения планов механической обработки поверхностей изделий заданного качества.

Объект исследования – многопереходная механическая обработка поверхностей изделий машиностроения.

Предмет исследования – процесс формирования точности и качества поверхности, получаемой в результате многопереходной механической обработки.

Задачи исследования:

1. Разработать информационное, алгоритмическое и программное обеспечение технологического проектирования, реализующее принципы проектирования «открытых» программных систем, для чего необходимо:
 - обосновать возможность рассмотрения задач научно обоснованного технологического проектирования с использованием имитационного моделирования;
 - разработать математические алгоритмы и методики проектирования последовательности обработки поверхности заданного качества и экспертизы действующих технологий;
 - установить и обосновать соответствие между алгебраическими структурами теории транспортных сетей и табличными моделями данных, принятыми в технологическом проектировании;
 - разработать систему численных критериев для оценки качества технологического проектирования и методику структурной оптимизации планов обработки;
 - разработать базу данных для ЭВМ по точности механической обработки на

основе применяемых общемашиностроительных справочных изданий.

2. Сформировать статистически достоверные массивы справочной информации для оптимального проектирования планов обработки поверхностей, для чего необходимо:
 - разработать методику и критерии оценки статистической достоверности границ технологических допусков;
 - разработать методику учета технологических возможностей конкретного промышленного предприятия при построении таблиц точности механической обработки и базы данных для ЭВМ;
 - разработать методику сравнения границ технологических допусков для различных методов обработки;
 - разработать методику расчета величин изменения показателей качества и точности в условиях многопереходной механической обработки;
 - разработать методику и критерии оценки вероятности получения требуемого качества обработки.

Научная новизна: для повышения эффективности и надежности технологической подготовки механообрабатывающего производства с использованием САПР ТП на основе методов дискретной математики, теории нечетких множеств и имитационного моделирования решена актуальная научная проблема, связанная с созданием методологических основ построения планов обработки элементарных поверхностей заданного качества. Существо решения составляют следующие, наиболее крупные научные результаты:

- предложен и обоснован концептуальный подход к проектированию планов механической обработки, учитывающий последовательное значимое повышение качества и точности в зависимости от состояния обрабатываемой поверхности, сформированного на предыдущих этапах технологического процесса.
- разработана методология построения информационного обеспечения проектирования планов обработки элементарных поверхностей, адаптированного к технологическим возможностям конкретного производства, на основе математических методов теории нечетких множеств и математической статистики.
- впервые предложена и обоснована информационная структура таблиц точности обработки, содержащих значения собственно величин и оценки достоверности изменения технологических допусков, определяемых методами теории нечетких множеств, для дискретно-событийного имитационного моделирования процессов формирования качества и точности поверхностей изделий машиностроения при многопереходной механической обработке;
- созданы математические модели и алгоритмы и разработана методика формализованного индивидуального проектирования планов механической обработки на основе новой информационной структуры, определенной предложенным термином «вероятностные таблицы точности»;
- впервые введено и обосновано понятие надежности плана обработки, как последовательно-параллельной технической системы и разработана мето-

дика расчета величины вероятностного показателя надежности на стадии проектирования последовательности обработки поверхности заданного качества;

- разработана математическая модель структурной оптимизации планов механической обработки, базирующаяся на дискретно-событийной имитационной модели процесса формирования точности и качества элементарной поверхности изделия в ходе многопереходной механической обработки, с использованием в качестве целевой функции вероятностной оценки надежности плана обработки.

На защиту выносятся:

1. Концепция проектирования планов механической обработки поверхностей с учетом последовательного существенного повышения качества и точности в зависимости от текущего состояния поверхности изделия, сформированного на предшествующих этапах технологического процесса.
2. Методология формализованного проектирования планов обработки поверхностей заданного качества и точности на базе вероятностных таблиц точности обработки.
3. Понятие «вероятностные таблицы точности», логическая модель и содержание информационного обеспечения маршрутного технологического проектирования.
4. Методика формирования вероятностных таблиц точности обработки, учитывающих технологические возможности конкретного предприятия.
5. Понятие надежности плана механической обработки и методика вероятностной оценки показателя надежности на стадии маршрутного технологического проектирования.
6. Усовершенствованная методика статистического анализа технологических возможностей действующего механообрабатывающего производства.
7. Имитационная модель формирования качества и точности поверхности в процессе многопереходной механической обработки и формализованная методика проектирования планов обработки элементарных поверхностей, на основе вероятностных таблиц точности.
8. Система технических ограничений, целевая функция и методика структурной оптимизации планов механической обработки по критерию надежности технологического проекта.

Методы исследования. Все разделы работы выполнены с единых методологических позиций с использованием основных положений технологии машиностроения, теории резания металлов, основ математической теории эксперимента, теории систем, теории оптимизации и линейного программирования, теории графов и сетей, теории вероятностей и математической статистики, теории множеств, элементов теории алгоритмизации с использованием методов информационного поиска и обобщения результатов, методов имитационного моделирования,

Достоверность результатов исследования, научных положений и выводов подтверждается корректным применением методов математической статистики и теории вероятностей для обработки репрезентативных статистических сово-

купностей, использованием современных средств измерительной и вычислительной техники и прикладных программ для обработки массивов данных.

Практическая ценность и реализация результатов работы:

- Разработаны практические рекомендации по изменению и дополнению логической структуры нормативно-справочной информации, используемой в технологическом проектировании.
- Уточнены нормативно-справочные данные, используемые в маршрутном технологическом проектировании.
- Разработана база данных вероятностных таблиц точности обработки, содержащая дополненную, по сравнению с типовыми таблицами точности, информацию для формализованного проектирования маршрутных технологий.
- Разработаны практические рекомендации и методические материалы для формализации и алгоритмизации задач маршрутного технологического проектирования, что позволило формировать планы механической обработки элементарных поверхностей в автоматизированном режиме.
- Разработаны унифицированные алгоритмы технологического проектирования для построения технологических САПР.
- Разработаны программы для ЭВМ, предназначенные для построения обобщенных и вероятностных таблиц точности, адаптированных под технологические возможности и технологические традиции конкретного механообрабатывающего производства и для оптимального проектирования индивидуальных планов механической обработки поверхностей заданного качества.

Результаты исследования внедрены:

- в проектно-технологическую деятельность службы главного технолога и металлообрабатывающее производство ОАО «Производственное объединение «Баррикады», г. Волгоград.
- в проектно-технологическую деятельность технологической службы и металлообрабатывающее производство ООО «Производственно-техническое предприятие «Поршень», г. Волжский, Волгоградской области.
- в учебный процесс Волгоградского государственного технического университета, Камышинского технологического института (филиал ВолгГТУ), Волжского политехнического института (филиал ВолгГТУ).

Внедрение предложенных проектных и технологических решений в производство позволило обеспечить возможность проектирования оптимальных по критерию максимальной надежности технологического проекта планов механической обработки и, в результате, повышение надежности технологического проектирования и качества изделий при одновременном сокращении материальных и временных затрат на проведение проектно-технологических работ и опытного производства.

Решение научной проблемы выполнялось в рамках Генеральных Соглашений о научно-техническом сотрудничестве между Волгоградским государственным техническим университетом и машиностроительными предприятиями Волгоградской области; научно-технической программы, финансируемой Ми-

нистерством образования и науки РФ «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники», раздел «Производственные технологии», бюджетная тема № 7.2706.2011 – «Повышение эффективности изготовления деталей из труднообрабатываемых материалов за счет применения информационной подсистемы индивидуального маршрутного проектирования и перспективных методов обработки» в ФБГОУ ВПО ВолгГТУ.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертации докладывались на 18 Международных и Всероссийских научных и научно-практических конференциях: «Актуальные проблемы конструкторско-технологического обеспечения машиностроительного производства» (Волгоград, 1999 г.); «Инновации в машиностроении» (Бийск, 2010 г.); «Инновационные технологии в обучении и производстве» (Камышин, 2009, 2010, 2012 г.г.); «Интерактивные системы: проблемы человеко-компьютерного взаимодействия (ИС-2013)» (Ульяновск, 2013); «Машиностроение – основа технологического развития России (ТМ-2013)» (Курск, 2013 г.); «Методы повышения технологических возможностей металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ» (Уфа, 2010 г.); «Наукоёмкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении (ТМ-2012)» (Рыбинск, 2012 г.); «Новые материалы и технологии» (Москва, 2006, 2008 г.г.); «Новые технологии» (Миасс, 2011 г.); «Применение ИПИ – технологий в производстве» (Москва, 2009 г.); «Прогрессивные технологии в обучении и производстве» (Камышин, 2006 г.); «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании' 2012» (Одесса, Украина, 2012 г.); «Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий» (Уфа, 2011 г.); «Технические науки: современные проблемы и перспективы развития» (Йошкар-Ола, 2013 г.); «Фундаментальные и прикладные исследования – производству» (Барнаул, 2001 г.).

В полном объеме диссертация заслушана и одобрена на заседаниях:

- межкафедрального семинара Юго-Западного государственного университета (г. Курск), май 2013 г.;
- расширенного семинара машиностроительного факультета Волгоградского государственного технического университета, сентябрь 2013 г.;
- расширенного семинара кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов» Саратовского государственного технического университета, сентябрь 2013 г.;
- Ученого Совета института электронной техники и машиностроения Саратовского государственного технического университета, октябрь 2013 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 117 печатных работ, из них 34 в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 монографии, 13 охраняемых документов и 13 статей в зарубежных изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и основных выводов, библиографического списка из 448 наименований и 15 приложений. Материал изложен на 279 страницах, содержит 55 рисунков и 81 таблицу. Общий объем работы 373 страницы, в том числе 94 страницы приложений в отдельном томе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой научной проблемы, сформулированы цель, задачи работы, научная новизна, практическая ценность и реализация результатов работы, а также научные положения и результаты, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена аналитическому обзору материалов, опубликованных в открытой печати и посвященных, прямо или косвенно, проблеме исследования. В частности, проведен анализ работ по следующим направлениям:

- научный базис современной технологии машиностроения;
- подходы к проектированию технологических процессов для различных способов организации производства; классификация изделий машиностроения и их элементов по конструкторско-технологическим признакам;
- информационное обеспечение технологического проектирования с точки зрения полноты и однозначности нормативно-справочной информации, применяемой в маршрутном технологическом проектировании;
- оценка степени и способов формализации задач технологического проектирования;
- методы решения задач технологического проектирования в САПР ТП;
- логические модели информации и алгоритмы обработки информации в современных информационно-вычислительных системах.

