

Белорусский национальный технический университет

УДК 658.51:621.81

БЕЛЯКОВ
Николай Владимирович

**МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК КОРПУСНЫХ
ДЕТАЛЕЙ**

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения**

Минск, 2010

Репозиторий БНТУ

Работа выполнена в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет»

Научный руководитель:

Попок Николай Николаевич

доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Технология и
оборудование машиностроительного
производства» учреждения образования
«Полоцкий государственный университет»

Официальные оппоненты:

Акулович Леонид Михайлович

доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры «Технология металлов» учреждения
образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет»;

Левин Генрих Моисеевич

доктор технических наук, профессор, заведующий
лабораторией «Исследование операций»
Государственного научного учреждения
«Объединенный институт проблем информатики»
Национальной академии наук Беларуси

Оппонирующая организация:

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт машиностроения»
Национальной академии наук Беларуси

Защита состоится «23» апреля 2010 года в 14 часов 00 минут на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря 292-24-04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «23» марта 2010 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор

Девойно О.Г.

© Беляков Н.В., 2010

© БНТУ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

В общей номенклатуре деталей, применяемых в машиностроении, до 20% составляют корпусные детали. Причем порядка 60 % из них являются деталями средних габаритных размеров. Трудоемкость проектирования технологических процессов изготовления этих деталей в 5–10 раз выше трудоемкости проектирования технологий изготовления деталей других классов. Сократить трудоемкость проектирования в десятки раз и повысить качество проектных работ позволяет их автоматизация.

Однако современные системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей не позволяют в автоматизированном режиме назначать технологические базы, последовательность обработки поверхностей и смены баз, выдавать задание на проектирование станочных приспособлений, определять маршрут обработки конструктивных элементов. Это обусловлено тем, что корпусные детали состоят из разнообразных конструктивных элементов различным образом сориентированных в пространстве. Для корпусных деталей характерным является задание допусков взаимного расположения поверхностей, обеспечение точности которых должно осуществляться уже на стадии проектирования технологии путем назначения и смены в процессе обработки технологических баз. Поэтому в большинстве случаев необходимо разрабатывать технологический процесс изготовления каждой корпусной детали, в отличие, например, от деталей типа «тел вращения» и «планок», для которых возможно построение комплексных технологических процессов. Автоматизация разработки технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей ограничивается недостаточными теоретическими и технологическими основами по классификации конструктивных элементов; созданию конструкторско-технологической модели заготовки; использованию преимуществ гибких и модульных технологий в проектировании индивидуальных технологических процессов; алгоритмизации проектирования технологических процессов и станочной оснастки.

Поэтому работа, направленная на создание методов, моделей и алгоритмов принятия технологических решений при автоматизированном проектировании процессов механической обработки заготовок корпусных деталей средних габаритных размеров, является актуальной.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Работа выполнялась в рамках: межвузовской программы фундаментальных исследований «Разработка научных основ создания прогрессивных технологических процессов, оборудования и инструмента для

машиностроительного производства Республики Беларусь» (Машиностроение-1; 2001–2005 гг.); задание: «Системно-структурное моделирование синтеза технологических процессов изготовления корпусных деталей машин» (№ гос. рег. 2001531); гранта для молодых ученых Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (2008–2010 гг.); задание Ф08М-27 «Разработать и внедрить систему моделей, математических методов и программных средств структурного синтеза технологических процессов механической обработки заготовок класса «некруглые стержни» (№ гос. рег. 20081468); региональной научно-технической программы «Инновационное развитие Витебской области» (2009–2010 гг.); задание 01.26: «Разработать и внедрить систему автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на машиностроительных предприятиях Витебской области» (№ гос. рег. 20093192).

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь в части моделирования систем, структур и процессов, построения компьютерных моделей и разработки теории проектирования (пункты 2 и 6 Постановления Совета Министров Республики Беларусь № 512 от 17.05.2005).