Выполнен сравнительный анализ основных подходов к построению технологических процессов, в частности рассмотрены:

- Концепция типового технологического проектирования, предложенная проф. А. П. Соколовским, основанная на классификации элементов детали по конструктивным признакам, наиболее часто применяется при подготовке малономенклатурного – массового или крупносерийного – машиностроительного производства. Типовые технологические процессы разрабатываются на основе анализа множества действующих и возможных технологических процессов на типовые изделия. Типизация технологических процессов осуществляется на уровнях предприятия или отрасли.
- Концепция группового технологического проектирования, предложенная проф. С. П. Митрофановым, основана на классификации поверхностей изделия по технологическим признакам и предполагающая построение комплексной детали-представителя группы, наиболее часто применяется при подготовке многономенклатурного – единичного и мелкосерийного – производства, но предполагает использование методов и средств малономенклатурных производств. Групповые технологические процессы и операции разрабатывают для всех типов производства только на уровне предприятия.
- Модульный (проф. Б. М. Базров) подход к технологическому проектированию предусматривает условное разбиение предмета производства на модули поверхностей, которые являются основой для построения иерархии объектов, используемых при построении технологии: каждый модуль поверхности логически связан с соответствующим модулем технологическо-

го процесса, включающим в себя модули установки, обработки и контроля для каждого этапа технологии. В определенной мере аналогом модулей поверхности можно считать конструкторско-технологические элементы изделий – понятие, используемое в ряде современных технологических САПР для установления взаимосвязей между рабочим чертежом и технологией изготовления детали.

- Концепция гибких технологических процессов для многономенклатурных производств, предложенная Саратовской школой технологов (А. В. Королев, Б. М. Бржозовский, П. Ю. Бочкарев) предполагает классификацию оборудования по признаку максимального использования однотипных проектных процедур. За счет этого обеспечивается гибкость информационной модели технологического процесса, обеспечивающая возможность адаптации рабочих технологических процессов изготовления деталей к изменяющимся производственным условиям непосредственно в процессе оперативно-календарного планирования производства.
- Единичное (индивидуальное) технологическое проектирование предполагает разработку рабочего технологического процесса изготовления детали на базе типового или группового технологического процесса. Единичный технологический процесс разрабатывают только на уровне предприятия при запуске нового изделия в производство, либо при проведении модернизации производства для отдельных партий запуска изделий. Единичный технологический процесс применяют для изготовления или ремонта одного конкретного предмета производства. В то же время, единичное (индивидуальное) технологическое проектирование является единственно возможным инструментом подготовки производства в условиях отсутствия базы типовых технологических решений, например при освоении производства изделий из новых конструкционных материалов или с использованием новых технологических методов.

Проведенный анализ подходов к проектированию, применяемых в производстве систем автоматизации и информационного обеспечения технологического проектирования показал, что в современных условиях отсутствуют универсальные формализованные методики проектирования планов обработки поверхностей заданного качества и точности, что определяется, в первую очередь, несовершенством – неполнотой и неоднозначностью – информационного обеспечения маршрутного технологического проектирования.

По результатам аналитического исследования поставлена цель работы, сформулированы задачи исследования, связанные с формированием методологии проектирования маршрутных технологических процессов и, в частности, планов обработки элементарных поверхностей деталей машин. Сформулированы задачи исследования, связанные с совершенствованием структуры, полноты содержания и обоснованности информационного обеспечения маршрутного технологического проектирования.

Вторая глава посвящена описанию методов и средств исследования. Рассмотрен математический аппарат, применяемый для статистической обработки

экспериментальных данных, дан обзор базовых понятий современных разделов математики, примененных в исследовании: теории сетей и графов, теории множеств, теории имитационного моделирования. Приведен перечень использованного программного обеспечения и дано подтверждение законности использования программных средств на различных этапах выполнения исследований.

Показано, что результатом многопереходной механической обработки является множество численных значений контролируемых показателей качества и точности обработки. Обосновано, с позиций технологии машиностроения и теории резания, что каждый показатель качества / точности следует рассматривать, как случайную величину, значение которой изменяется в процессе многопереходной обработки от некоторого начального (показатель точности / качества поверхности заготовки) до конечного (показатель точности / качества поверхности готовой детали), причем это изменение происходит ступенчато, поскольку численное значение величины фиксируется после выполнения очередного этапа обработки. Случайные величины, определяющие различные параметры точности / качества, следует рассматривать как взаимно независимые, что подтверждается многочисленными результатами исследований физических процессов при резании металлов, выполненными, в разное время, различными исследователями. Обосновано применение в качестве статистического критерия для оценки достоверности (надежности) результатов механической обработки величины коэффициента вариации, рассчитанного исходя из пределов технологического допуска, свойственного каждому технологическому методу. Получена математическая зависимость (1) для расчета вероятности попадания значения случайной величины в границы технологического допуска, исходя из наиболее «пессимистического» прогноза, в зависимости от коэффициента вариации.

$$\Phi(V) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\frac{1}{V}} V^{-2} \cdot e^{-0,5 \cdot V^{-2}} dV, & V < 0,564 \\ 0,5 + \frac{1}{V \cdot \sqrt{6}} + \frac{1}{12 \cdot V^2}, & 0,564 \leq V < 0,697. \\ 0,5 + \frac{1}{2 \cdot V \cdot \sqrt{3}}, & V \geq 0,697 \end{cases} \quad (1)$$

Разработаны номограмма (рис. 1) и соответствующие таблицы вероятности. Разработано и обосновано применение коэффициента вариации как статистического критерия для оценки достоверности нормативно-справочных данных. Разработаны рекомендации по количественной оценке надежности технологического проекта. В качестве технологического проекта рассматривается план механической обработки поверхности заданного качества и точности. Надежность технологического проекта оценивается по величине вероятности получения в результате обработки ожидаемых – в соответствии с техническими требованиями на готовое изделие – значений контролируемых показателей качества / точности.

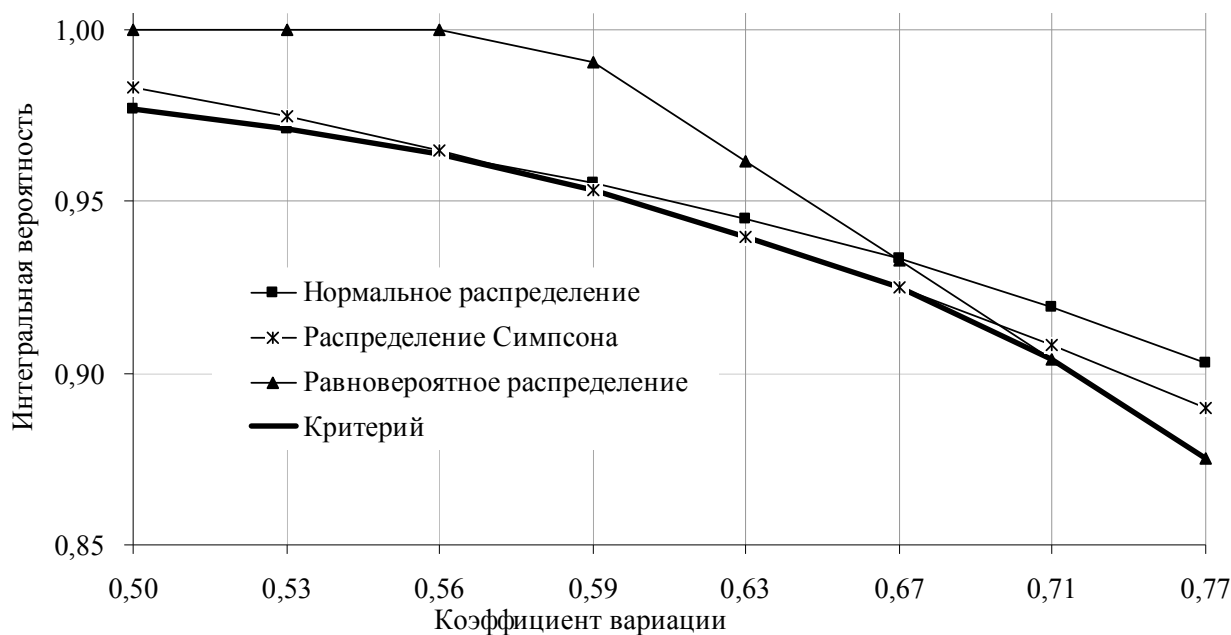


Рис. 1. Зависимость интегральной вероятности от вида распределения

План механической обработки поверхности рассматривается как техническая система последовательного или смешанного (последовательно-параллельного) типа (рис. 2).

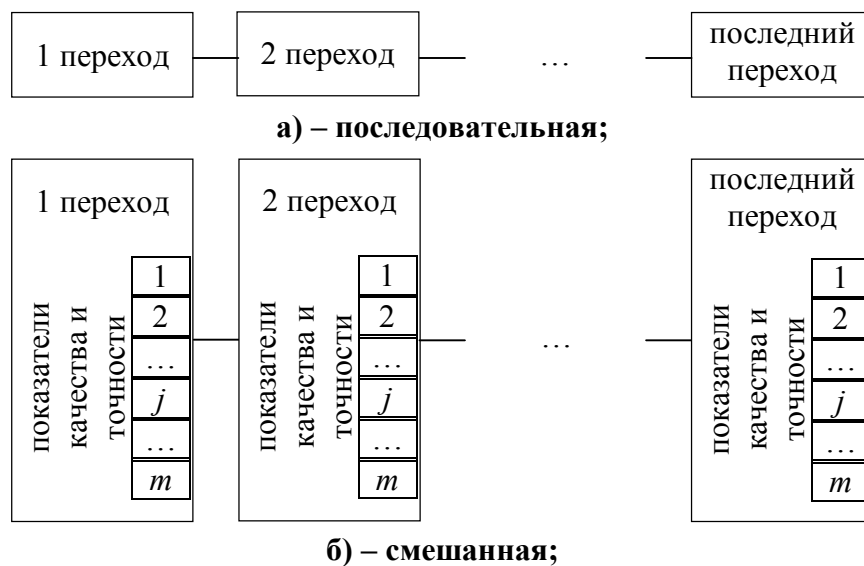


Рис. 2. Структурная схема для расчета надежности плана обработки

Последовательная (рис. 2, а) структура плана обработки допустима, если контролируется только один показатель качества или точности обработки, являющийся единственным результатом выполнения функций соответствующего элемента технической системы. Результат функционирования каждого элемента технической системы формируется под воздействием уникальных, для рассматриваемого элемента, условий и, следовательно, результаты для всех элементов следует рассматривать как взаимно независимые. Надежное функционирование технической системы, состоящей только из последовательно соединенных элементов возможно при обеспечении надежности каждого отдельного элемента. В качестве элемента мы рассматриваем отдельный технологический переход, надежность которого рассчитывается как интегральная вероятность попадания

значения показателя в интервал, определенный границами технологического допуска (1). Вероятность «срабатывания» последовательной технической системы, т. е. надежность P_{Σ} плана обработки определяется произведением показателей надежности отдельных технологических переходов.

$$P_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n \Phi(V_i), \quad (2)$$

где n – количество переходов плана обработки;

V_i – коэффициент вариации контролируемого показателя качества на i -том переходе.

При контроле нескольких – в реальной производственной практике не менее двух – групп показателей качества / точности обработки, последовательная структура не отражает особенностей исследуемого процесса. Для нескольких контролируемых показателей качества / точности следует рассматривать техническую систему с последовательно-параллельной (рис. 2, б) структурой, причем следует учитывать, что показатели качества, контролируемые в технологическом процессе, как правило, имеют различную физическую природу и, следовательно, представляются взаимно независимыми случайными величинами.

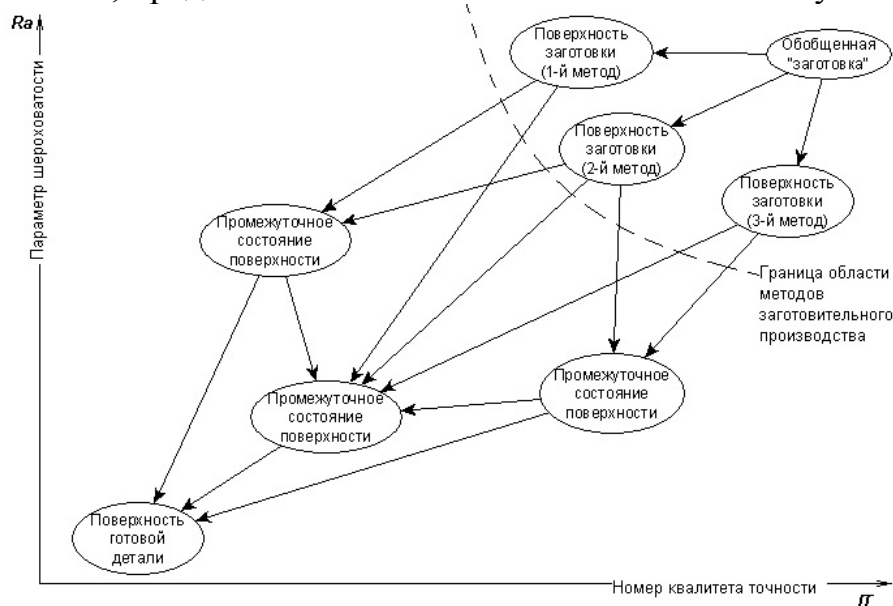


Рис. 3. Схема графа обработки для плоского (два показателя качества / точности) координатного пространства

Совокупная надежность технической системы с последовательно-параллельной структурой, с учетом взаимной независимости элементов системы, оценивается интегральной вероятностью (3)

$$P_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m \Phi(V_{ij}), \quad (3)$$

где n – количество переходов плана обработки;

m – количество контролируемых на каждом технологическом переходе показателей качества / точности обработки;

V_{ij} – коэффициент вариации j -го показателя качества на i -том переходе.

Обоснована возможность рассмотрения процесса формирования качества / точности элементарной поверхности с позиций теории графов. В частности,

процесс многопереходной обработки рассматривается, как «перемещение» поверхности из состояния «заготовка» в состояние «готовое изделие» в условном координатном пространстве показателей качества /точности (рис. 3).

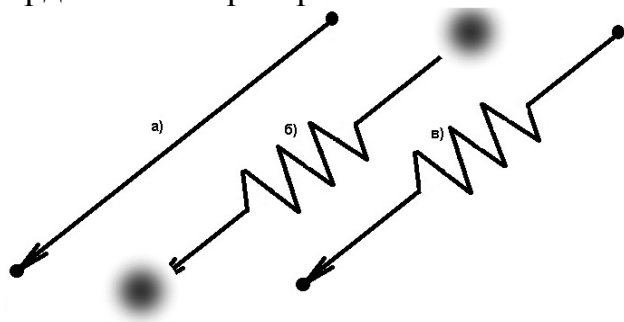


Рис. 4. Возможные представления элементов графа обработки
 а) дуга и вершины детерминированного графа;
 б) дуга переменного веса и вершины со случайными координатами;
 в) дуга переменного веса и детерминированные вершины.

Дальнейшая схематизация имитирующей технической системы требует учета стохастической природы реального процесса формирования качества / точности обрабатываемой поверхности. Рассматривая возможные варианты схематизации (рис. 4) элементов графа, приходим к заключению, что схема с дугами переменного веса и детерминированными вершинами корректно отображает исследуемый процесс.

С учетом сделанных допущений принято, что процесс формирования качества / точности элементарной поверхности изделия при многопереходной механической обработке может быть представлен в виде дискретно-событийной имитационной модели. Событием в моделирующей технической системе является «перемещение» обрабатываемой поверхности из состояния «до обработки» в состояние «обработано», что определяется изменением числовых значений контролируемых показателей качества / точности. Случайная величина изменения $\Delta X_{i,i-1}$ рассматривается как непрерывная (4), для значений показателя, определяемых в результате прямых непосредственных измерений (например, среднее арифметическое отклонение профиля Ra), или дискретная (5) если значение показателя определяется сравнением измеренного значения с предварительно заданными граничными величинами (например, номер качества точности IT).

$$\Delta X_{i,i-1} = \frac{X_{i-1}}{X_i}, \quad (4)$$

$$\Delta X_{i,i-1} = X_{i-1} - X_i, \quad (5)$$

Стохастический характер случайной величины $\Delta X_{i,i-1}$ учитывается коэффициентом вариации $V_{i,i-1}$ (6). Дискретность модели задается допущением о том, что изменение происходит в момент времени, соответствующий окончанию обработки на рассматриваемом (i -том) технологическом переходе.

Результаты исследований позволили разработать систему численных критериев для оценки качества технологического проектирования, сформулировать и обосновать тезис о применимости понятия «надежность технической системы» к технологическому проекту. Вероятностную оценку качества проектирования, рассчитанную исходя из наиболее пессимистического прогноза, предложено использовать для оценки надежности плана обработки поверхности. Получено выражение для расчета количественного значения оценки надежности. Обоснована возможность рассмотрения процесса формирования качества / точ-

ности элементарной поверхности изделия при многопереходной механической обработки с позиций дискретно-событийного имитационного моделирования технических систем и разработан подход к представлению основных этапов обработки в виде компонент имитационной модели.

В третьей главе подробно рассмотрены принципы индивидуального маршрутного технологического проектирования на современном этапе. Выполнен анализ нормативно-справочной информации, применяемой в практике технологического проектирования. Доказана неоднозначность справочных массивов. Показано, что применение теории множеств (рис. 5, рис. 6) для формирования справочных данных, в ряде случаев не позволяет получить корректные результаты.

Выявлены особые (нетривиальные) результаты применения аппарата теории множеств для построения обобщенных справочных массивов, в которых результат не соответствует представлениям о стохастическом характере формирования качества / точности обработки (рис. 7, а), либо результата не существует (рис. 7, б).