Цель и задачи исследований

Целью исследований является разработка и внедрение методов, моделей и алгоритмов принятия технологических решений при автоматизированном проектировании процессов механической обработки заготовок корпусных деталей средних габаритных размеров.

В соответствии с указанной целью требуется решить следующие задачи:

- систематизировать понятия базирования применительно к автоматизированному проектированию технологических процессов и станочных приспособлений для механической обработки заготовок корпусных деталей;
- исследовать закономерности построения конфигураций корпусных деталей, технологических процессов механической обработки их заготовок и разработать метод формирования конструкторско-технологической модели заготовки;
- разработать методы и модели структурного синтеза вариантов обработки поверхностей и смены технологических баз, а также алгоритмы синтеза состава установочных элементов станочных приспособлений для механической обработки заготовок корпусных деталей;
- разработать компьютерные модели синтеза маршрута обработки конструктивных элементов, комплектов баз ориентации конструктивных элементов, состава установочных элементов станочных приспособлений и определения технологических размерных цепей;
- внедрить результаты в производство и учебный процесс.

Объект исследования – машиностроительные изделия, в частности корпусные детали, конструктивные элементы и поверхности. Предмет исследований – размерные и угловые

связи между конструктивными элементами, а также этапы и процедуры проектирования технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей.

Положения, выносимые на защиту

– система понятий базирования, отличающаяся разграничением реального и проектного базирования при механической обработке и сборке, теоретических схем базирования и установки и введением положения об однозначности и корректности ориентации конструктивного элемента, создающая условия для компьютерного моделирования технологических процессов и заданий на проектирование станочных приспособлений для заготовок корпусных деталей;

– конструкторско-технологическая модель заготовки корпусной детали, отличающаяся ее представлением на этапах обработки в виде массивов параметризованных комплексных функциональных модулей, структуры линейных и угловых связей между главными поверхностями модулей, технологических маршрутов их обработки, позволяющая определять последовательность обработки и смены баз, синтезировать схемы установки и снижать трудоемкость проектирования при назначении маршрута обработки конструктивных элементов;

– метод структурного синтеза маршрутов обработки заготовок корпусных деталей, отличающийся алгоритмами определения и анализа комплектов технологических баз ориентации, который с учетом технологических возможностей оборудования (видов выполняемых переходов, габаритов рабочей зоны, доступности инструмента для обработки) и условий максимальной концентрации обработки позволяет определять последовательность обработки и смены комплектов баз и, как следствие, снижать трудоемкость проектных работ;

– метод синтеза установочных элементов приспособлений для механической обработки заготовок корпусных деталей, отличающийся алгоритмами идентификации комплекта баз ориентации, определения вида компонента комплекта технологических баз (установочная, направляющая, опорная и т.д.), позволяющий в автоматизированном режиме формировать теоретические схемы базирования, определять оптимальный по сложности состав установочных элементов теоретической схемы установки, формировать задания на проектирование станочных приспособлений и снижать трудоемкость проектных работ.

Личный вклад соискателя

Соискателем лично разработана система понятий базирования для моделирования технологических процессов и станочных приспособлений для механической обработки заготовок корпусных деталей; исследованы закономерности построения конфигураций корпусных деталей, технологических процессов механической обработки заготовок и разработан метод формирования конструкторско-технологической модели заготовки; определены принципы классификации и разработаны элементы иллюстрированных классификаторов форм функциональных модулей по служебному назначению и степени сложности, а также предложен формат базы данных о конструктивных элементах на этапах обработки; разработан алгоритм назначения маршрута обработки конструктивных

элементов в зависимости от их степеней сложности, а также составлены стандартные маршруты обработки ряда комплексных функциональных модулей; предложен алгоритм построения графов угловых расположений и графов размерных связей конструктивных элементов детали на этапах механической обработки; разработан метод формализованного синтеза маршрута обработки заготовки корпусной детали на этапах механической обработки; разработан метод формализованного синтеза вида компонентов (установочная направляющая, опорная и т.д.) комплекта технологических баз, а также метод синтеза теоретической схемы установки при базировании заготовок сопряжением; предложены компьютерные модели автоматизации процедур синтеза маршрута обработки конструктивных элементов, комплектов баз ориентации конструктивных элементов, состава установочных элементов станочных приспособлений и определения технологических размеров и размеров заготовки.