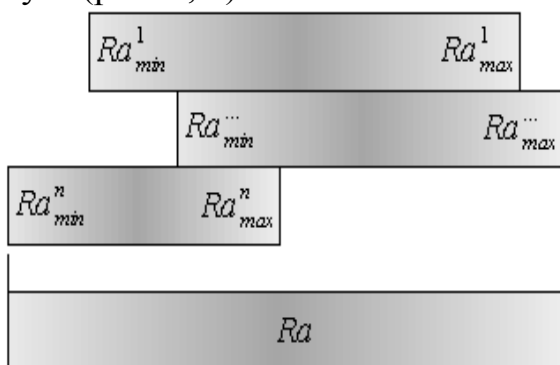


Рис. 5. Схема к определению границ объединения диапазонов на примере параметра шероховатости Ra

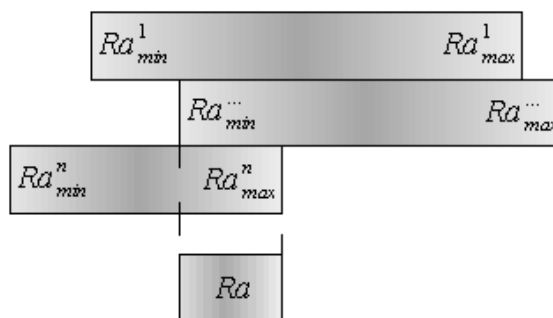
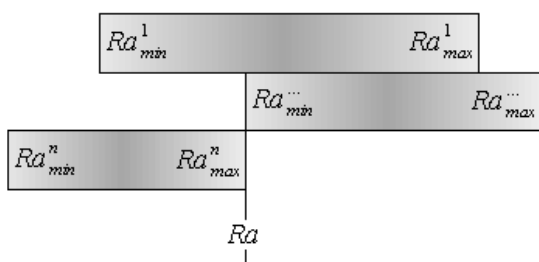
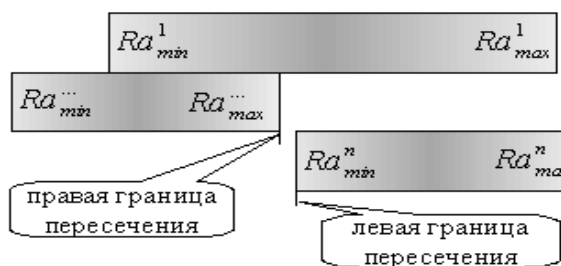


Рис. 6. Схема к определению границ пересечения диапазонов на примере параметра шероховатости Ra



а) вырождение пересечения в точку



б) несуществующее пересечение

Рис. 7. Схемы нетривиальных случаев пересечения диапазонов на примере параметра шероховатости Ra

Предложен подход к построению обобщенных справочных массивов с использованием понятия интервальных величин. Сделано предположение, что случайную величину X_i , определяющую результат обработки на i -том технологическом переходе, следует рассматривать как совокупность двух случайных величин X^{min} и X^{max} , определяющих вероятные границы интервала допустимых значений величины X (рис. 8).

Правила для определения характеристических значений интервальной ве-

личины X определяются следующим образом:

$$X_{\min}^{\min} = \min\left(\bigcup_{i=1}^n X_i^{\min}\right), \quad X_{\max}^{\min} = \max\left(\bigcup_{i=1}^n X_i^{\min}\right), \quad (6)$$

значения левой границы

$$X_{\min} = X_{\min}^{mid} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^{\min} \approx \frac{1}{2} (X_{\min}^{\min} + X_{\max}^{\min});$$

значения правой границы

$$X_{\min}^{\max} = \min\left(\bigcup_{i=1}^n X_i^{\max}\right), \quad X_{\max}^{\max} = \max\left(\bigcup_{i=1}^n X_i^{\max}\right), \quad (7)$$

приближенное среднее значение

$$X_{\max} = X_{\max}^{mid} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^{\max} \approx \frac{1}{2} (X_{\min}^{\max} + X_{\max}^{\max}).$$

$$\bar{X} = X^{mid} \approx \frac{1}{2} (X_{\min} + X_{\max}). \quad (8)$$

Рассмотрены наиболее часто используемые в технологическом проектировании законы распределения случайных величин в диапазоне допустимых значений: закон Гаусса, треугольный закон, закон равной вероятности. Показано, что наиболее «пессимистичному» прогнозу в отношении результатов обработки соответствует закон Гаусса, следовательно, именно этот закон следует учитывать при построении функции принадлежности (рис. 9, ф. 9) случайной величины интервала допустимых значений (6..7).

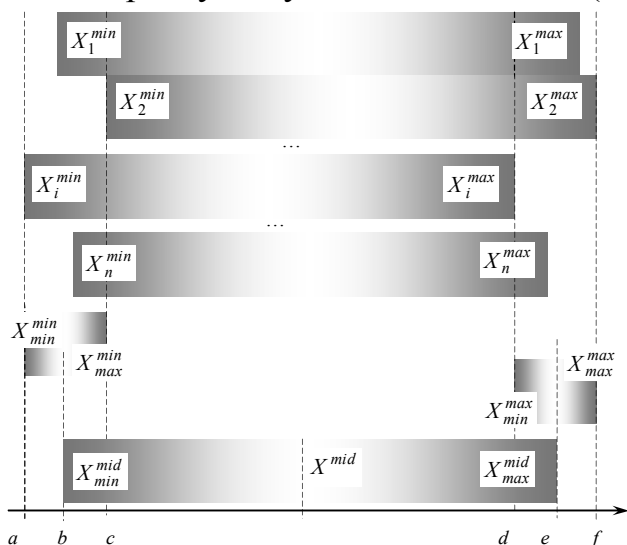


Рис. 8. Общая схема к определению диапазона достижимых значений технологического показателя

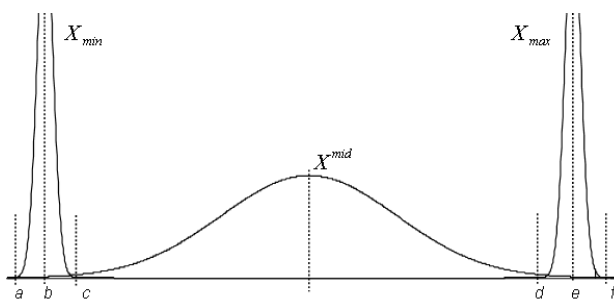


Рис. 9. Расчетная схема к определению границ диапазонов с учетом функции принадлежности

$$F(x) = \begin{cases} F^{\min}(x) \cdot F^{mid}(x) & x \in [a, b] \\ F^{mid}(x) & x \in [b, e] \\ F^{\max}(x) \cdot F^{mid}(x) & x \in [e, f] \end{cases} \quad (9)$$

Расчеты значений функции принадлежности (9) на интервалах $[a, b]$ и $[e, f]$ (рис. 8, рис. 9) показывают, что различиями между интегральными значениями $\int_a^f F(x)dx$ и $\int_b^e F(x)dx$ можно пренебречь, поскольку суммарная интегральная вероятность $\int_a^b F(x)dx + \int_e^f F(x)dx$ имеет значение на несколько поряд-

ков ниже, чем $\int_a^f F(x)dx$ для любых комбинаций рассмотренных законов распределения. Таким образом, возможно сузить интервал значений обобщенной случайной величины X до характерных точек $[b, e]$ и рассматривать в качестве интегральной функции принадлежности предложенную ранее вероятностную оценку надежности технологического проекта (1).

Разработана система оценок изменения качества / точности в процессе многопереходной механической обработки. Определены следующие критерии:

- величина изменения показателя качества / точности. В зависимости от характера оцениваемой случайной величины, изменение оценивается либо отношением (4) – для непрерывных, – либо разностью (5) – для дискретных случайных величин, – значений показателя качества / точности «до» (X_{i-1}) и «после» (X_i) обработки;
- вероятность изменения показателя качества / точности рассчитывается после каждого технологического перехода и для каждого показателя как оценка надежности процесса обработки в соответствии с выражением (1).

На базе разработанной системы оценочных критериев сформулирована концепция проектирования планов обработки поверхностей с учетом последовательного значимого повышения качества и точности в зависимости от текущего состояния изделия, сформированного на предшествующих этапах технологического процесса. Реализация концепции возможна при условии модификации логической структуры информационных массивов, используемых при построении технологических справочников.

Предложена информационная модель справочных данных, учитывающая достижимые возможности методов обработки, собственно величины и вероятностные оценки изменения показателей качества / точности с учетом предыдущей обработки. Разработанная информационная модель определена термином «вероятностная таблица точности».

Таблица 1. Оценка различия этапов обработки по параметру «Высота микронеровностей Ra»

Предыдущий этап обработки	Качество поверхности по Ra, мкм		Изменение величины Ra, крат (выше главной диагонали) Доверительная вероятность, % (ниже главной диагонали)							
	высокое	низкое	Следующий этап обработки							
			0	1	2	3	4	5	6	
0 Заготовка	18,75	80,00		2,1	5,6					
1 Черновая	8,00	39,17	97,57		2,7					
2 Получистовая	5,90	11,75	99,99	99,48		2,7				
3 Чистовая	2,10	4,35			100,0		3,2			
4 Тонкая	0,27	1,73				100,0		2,8		
5 Отделочная	0,10	0,61					98,84		3,9	
6 Доводочная	0,02	0,16						99,77		

Каждая из таблиц (табл. 1..2), представляет отдельный, независимый, плоский «слой» (рис. 11) трехмерной вероятностной таблицы точности. Плоские таблицы аналогичной структуры могут быть построены не только для рассмотренных в диссертационной работе параметров точности (номер качества IT) и качества (среднее арифметическое отклонение профиля Ra), но и для других

показателей качества / точности. Количество слоев вероятностной таблицы для конкретного производства определяется количеством нормируемых показателей качества / точности.

Таблица 2. Оценка различия этапов обработки по параметру «Квалитет точности IT»

Предыдущий этап обработки	Точность обработки, номер квалитета IT		Изменение величины IT (выше главной диагонали) Доверительная вероятность, % (ниже главной диагонали)							
	высокая	низкая	Следующий этап обработки							
			0	1	2	3	4	5	6	
0 Заготовка	14	17		1,0	3,0					
1 Черновая	13	16	84,27		2,0					
2 Получистовая	12	13	100,00	99,48		2,5				
3 Чистовая	9	11			100,00		2,5			
4 Тонкая	7	8				100,00		1,5		
5 Отделочная	5	7					99,994		0,0	
6 Доводочная	5	7						0,008		

Пример вероятностной таблицы (табл. 1..2), рассчитанный для этапов механической обработки, используется для оценки корректности планов обработки. Значения величин изменения параметров IT и Ra, приведенные в табл. 1..2, соответствуют принятым в практике технологического проектирования нормам, что подтверждает корректность разработанной формальной методики.

В результате исследований уточнена и дополнена методика статистического анализа результатов реального многономенклатурного производства. Предложено понятие и разработана структура вероятностных таблиц точности обработки. Сформулирована и обоснована концепция проектирования маршрутных технологий с учетом последовательного значимого повышения качества и точности в зависимости от текущего состояния изделия, сформированного на предшествующих этапах технологического процесса. Разработана методология проектирования планов обработки поверхностей на основе вероятностных таблиц точности.

В четвертой главе дано описание алгебраических структур, структур баз данных, алгоритмов и программных средств, разработанных в рамках данного исследования. Подробно обоснована система кодирования поверхностей по признаку соответствия вида поверхности и технологических методов для обработки этой поверхности. Разработанная система кодирования применена в базе данных программного модуля построения обобщенных таблиц точности.

Вид обрабатываемой поверхности задается шестиразрядной последовательностью нулей и единиц. Нуль указывается в случае, если поверхность не может быть обработана соответствующим методом, единица – если технологический метод применяется для обработки поверхности. Номера разрядов кода определяются справа налево в последовательности видов (рис. 10) поверхностей: наружная, внутренняя, цилиндрическая или резьбовая, плоская, шлицевая или зубчатая, фасонная.

Таким образом, например, фрезерование цилиндрической фрезой (код 001001) предназначено для обработки наружных (единица в первом разряде) и плоских (единица в четвертом разряде) поверхностей.

		Номер разряда кода поверхности						
		6	5	4	3	2	1	
Вид поверхности	фасонная	шлицы и зубья		плоскость		цилиндр, резьба		внутренняя

Рис. 10. Структура кода поверхности в таблице методов обработки

При построении обобщенных таблиц точности в автоматизированном режиме выполняется статистический анализ справочных данных, либо данных, полученных в процессе исследования технологических возможностей реального производства. Результаты расчета представлены в форме традиционные таблицы точности обработки и могут быть экспортированы в формат электронной таблицы MS Excel для обеспечения совместимости с программными средствами автоматизации технологического проектирования.

Предыдущий переход	Допуск		Повышение качества (отношение)						номер следующего перехода
			Следующий переход						
	<i>min</i>	<i>max</i>	1	2	3	4	5	6	
1 зенкер. черновое	10	20			1,15	1,29	2,22	4,43	←
2 сверление	10	20			1,15	1,29	2,22	4,43	
3 зенкер. получист.	4	16	0,91	0,81		1,12			
4 зенкер. чистовое	4	10	1	1	0,68				
5 разверт. получист.	1,25	6,30	1	1	1				
6 шлиф. получист.	1,25	3,20	1	1					
7 разверт. чистовое	1,00	3,20	1	1					
8 шлиф. чистовое	0,40	1,25							
9 разверт. тонкое	0,32	1,25							
10 шлиф. тонкое	0,16	0,4							

изменение показателя качества (в 1,12 раза) с вероятностью 0,68

▲ ▲ ▲ границы технологического допуска

▲ номер и название предыдущего перехода в технологической цепочке

Рис. 11. Элементы слоя вероятностной таблицы точности

Данные, полученные при обобщении справочных данных или данных статистического анализа реального производства, используются как основа для построения вероятностных таблиц точности обработки.

Каждую вероятностную таблицу можно считать «многослойной» (трехмерной) информационной структурой, включающей не менее четырех слоев (рубрик). Такая структура позволяет «проследить» последовательность расчета. Каждая рубрика представляет собой самостоятельную «плоскую» таблицу. Непосредственно необходимая для проектирования последовательности обработки информация составляет содержание рубрик «Величина изменения технологического показателя», «Минимальная величина изменения технологического показателя» и «Максимальная величина изменения технологического показателя». В последней рубрике «Достоверность изменения технологического показателя» дается вероятностная оценка достоверности величины изменения качества

ва / точности обработки с учетом технологической наследственности.

Логически все слои (рис. 11) вероятностной таблицы представляют собой «совмещение» собственно таблиц точности обработки, из которых взяты колонки – «Метод обработки» и «Границы технологического допуска» для нормируемого показателя точности / качества и матриц смежности, используемых в теории графов и сетей для описания взаимосвязей между элементами графа. Вероятностная таблица содержит обобщенные данные о технологических возможностях рассматриваемых методов обработки с учетом каждой возможной последовательности обработки. Границы технологических допусков определены как результат построения обобщенной таблицы (глава 3).

Таблица 3 Изменение показателя качества поверхности Ra и матрица смежности технологических методов

Предыдущий этап обработки		Изменение (отношение)					Матрица смежности				
		Следующий этап обработки									
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	сверление		1,00	1,15	1,29	2,22		0	0	1	1
2	зенкерование черновое	0,10		1,15	1,29	2,22			0	1	1
3	зенкерование получист.	0,91	0,81		1,12	1,93				0	1
4	зенкерование чистовое	1,00	1,00	0,68		1,72					1
5	развертывание получист.	1,00	1,00	1,00	1,00						

Трехмерная вероятностная таблица, включающая не менее четырех, названных выше, слоев, формируется для каждого технологического показателя в отдельности. Каждый слой вероятностной таблицы можно рассматривать как модификацию матрицы смежности графа обработки, построенного для одного контролируемого показателя качества / точности.

Таблица 4 Изменение показателя точности IT и матрица смежности технологических методов

Предыдущий технологический переход		Изменение (разность)					Матрица смежности				
		Следующий технологический переход									
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	сверление		0,5	1,25	2,75	4		0	1	1	1
2	зенкерование черновое	0,59		0,75	2,25	3,5			0	1	1
3	зенкерование получист.	1,00	0,96		1,5	2,75				1	1
4	зенкерование чистовое	1,00	1,00	1,00		1,25					1
5	развертывание получист.	1,00	1,00	1,00	1,00						

Матрица смежности для графа обработки, определяемого одним показателем качества / точности обработки, формируется на основе вероятностной таблицы точности по контролируемому параметру. Для значимых величин изменения показателя точности в матрице смежности графа обработки отмечается наличие логической связи между соответствующими вершинами графа (значение равно 1). Элемент матрицы смежности, соответствующий несущественному или недостоверному изменению показателя, равен нулю (табл. 3..4).

При контроле нескольких показателей точности / качества, вероятностные

таблицы нормируемых показателей являются основой для построения совокупной матрицы смежности графа обработки. Совокупная (результатирующая) матрица смежности формируется как результат (табл. 5) логического умножения слоев «Достоверность изменения ...» из вероятностных таблиц каждого нормируемого технологического показателя.

Таблица 5 Результатирующая матрица смежности графа обработки

Предыдущий технологический переход		Технологический допуск				Матрица смежности				
		<i>Ra</i> , мкм		<i>IT</i>		Следующий переход				
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	1	2	3	4	5
1	сверление	10	20	12	13		0	0	1	1
2	зенкерование черновое	10	20	12	13			0	1	1
3	зенкерование получист.	4	16	11	12				0	1
4	зенкерование чистовое	4	10	9	11					1
5	развертывание получист.	1,25	6,3	9	10					

Результатирующая матрица смежности является основой для реализации алгоритма генерации оптимальных планов обработки. Оптимальность плана обработки поверхности может определяться по различным критериям:

- экономического характера – энергетические, материальные, временные затраты на осуществление обработки, производительность и т. п.;
- технологического характера – количество переходов (рабочих мест, единиц основного оборудования) – здесь учитываются величины изменения контролируемых показателей качества / точности;
- вероятностного характера – надежность технологического процесса.

Собственно оптимум, в зависимости от выбранного критерия, может представлять собой минимум (затраты) либо максимум (надежность) целевой функции. Результатирующая матрица смежности (табл. 5), представлена в логической форме (значения элементов равны нулю либо единице) и описывает ориентированный граф с невзвешенными дугами (орграф). Для осуществления автоматизированного поиска планов обработки, образующих множество допустимых решений, орграф должен быть преобразован в транспортную сеть, т. е. взвешенный орграф с выделенными особыми вершинами – т. наз., «исток» и «сток». Для этого результирующая матрица смежности преобразуется в «весовую» форму, для чего каждый логический элемент домножается на весовую характеристику соответствующей дуги графа, а группа вершин (рис. 3), соответствующих исходному состоянию «заготовка» соединяются фиктивными связями нулевого веса с «исток», в качестве которого рассматривается «обобщенная заготовка». В качестве весовой характеристики дуги мы используем значение, соответственно экономической, технологической либо вероятностной целевой функции.

Использование, в качестве информационной основы алгоритма, именно результирующей матрицы смежности позволяет снизить зависимость вычислительной сложности алгоритма от количества контролируемых показателей качества / точности, поскольку при формировании множества допустимых реше-

ний отсутствует необходимость генерации планов обработки по каждой вероятностной таблице точности.