Н.Н. Попок оказывал консультационную и практическую помощь по всем этапам выполнения настоящей работы. Ю.Е. Махаринский принимал участие в построении таблицы сокращения вариантов технических решений синтеза состава установочных элементов. А.И. Калиновский, А.К. Забежинский и И.В. Саланенко оказывали помощь в разработке компьютерных моделей определения маршрута обработки модулей, состава установочных элементов и технологических размеров. Автор работы выражает особую благодарность Е.И. Махаринскому, оказавшему помощь в формулировании цели и задач исследований и разработке теоретических положений работы.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на МНТК «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин» (г. Новополоцк, УО «ПГУ», 2007, 2009 гг.); РНТК «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (г. Могилев, ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», 2005, 2008, 2009 гг.); 5-й МНТК «Информационные технологии в промышленности (ITI*2008)» (г. Минск, ГНУ ОИПИ НАН Беларуси, 2008 г.); VIII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (г. Гомель УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2005, 2008 гг.); МНПК молодых исследователей «Содружество наук. Барановичи 2005» (г. Барановичи, УО «БрГУ», 2005 г.); МНТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (г. Минск, УО «БНТУ», 2001–2004 гг.); VI–IX РНК студентов и аспирантов Беларуси (НИРС-2001–2004) (г. Гродно 2004 г., г. Минск 2003 г., г. Витебск, 2001–2002 гг.); МНТК «Наука – образованию, производству, экономике» (г. Минск, УО «БНТУ», 2003 г.); III ММНТК студентов, аспирантов и магистрантов (г. Гомель, УО «ГГТУ им. П.О. Сухого» 2003 г.); МНТК «Прогрессивные технологии, технологические процессы и

оборудование» (г. Могилев, 2003 г.); МНТК «Ресурсо и энергосберегающие технологии промышленного производства» (г. Витебск, УО «ВГТУ», 2003 г.); научно-технических конференциях преподавателей и студентов УО «ВГТУ» (2001–2009 гг.); заседаниях кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства УО «ВГТУ» (2002–2009 гг.).

Опубликованность результатов

По теме диссертации опубликованы 32 работы, в том числе 1 монография и 11 статей в журналах, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общий объем 14,5 авторских листа), 1 брошюра, 11 статей в сборниках научных трудов и материалов конференций, 8 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации

Работа содержит введение, общую характеристику работы, четыре главы, заключение, библиографический список и 16 приложений, оформленных отдельной книгой. Общий объем работы составляет 410 страниц, в том числе объем диссертации составляет 185 страниц, включающих 90 рисунков и 25 таблиц, 20 страниц библиографического списка (257 наименований, из них – 32 публикации соискателя), 225 страниц приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит описание проблемы и обоснование целесообразности создания методов, моделей и алгоритмов принятия технологических решений при автоматизированном проектировании процессов механической обработки заготовок корпусных деталей средних габаритных размеров.

В первой главе проведен анализ теоретических подходов и результатов исследований в области автоматизации проектирования процессов механической обработки заготовок корпусных деталей. Анализ позволил установить, что методы, модели и алгоритмы синтеза индивидуальных технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей (включающие такие процедуры, как назначение схем базирования, схем установки, выбор маршрута и основных технологических операций, выбор условий обеспечения заданной точности обработки и др.) разработаны не в полной мере. Принятие проектных решений часто основывается на опыте и интуиции проектировщика. Поэтому для деталей данного класса нет работоспособных систем автоматизированного проектирования технологических процессов, позволяющих выполнять указанные процедуры в автоматизированном режиме.

Установлено, что одной из причин отсутствия методик назначения схем базирования, схем установки и маршрута обработки заготовки, а также систем автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей является несовершенство положений теории базирования и ГОСТ 21495. В многочисленных работах, посвященных теории базирования, не описываются задачи, которые

решаются при базировании, нет четкого разграничения понятий теоретической схемы базирования и установки при конструировании, механической обработке, сборке и контроле и, как следствие, не приводится формальных методик, алгоритмов, правил назначения теоретических схем базирования и схем установки.

На основании проведенного в главе анализа сделан вывод о необходимости корректировки положений теории базирования для моделирования технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей, а также разработки методов, моделей и алгоритмов принятия технологических решений при автоматизированном проектировании процессов механической обработки заготовок корпусных деталей.

Во второй главе уточнены понятия теории базирования применительно к механической обработке заготовок корпусных деталей, предложена классификация баз, разграничены понятия теоретической схемы базирования и установки на разных этапах жизненного цикла изделия, определены цели и задачи, которые должны решаться при базировании.

Базы предлагается подразделять на проектные и реальные. Проектные базы, в свою очередь, предлагается делить на конструкторские и технологические. Под проектным технологическим базированием предлагается понимать моделирование технологических процессов и станочных, сборочных, контрольных приспособлений. Реальное базирование служит для ориентации детали, заготовки и сборочной единицы относительно элементов станка, станочного, сборочного или измерительного приспособления. Проектные базы механической обработки по характеру проявления подразделяются на явные и скрытые (точки, оси и плоскости симметрии), реальные базы могут быть только явными.

По виду проектные базы предлагается подразделять на оси и плоскости. Различные сочетания осей или плоскостей в базовой системе координат определяют комплекты баз ориентации конструктивных элементов (КЭ). В большинстве случаев для корпусных деталей используются четыре варианта комплектов баз (КБ) ориентации, относительно которых возможны различные варианты угловой и линейной ориентации конструктивных элементов: 1) три взаимно перпендикулярные плоскости $P_i \perp P_j \perp P_k$ (КБ№1); 2) две взаимно перпендикулярные плоскости и одна ось, перпендикулярная к одной из этих плоскостей (и, следовательно, параллельная или совпадающая с другой плоскостью) $(P_i \perp P_j) \wedge ((O_1 // P_i) \wedge (O_1 \perp P_j)) \vee ((O_1 // P_j) \wedge (O_1 \perp P_i))$ (КБ№2); 3) плоскость и две перпендикулярные к ней оси $(O_1 \perp P_i) \wedge (O_n \perp P_i)$ (КБ№3); 4) плоскость и две оси, одна из которых параллельна, а другая перпендикулярна к этой плоскости $((O_1 \perp P_i) \wedge (O_n // P_i)) \vee ((O_n \perp P_i) \wedge (O_1 // P_i))$ (КБ№4).

Относительное расположение оси КЭ вращения или плоскости на чертеже или на операционном эскизе должно быть задано по отношению к базовым осям и (или) плоскостям необходимым и достаточным числом показателей. Анализ расположений оси и плоскости в комплектах позволил определить 62 варианта корректного задания расположения элементов конструкции относительно того или иного комплекта баз ориентации (рисунок 1). Это позволяет осуществлять

корректный ввод допусков взаимного расположения и служит основой проектирования схемы базирования.