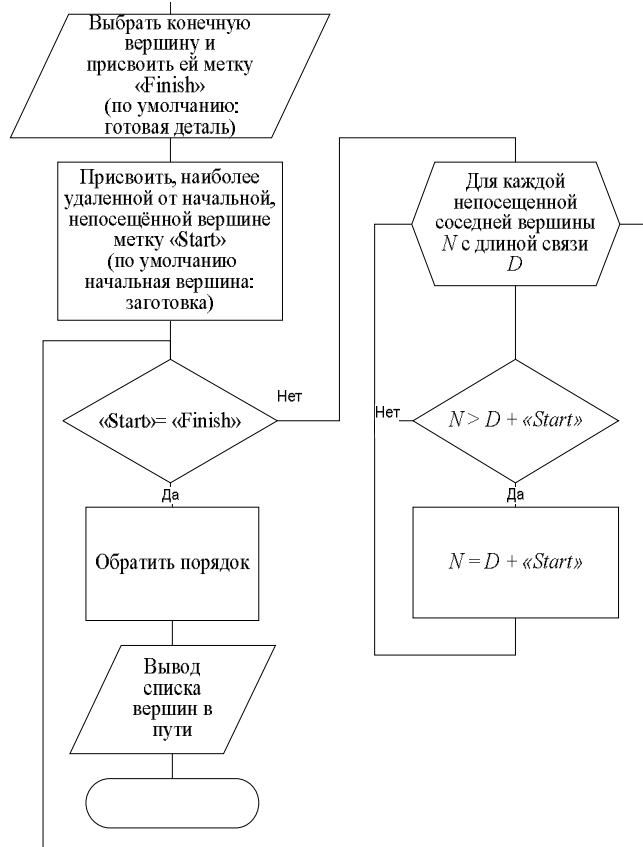


Рис. 12. Эффективный алгоритм генерации оптимального плана обработки

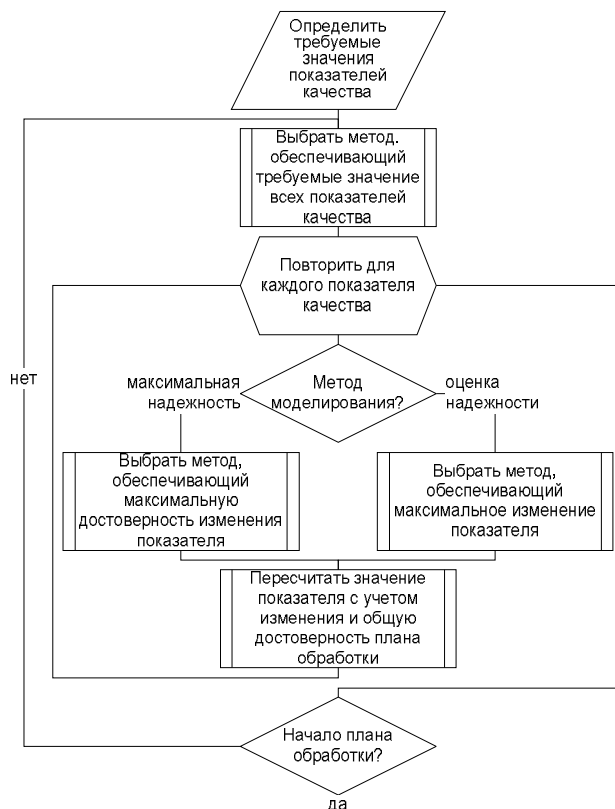


Рис. 13. Функциональная структура имитационной модели процесса обработки

Эффективный алгоритм (рис. 12) представляет собой модификацию алгоритма Дейкстры (Dijkstra's algorithm), предназначенного для поиска кратчайших путей транспортной сети и позволяет находить оптимальную последовательность технологических переходов непосредственно при формировании допустимых планов обработки, тем самым повышая эффективность формализованного решения задачи. Эффективный алгоритм представляет собой циклически повторяемую цепочку действий в имитационной модели (рис. 13) процесса многопереходной механической обработки. Дискретно-событийная имитационная модель позволяет реализовать две основные стратегии построения оптимальных планов обработки:

- план обработки оптимизируется по экономическому или технологическому критерию с оценкой уровня надежности технологического проекта;
- план обработки оптимизируется по вероятностному критерию надежности технологического проекта с оценкой энергетических, материальных или временных затрат на обработку.

В результате исследований разработаны логические структуры и физические модели информационного обеспечения технологического проектирования. Разработаны математические алгоритмы проектирования планов механической обработки поверхностей заданного качества. Разработаны программы для построения обобщенных и вероятностных таблиц точности обработки и инфор-

мационная система для автоматизированного построения планов обработки, оптимальных по критерию надежности технологического проекта.

В пятой главе приведены результаты производственных экспериментов, выполненных на предприятиях Волгоградской области, в частности:

- ОАО «Производственное объединение БАРРИКАДЫ», г. Волгоград;
- ОАО «Тракторная компания ВГТЗ», г. Волгоград;
- ООО «Ф-Аквामаш», г. Волгоград;
- ОАО «Волжский подшипниковый завод ВПЗ-15», г. Волжский, Волгоградской области;
- ОАО «Производственно-техническое предприятие ПОРШЕНЬ», г. Волжский, Волгоградской области.

Производственные эксперименты проведены в следующих направлениях:

1. Изучение технологических возможностей действующих производств, для чего выполнены исследования точности и качества обработки цилиндрических поверхностей.
2. Анализ технологической документации на продукцию предприятия по данным архивов технологических служб.
3. Сопоставление результатов исследования действующих производств и технологической документации и формирование обобщенных таблиц точности по предприятиям.
4. Анализ обобщенных таблиц точности по предприятиям, формирование обобщенных таблиц точности по группам предприятий со сходными технологическими возможностями и построение вероятностных таблиц точности для показателей качества (параметр Ra) и точности (номер качества точности IT) обработки.
5. Сравнительный анализ планов обработки, применяемых в реальных производствах и построенных по вероятностным таблицам точности.

При проведении сравнительного анализа планов обработки оценивались три группы технологических проектов:

1. план обработки, применяемый в реальном производстве;
2. план обработки, построенный по вероятностным таблицам точности, сформированным на основе нормативно-справочных данных;
3. план обработки, построенный на основе вероятностных таблиц точности реального производства.

Выявлена достаточно высокая сходимость результатов для планов первой и третьей групп, что подтверждает корректность разработанных в настоящем исследовании методик.

Сравнительный анализ проектов первой-второй и второй-третьей групп показал различия в планах обработки и позволил выявить проблемы, возникающие в производстве вследствие неоднозначности и недостаточной полноты справочных данных, применяемых в современном технологическом проектировании:

- противоречивые данные о технологических возможностях методов механической обработки, приведенные в справочных изданиях разных лет и

различных авторов, не адаптированные к технологическим возможностям конкретного производства не позволяют получать достоверные проектные результаты;

- зависимость корректности технических решений от условий производства, для которого и на базе которого создано решение;
- тиражирование типовых технических решений и необоснованное «доверие» к результатам автоматизированного проектирования приводят к снижению инженерной квалификации технологов и тиражированию недочетов используемых прототипов, что отражается на качестве продукции машиностроительных производств.

На основании выявленных проблем производства сформулированы цель, задачи и основные положения настоящего исследования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В диссертации решена крупная научно-техническая проблема повышения эффективности и надежности индивидуального технологического проектирования в условиях многономенклатурных производств за счет формализации задачи построения планов механической обработки поверхностей на основе методов дискретной математики и имитационного моделирования.

2. На основе предложенной и обоснованной концепции проектирования планов обработки поверхности с учетом последовательного значимого повышения качества и точности, разработана методология проектирования, позволяющая прогнозировать показатели качества и точности обработки на каждом этапе технологического процесса в зависимости от текущего состояния изделия, сформированного на предшествующих переходах технологического процесса.

3. Уточнена и дополнена методика статистического анализа результатов механической обработки и разработана методика построения обобщенных таблиц точности для условий реального производства с целью достоверного определения технологических возможностей конкретного машиностроительного предприятия. Уточнены нормативно-справочные данные, используемые в маршрутном технологическом проектировании.

4. Для реализации методологии проектирования планов обработки, обеспечивающих последовательное значимое повышение качества и точности изделия в ходе технологического процесса, усовершенствована информационная структура справочных данных, применяемых в технологическом проектировании. Обоснована возможность применения современных математических методов решения технологических проектных задач при использовании вероятностных таблиц точности, содержащих значения собственно величин и оценки достоверности изменения технологических допусков в ходе многостадийной механической обработки. Разработана методика формирования вероятностных таблиц точности обработки с учетом технологических возможности реального производства. Разработана база данных вероятностных таблиц точности обработки, содержащая дополненную, по сравнению с типовыми таблицами точно-

сти, информацию для формализованного проектирования маршрутных технологий.

5. Созданы модели и алгоритмы и разработана методика формализованного проектирования индивидуальных маршрутных технологий, на основе вероятностных таблиц точности обработки, с использованием математических методов имитационного моделирования, обеспечивающих практическое применение концепции и методологии проектирования планов обработки поверхности с учетом последовательного значимого повышения качества и точности.

6. Введен и обоснован термин «надежность технологического проекта». Разработаны методика расчета величины вероятностного показателя надежности на стадии проектирования плана обработки поверхности заданного качества и методика структурной оптимизации планов обработки по критерию надежности технологического проекта.

7. Разработаны практические рекомендации и методические материалы для формализации и алгоритмизации задач маршрутного технологического проектирования, что позволило формировать технологические маршруты в автоматизированном режиме. Разработаны унифицированные алгоритмы технологического проектирования для построения технологических САПР.

8. Разработаны программы для ЭВМ, предназначенные для построения обобщенных и вероятностных таблиц точности, адаптированных под технологические возможности и технологические традиции конкретного механообрабатывающего производства и для оптимального проектирования индивидуальных маршрутных технологий механической обработки поверхностей заданного качества.