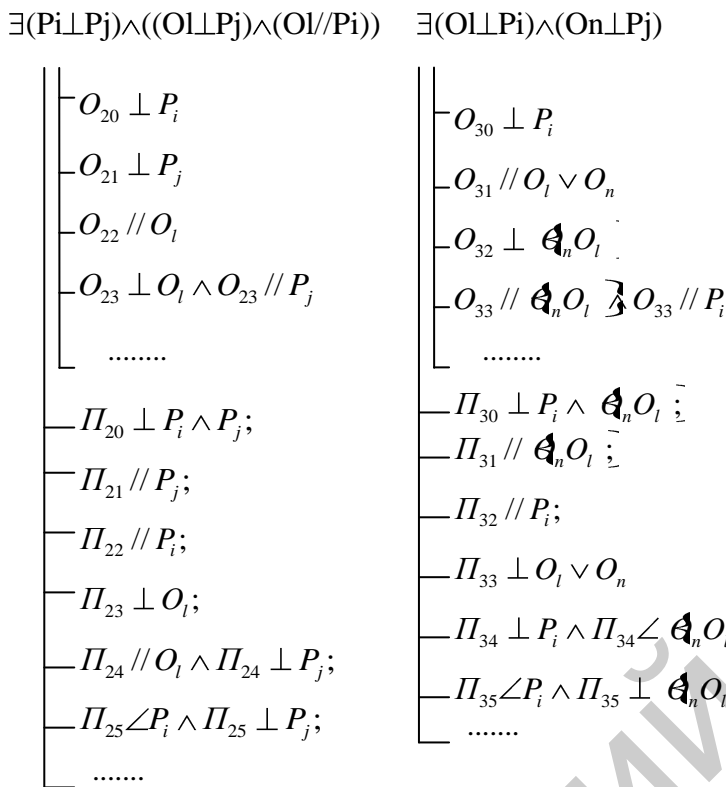


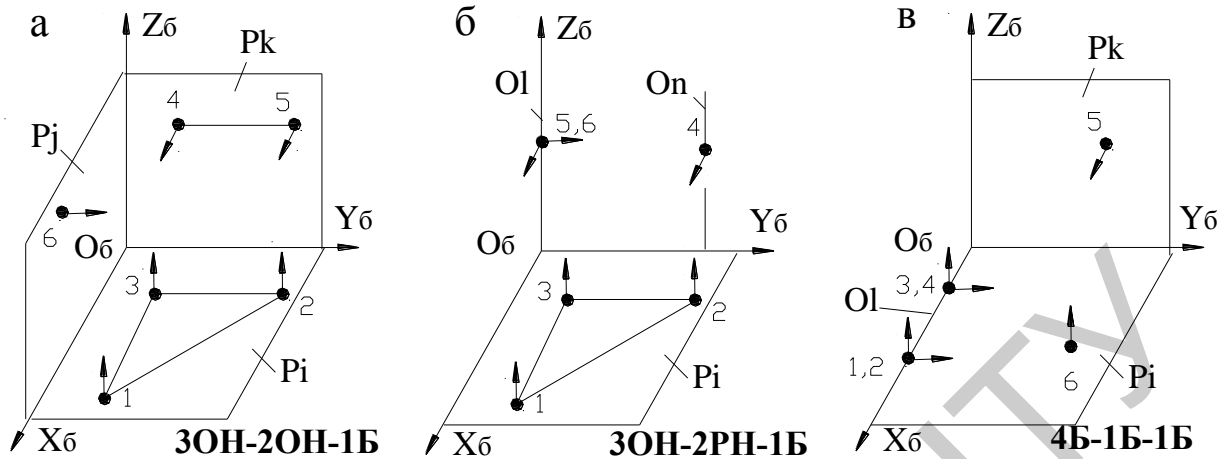
Рисунок 1 – Фрагмент вариантов корректного задания расположения относительно КБ№2,3

Так, например, если технологическими базами являются две плоскости и ось, перпендикулярная к одной из них (КБ №2), то расположение оси обрабатываемой поверхности может задаваться допуском: перпендикулярности к плоскости комплекта перпендикулярной оси (O20); перпендикулярности к плоскости комплекта баз параллельной оси комплекта (O21); параллельности относительно оси комплекта баз (O22) и т.д.