9. Разработанные методы, алгоритмы и программное обеспечение прошли апробацию и внедрены для практического применения на ОАО ПО «Баррикады», ОАО ПТП «Поршень». Результаты работы используются в учебном процессе кафедр «Технология машиностроения» Волгоградского государственного технического университета, Камышинского технологического института (филиал ВолгГТУ) и Волжского политехнического института (филиал ВолгГТУ) при изучении учебных дисциплин «Дискретные математические модели машиностроительных производств», Математическое моделирование процессов машиностроения», «Математическое обеспечение автоматизированного проектирования», «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов», «Технология машиностроения» при подготовке дипломированных специалистов 151001.65 «Технология машиностроения», 151002.65 «Металлообрабатывающие станки и комплексы», 151003.65 «Инструментальные системы интегрированных машиностроительных производств», бакалавриата по направлению 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и магистратуры по направлению 151900.68 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Чигиринский, Ю. Л. Алгоритмическое и информационное обеспечение проектирования планов механической обработки / И. В. Фирсов, Ю. Л. Чигиринский // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 6 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 13 (111). – С. *.
2. Чигиринский, Ю. Л. Информационный комплекс проектирования планов механической обработки / Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов, Н. В. Чигиринская // СТИН. – 2013, № 6. – С 18-21.
3. Чигиринский, Ю. Л. Формализация построения последовательности обработки наружных цилиндрических поверхностей / Чигиринский Ю. Л., Фирсов И. В., Орлова Ю. Н. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 13 (100). – С. 92-97.
4. Чигиринский, Ю. Л. Оценка надежности проектирования планов обработки на базе вероятностных таблиц точности / Ю. Л. Чигиринский // Сб. научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. – Одесса : КУПРИ-ЕНКО, 2012, Т. 5. – № 4. – ЦИТ: 412-0301. – С. 30-33.
5. Способы регулирования точности при обработке нежестких валов на токарных станках с ЧПУ / Плотников А. Л., Чигиринский Ю. Л., Шмаров А. А., Ключиков Д. С. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 13 (100). – С. 39-43.
6. Чигиринский, Ю. Л. Performance of hard-alloy tools in turning high-strength martensitic steel / А. А. Липатов, Ю. Л. Чигиринский // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 3 (March). – С. 285-287. – Англ.
7. Математическая модель формирования шероховатости обработанной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием коррозионно-стойких сталей / А. Р. Ингеманссон, Н. Г. Зайцева, Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев // Металлообработка. – 2012, № 1. – С. 11-15.
8. Чигиринский, Ю. Л. Критерии отличия технологических методов механической обработки / Ю. Л. Чигиринский // СТИН. – 2011, № 12. – С. 17-21.
9. Чигиринский, Ю. Л. Методика повышения надежности справочных данных / Ю. Л. Чигиринский // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 7 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011, № 13. – С. 55-61.
10. Чигиринский, Ю. Л. Оценка различия достижимых показателей качества поверхности, обработанной различными технологическими методами / Ю. Л. Чигиринский // СТИН. – 2011, № 5. – С. 32-35.
11. Чигиринский, Ю. Л. Уточнение границ интервалов достижимых значений показателей качества в целях формализации маршрутного технологического проектирования / Ю. Л. Чигиринский, Ю. Н. Полянчиков // СТИН. – 2011, № 11. – С. 14-17.
12. Чигиринский, Ю. Л. Возможность автоматизированного построения маршрутного технологического процесса / Ю. Л. Чигиринский // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 6 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград. – 2010, № 12. – С. 65-68.
13. Чигиринский, Ю. Л. Подход к формализации индивидуального маршрутного проектирования / Ю. Л. Чигиринский, С. А. Соловьева, Р. Е. Бехтер // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 581-584.
14. Чигиринский, Ю. Л. Статистическая оценка надёжности справочных данных в технологическом проектировании / Ю. Л. Чигиринский // СТИН. – 2010, № 5. – С. 28-31.
15. Чигиринский, Ю. Л. Возможность формализованного решения задач технологического проектирования / Ю. Л. Чигиринский // СТИН. – 2009, № 12. – С. 26-29.

16. Чигиринский, Ю. Л. Методика статистического оценивания надёжности процесса / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 5 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград. – 2009, № 8. – С. 53-56.
17. Чигиринский, Ю. Л. Надёжность справочных данных, применяемых в технологическом проектировании / Ю. Л. Чигиринский // Известия ОрёлГТУ. Серия "Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии". – 2009, № 2-2/274 (март-апрель). – С. 103-108.
18. Чигиринский, Ю. Л. Возможность математического решения задачи проектирования планировок производственных помещений / Ю. Л. Чигиринский // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 4 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008, № 9. – С. 50-53.
19. Чигиринский, Ю. Л. Методы дискретной математики в технологическом проектировании / Ю. Л. Чигиринский, Н. Д. Гожева, Е. Г. Радченко // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении" : межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – Вып. 3, № 4. – С. 112-114.
20. Чигиринский, Ю. Л. Анализ задач технологической подготовки производства и выбор математических методов и средств их решения / Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская // Изв. ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – Вып. 1, № 9. – С. 62-64.
21. Повышение эффективности лезвийной и абразивной обработки / В. М. Оробинский, А. И. Курченко, Ю. Н. Полянчиков, Ю. Л. Чигиринский // Наука – производству. – 2000. - № 1. – С. 49-51.

Монографии

22. Прогрессивные машиностроительные технологии : монография / А. Н. Афонин, (...), Ю. Н. Платонова, Л. А. Рыбак, В. А. Санинский, Е. В. Смоленцев, Н. А. Сторчак, (...), Ю. Л. Чигиринский. – М. : ИД "Спектр", 2012. – Т. I. – 333 с.
23. Чигиринский, Ю. Л. Математические методы управления процессами механической обработки : монография / Ю. Л. Чигиринский ; Волгогр. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2010. – 139 с.

Охранные документы

24. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 12 от 14 ноября 1989 г., Информационно-поисковая система "АГАТ-ТЕХНОЛОГ" / Ю. Л. Чигиринский и др. – М. : Гос. Реестр программ для ЭВМ, 1989.
25. Свид. о гос. регистрации № 2010613951 от 18 июня 2010 г. РФ, МПК (нет). Синтез маршрутов обработки поверхности / С. А. Соловьева, Ю. Л. Чигиринский; ВолгГТУ. – 2010.
26. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010616143 от 17 сентября 2010 г. РФ, МПК (нет). Оптимизация выбора технологических способов обработки поверхностей / Д. Ю. Татаринцев, В. В. Рыжов, Ю. Л. Чигиринский, Е. В. Стегачев ; ВолгГТУ. – 2010.
27. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012616459 от 18 июля 2012 г. РФ, МПК (нет). Обобщённые таблицы точности механической обработки / Е. М. Фролов, Ю. Л. Чигиринский ; ВолгГТУ. – 2012.
28. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013614279 от 26 апреля 2013 г. РФ, МПК (нет). Проектирование маршрута обработки наружных цилиндрических поверхностей / Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов ; ВолгГТУ. – 2013.
29. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013613253 от 28 марта 2013 г. РФ, МПК (нет). Расчет подачи резца при продольном тчении нежестких валов / А. Л. Плотников, Ю. Л. Чигиринский, Е. М. Фролов, А. А. Жданов ; ВолгГТУ. – 2013.
30. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012611474 от 08 февраля 2012 г. РФ, МПК (нет). Расчёт величины среднего арифметического отклонения профиля обрабо-

танной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием и традиционном точении / Ю. Н. Полянчиков, Ю. Л. Чигиринский, Д. В. Крайнев, А. Р. Ингеманссон, Н. Г. Зайцева, А. В. Раздвогин ; ВолгГТУ. – 2012.

31. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013618483 от 10 сентября 2013 г. РФ, МПК (нет). Программный модуль автоматизированного анализа экспериментальных данных / Полянчиков Ю. Н., Чигиринский Ю. Л., Фролов Е. М., Ключиков Д. С.; ВолгГТУ. – 2013.
32. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013618488 от 10 сентября 2013 г. РФ, МПК (нет). Проектирование последовательности переходов: обработка внутренних цилиндрических поверхностей / Чигиринский Ю. Л., Орлова Ю. Н., Жданов А. А.; ВолгГТУ. – 2013.

Публикации в зарубежных изданиях

33. Чигиринский, Ю. Л. Assessment of the reliability of the design plans of processing on the basis of the probability tables accuracy = Оценка надежности проектирования планов обработки на базе вероятностных таблиц точности [Электронный ресурс] / Чигиринский Ю. Л. // Modern scientific research and their practical application : e-journal. – 2013. – № 4, vol. J11307 / May. – P. 80-85. Режим доступа : <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/e-journal/the-content-of-journal/j113/18461-j11307>.
34. Чигиринский, Ю. Л. Simulation model of multi-operational mechanical treatment = Имитационная модель многопереходной механической обработки / Чигиринский Ю. Л., Смугнев А. В. // Innovative Development Trends in Modern Technical Sciences: Problems and Prospects : Research articles. – San Francisco (California, USA) : B&M Publishing. – 2013. – P. 171-173. – Англ.
35. Чигиринский, Ю. Л. Approach to ensure the required accuracy non-rigid shaft turning on numerical controlled machines = Подход к обеспечению точности обработки нежёстких валов на токарных станках с ЧПУ / А. Л. Плотников, Ю. Л. Чигиринский, А. А. Жданов // Scientific Enquiry in the Contemporary World : Theoretical Basis and Innovative Approach : Research articles. – Vol. 4. Technical Sciences. – Titusville (FL, USA) : L&L Publishing. – 2012. – P. 6-9. – Англ.
36. Чигиринский, Ю. Л. Distinguishing between machining methods = Критерии отличия технологических методов механической обработки / Ю. Л. Чигиринский // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 3 (March). – С. 291-295. – Англ.
37. Чигиринский, Ю. Л. Refining the permissible parameter ranges in formalizing path design = Уточнение границ интервалов достижимых значений показателей качества в целях формализации маршрутного технологического проектирования / Ю. Л. Чигиринский, Ю. Н. Полянчиков // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 2 (February). – С. 189-191. – Англ.
38. Чигиринский, Ю. Л. Surface quality after different treatments = Оценка различия достижимых показателей качества поверхности, обработанной различными технологическими методами / Ю. Л. Чигиринский // Russian Engineering Research. – 2011. – Vol. 31, № 8. – С. 816-819. – Англ.
39. Чигиринский, Ю. Л. Formalized approaches in technological design = Возможность формализованного решения задач технологического проектирования / Ю. Л. Чигиринский // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30, № 3. – С. 305-307. – Англ.
40. Чигиринский, Ю. Л. Reliability of handbook data in technological design = Надёжность справочных данных, применяемых в технологическом проектировании / Ю. Л. Чигиринский // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30, № 8. – С. 835-837. – Англ.

Публикации в других научных изданиях

41. Чигиринский, Ю. Л. About Trust Level to Results of Computer-Aided Technology Design = О степени доверия к результатам автоматизированного проектирования /

- Ю. Л. Чигиринский // Interactive Systems: the Problems of Human-Computer Interaction : collection of scient. papers = Интерактивные системы: проблемы человеко-компьютерного взаимодействия : сб. науч. тр. / Ulyanovsk State Technical University [et al.]. – Ulyanovsk, 2013. – С. 289-293. Англ.
42. Чигиринский, Ю. Л. Структурная оптимизация планов механической обработки по статистическому критерию надёжности обеспечения качества / Чигиринский Ю. Л., Смутнев А. В., Фирсов И. В. // Машиностроение – основа технологического развития России (ТМ-2013) : сб. науч. ст. V междунар. науч.-техн. конф., 22–24 мая 2013 г. / Юго-Западный гос. ун-т [и др.]. – Курск, 2013. – С. 329-333.
 43. Чигиринский, Ю. Л. Алгоритмизация построения планов обработки поверхностей заданного качества / Фирсов И. В., Чигиринский Ю. Л., Фролов Е. М. // Технические науки: современные проблемы и перспективы развития : матер. I междунар. науч.-практ. конф., г. Йошкар-Ола, 10 дек. 2012 г. / Приволжский науч.-исслед. центр. – Йошкар-Ола, 2013. – С. 55-57.
 44. Чигиринский, Ю. Л. Методика расчёта надёжности отдельных переходов механической обработки на базе вероятностных таблиц точности [Электронный ресурс] : доклад / Чигиринский Ю. Л. // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2012 : [матер. междунар. науч.-практ. Интернет-конф., 18-27 дек. 2012 г. Секция «Технические науки» / SWorld]. – 2012. – Режим доступа : <http://sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-412/machines-and-mechanical-engineering-412/15257-412-0301>.
 45. Чигиринский, Ю. Л. Укрупнённый алгоритм поиска оптимального маршрута обработки цилиндрических поверхностей / Орлова Ю. Н., Фирсов И. В., Чигиринский Ю. Л. // Новые материалы и технологии – НМТ-2012 : матер. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию МАТИ, 20-22 нояб. 2012 г. / МАТИ – Рос. гос. технол. ун-т им. К. Э. Циолковского. – М., 2012. – С. 154-155
 46. Чигиринский, Ю. Л. Probabilistic table accuracy machining of internal cylindrical surfaces = Вероятностные таблицы точности обработки внутренних цилиндрических поверхностей / Ю. Л. Чигиринский, Ю. Н. Орлова, И. В. Фирсов // Международное научное издание «Современные фундаментальные и прикладные исследования» = International scientific periodical «Modern fundamental and applied researches». – 2012. – № 2. – С. 110-115. – Англ.
 47. Чигиринский, Ю. Л. Методика построения вероятностных таблиц точности механической обработки / Ю. Л. Чигиринский // Инновационные технологии в обучении и производстве : матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф., г. Камышин, 23-25 нояб. 2011 г. В 3 т. Т. 2 / КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – С. 171-175.
 48. Чигиринский, Ю. Л. Результаты анализа точности многостадийной механической обработки / Ю. Л. Чигиринский, А. В. Маноцкова, Д. Ф. Хамидуллина // Инновационные технологии в обучении и производстве : матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф., г. Камышин, 23-25 нояб. 2011 г. В 3 т. Т. 2 / КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – С. 179-185.
 49. Чигиринский, Ю. Л. Решение задачи индивидуального маршрутного проектирования с учётом технологической наследственности / Е. Н. Смирнова, Е. Г. Крылов, Ю. Л. Чигиринский // Технические науки – основа современной инновационной системы : сб. матер. I междунар. науч.-практ. конф., г. Йошкар-Ола, 25 апр. 2012 г. В 2 ч. Ч. 1 / Приволжский науч.-исслед. центр. – Йошкар-Ола, 2012. – С. 40-41.
 50. Чигиринский, Ю. Л. Формализация проектирования планов механической обработки поверхностей с заданными свойствами / Ю. Л. Чигиринский // Наукоёмкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении (ТМ-2012) : матер. четвёртой междунар. науч.-техн. конф., посв. 75-летию Безъязычного В. Ф., Рыбинск, 3-5 сент. 2012 / Рыбинск. гос. авиац. техн. ун-т им. П. А. Соловьёва [и др.]. – Рыбинск, 2012. – Ч. II. – С. 330-335.

51. Чигиринский, Ю. Л. Необходимость модернизации методов маршрутного технологического проектирования / Ю. Л. Чигиринский, А. В. Маноцкова, Д. Ф. Хамидуллина // Новые технологии : матер. VIII всерос. конф. (г. Миасс, 11-13 окт. 2011 г.) / РАН, ВАК, Межрегион. совет по науке и технологиям [и др.]. – М., 2011. – С. 157-161.
52. Чигиринский, Ю. Л. Формализация маршрутного технологического проектирования / Ю. Л. Чигиринский, Ю. Н. Полянчиков // Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий : межвуз. науч. сб. / ГОУ ВПО "Уфимский гос. авиац. техн. ун-т". – Уфа, 2011. – С. 95-101.
53. Чигиринский, Ю. Л. Анализ границ диапазонов достижимых значений параметров качества и точности механической обработки / Ю. Л. Чигиринский // Инновации в машиностроении : матер. I междунар. науч.-практ. конф. (7-9 окт. 2010 г.) : межвуз. сб. / Бийский технол. ин-т (филиал) Алтайского гос. техн. ун-та им. И. И. Ползунова [и др.]. – Бийск, 2010. – С. 21-25.
54. Надёжность технологического проектирования / Ю. Л. Чигиринский, С. А. Соловьева, В. Г. Петрова, Е. А. Мельникова // Инновационные технологии в обучении и производстве : матер. VI всерос. науч.-практ. конф., г. Камышин, 15-16 дек. 2009 г. В 6 т. Т. 3 / ГОУ ВПО ВолгГТУ, КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – С. 146-149.
55. Чигиринский, Ю. Л. Новый подход к построению последовательности механической обработки поверхности / Ю. Л. Чигиринский, С. А. Соловьева // Методы повышения технологических возможностей металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ : сб. науч. тр. / ГОУ ВПО "Уфимский гос. авиационный техн. ун-т". – Уфа, 2010. – С. 88-93.
56. Чигиринский, Ю. Л. Индивидуальное технологическое проектирование с использованием математических методов / С. А. Соловьева, Ю. Л. Чигиринский // Применение ИПИ-технологий в производстве : тр. седьмой всерос. науч.-практ. конф., 12-13 нояб. 2009 г. / ГОУ ВПО "МАТИ" – Рос. гос. технол. ун-т им. К.Э. Циолковского. – М., 2009. – С. 103-104.
57. Чигиринский, Ю. Л. Встраиваемый модуль оптимизации условий лезвийной обработки для САПР ТП / С. А. Соловьева, Ю. Л. Чигиринский // Новые материалы и технологии (НМТ-2008) : матер. всерос. науч.-техн. конф., Москва, 11-12 нояб. 2008 г. В 3 т. Т. 2 / "МАТИ" – Рос. гос. технол. ун-т им. К.Э. Циолковского. – М., 2008. – С. 49-50.
58. Чигиринский, Ю. Л. Структура таблиц точности для автоматизированного проектирования маршрутных технологических процессов механической обработки / Ю. Л. Чигиринский // Новые материалы и технологии (НМТ-2008) : матер. всерос. науч.-техн. конф., Москва, 11-12 нояб. 2008 г. В 3 т. Т. 2 / "МАТИ" – Рос. гос. технол. ун-т им. К.Э. Циолковского. – М., 2008. – С. 59-60.
59. Чигиринский, Ю. Л. Решение инженерных задач средствами дискретной математики (на примере задач сетевого планирования) / Н. В. Чигиринская, Ю. Л. Чигиринский // Известия ВолгГТУ. Серия "Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – Вып. 4, № 7. – С. 148-150.
60. Чигиринский, Ю. Л. Анализ технологических возможностей САПР / Н. Д. Гожева, Ю. Л. Чигиринский // Новые материалы и технологии – НМТ-2006 : матер. Всерос. науч.-техн. конф., 21-23 ноября 2006 г. / "МАТИ" – Рос. гос. технол. ун-т им. К.Э. Циолковского. – М., 2006. – Т. 2. – С. 12-13.
61. Чигиринский, Ю. Л. Методы дискретной математики в технологическом проектировании и управлении процессами обработки / Ю. Л. Чигиринский, Е. М. Фролов, Е. Г. Радченко // Прогрессивные технологии в обучении и производстве : матер. IV Всерос. конф., г. Камышин, 18-20 октября 2006 г. / КТИ (филиал) ВолгГТУ и др. – Камышин, 2006. – Т. 2. – С. 107.
62. Методика автоматизированного проектирования оптимальной последовательности обработки / Ю. Л. Чигиринский, Ю. М. Быков, И. И. Богородский, В. А. Дзедик // Авто-

- матизация технологических процессов в машиностроении : Межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2003. –С. 38-42.
63. Теоретико-множественный подход к технологическому проектированию / Ю. Н. Полянчиков, И. И. Богородский, Ю. Л. Чигиринский, Н. В. Чигиринская // Актуальные проблемы конструкторско-технологического обеспечения машиностроительного производства : Матер. междунар. конф., 16-19 сентября 2003 г. / ВолгГТУ и др. – Волгоград, 2003. – Часть I. –С. 27-29.

ЧИГИРИНСКИЙ Юлий Львович

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ
МНОГОПЕРЕХОДНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ НА
ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
МАТЕМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРОЕКТИРУЮЩЕЙ
ПОДСИСТЕМЫ САПР ТП

Автореферат