По числу налагаемых геометрических связей базы предлагается подразделять на 6 типов: тройная однонаправленная (установочная) – 3ОН; двойная однонаправленная (направляющая) – 2ОН; одиночная (опорная) – 1Б; четверная (двойная направляющая) – 4Б; двойная разнонаправленная (двойная опорная) – 2РН; тройная разнонаправленная (тройная опорная) – 3 РН. Обеспечение (еще на стадии проектирования) требуемых показателей взаимного расположения КЭ должно осуществляться за счет наложения на поверхности баз ориентации 6 геометрических связей. Число связей определяет вид компонента комплекта баз.

Различные виды компонентов комплекта баз могут сочетаться между собой в комплект девятью различными способами. Эти способы полностью описывают множество возможных схем базирования (рисунок 2). Разработаны схемы реализации вида компонента технологических баз. Уточнены понятия теоретической схемы базирования и теоретической схемы установки. Предложенные классификации баз и понятия позволили свести задачу проектирования маршрута обработки заготовок корпусных деталей и выдачи задания на проектирование приспособления к формальному определению возможных комплектов баз ориентации для всех КЭ, группированию идентичных комплектов для обработки различных КЭ и проверке возможности их обработки

за один установ, идентификации комплекта баз, определению вида компонента комплекта баз, синтезу схемы базирования, синтезу схемы установки.



а – тройная однонаправленная (установочная) (1,2,3), двойная однонаправленная (направляющая) (4,5) и одиночная (опорная) (6) базы; б – тройная однонаправленная (установочная) (1,2,3), двойная разнонаправленная (двойная опорная) (5,6) и одиночная (опорная) (4) базы; в – четверная (двойная направляющая) (1,2,3,4) и две одиночные (опорные) ((5) и (6)) базы

Рисунок 2 – Некоторые варианты сочетаний направляющих векторов на компонентах комплектов баз ориентации

Третья глава посвящена исследованию закономерностей построения конфигураций корпусных деталей и технологических процессов механической обработки их заготовок, а также формированию конструкторско-технологической модели заготовки при проектном базировании.

Для исследования закономерностей построения конфигураций корпусных деталей изучался состав поверхностей порядка 350 корпусных деталей средних габаритных размеров на ОАО «ВИЗАС», РУП «ВИСТАН» (г. Витебск), РУПП «Станкозавод Красный Борец» (г. Орша), а также взаимное расположение и группирование поверхностей, функциональное назначение, простановка размерных связей и допусков взаимного расположения конструктивных элементов, возможности их формального представления и оперирования с ними.

Для решения задачи назначения баз, порядка обработки и смены баз с учетом определений проектного базирования конструктивно-технологическая модель детали и заготовки формируется с помощью геометрических отношений между функциональными модулями (ФМ) разных уровней сложности и служебного назначения с учетом особенностей их обработки.

Классификатор ФМ корпусных деталей по сложности ФМ-ис построен иерархически. ФМ нулевой ФМ-0с и второй ФМ-2с степеней сложности делятся на технологические и исполнительские. ФМ нулевой степени сложности ФМ-0с представляют собой элементарные поверхности, из которых строятся ФМ остальных степеней сложности. Деталь, таким образом, является функциональным модулем шестого и выше степеней сложности. Каждому элементу множества модулей каждой степени сложности в зависимости от главных поверхностей ставится в соответствие совокупность ряда признаков:

$\Phi M\text{-}ic \rightarrow$ кспкскгсвст, где к - класс ФМ (плоские ФМ, ФМ вращения, винтовые ФМ); пк- подкласс ФМ (плоский ФМ, ФМ- паз, ФМ- окно, ФМ- направляющая, ФМ элементарный вращения, ФМ- канавки продольные, ФМ канавки торцовые, ФМ- резьбы) и т.д. Используя такую классификационную схему несложно каждому компоненту поставить в соответствие определенный идентификатор (код), отражающий степень сложности ФМ, и определяющий его на множестве признаков.

Для синтеза модели корпусной детали предлагается применять систему классификации ФМ по служебному назначению. Классификационное множество модулей по служебному назначению предлагается представлять в виде выражения $\Phi M = (OB\bar{B}) \cup (KP) \cup (KM) \cup (OBH)$, где (OB \bar{B}) – множество функциональных модулей, образующих основные и вспомогательные сборочные базы; (KP) – множество крепежных функциональных модулей; (KM) – множество модулей коммуникаций; (OBH) – множество объединительных модулей.

Корпусную деталь можно представить в виде выражения $KD = \Phi M_1 \cup \Phi M_2 \cup \Phi M_{j-1} \dots \cup \Phi M_j \dots \cup \Phi M_n$. Причем под множеством ΦM_i подразумевается комплексный ФМ – структурно максимально сложный, имеющий наивысшие показатели качества, все поверхности которого возможно обработать с одного установа: $\Phi M_j = (n_1, n_2, \dots, \bar{n}_m, \dots, n_{i-1}, \dots, n_i)$, где $n_i \in \Phi M\text{-}ic$, \bar{n}_m – главные поверхности модуля. Структурный состав частного модуля формируется методом адресации из комплексного ФМ: $\Phi M_1 = (n_1, n_3 \dots n_6)$; $\Phi M_5 = (n_1, n_2 \dots n_9)$ и т.д.

Разработан иллюстрированный классификатор форм комплексных ФМ по служебному назначению для станкостроения, а также форм частных случаев комплексных модулей. Классификатор является открытым и в него легко можно вносить изменения.

Определение состояния ФМ на этапах ΦM_j^3 , ΦM_j^II , $\Phi M_j^Ч$, ΦM_j^O (предварительном – индекс II, чистовом – Ч, и отделочном – O) разработанной типовой схемы обработки и маршрута его обработки предлагается осуществлять двумя способами: 1) с помощью стандартных маршрутов, применяемых на том или ином предприятии для ФМ различного служебного назначения; 2) с помощью синтеза возможных вариантов маршрута ФМ на основе моделирования состояния показателей его качества. Для формализации назначения маршрута по первому методу предлагается использовать понятие типового технологического маршрута обработки ФМ – совокупности упорядоченной технологической информации о ФМ:

$$\Phi M_j \rightarrow TM_j = \{n_i^{II\text{Ч}O}, \text{пер}_{y,i}, Pu, Un, \bar{Э}\},$$

где $n_i^{II\text{Ч}O}$ – совокупность обрабатываемых ФМ нулевой степени сложности; $\text{пер}_{y,i}$ – переходы обработки и их точность; Pu – типы режущего инструмента и их

размерные характеристики; U_n – фрагменты управляющей программы для станков с числовым программным управлением; \mathcal{E} – этап типовой схемы обработки. Разработаны технологические маршруты и схемы распределения припусков по этапам типовой схемы для наиболее распространенных комплексных ФМ.

Исходными данными для моделирования по второму методу являются: 1) $Пер = (пер_1, пер_2, \dots, пер_i)$ – множество переходов механической обработки; 2) ФМ-ic – классификатор ФМ по степени сложности; 3) массив соответствия – набор кортежей вида $\{ФМ-ic=n_i=k \rightarrow pk \rightarrow \Gamma \rightarrow B \rightarrow T\} \rightarrow \{пер_1 \dots пер_m\}$, где $k \rightarrow pk \rightarrow \Gamma \rightarrow B \rightarrow T$ – идентификационный код ФМ; $пер_1 \dots пер_m$ – набор кодов возможных переходов; 4) $Пер_y = (пер_y^I, пер_y^C, пер_y^O, \dots, пер_y^{n(ч)}i)$ – множество уточненных переходов; под $пер_y^i$ понимается кортеж вида $\{IT_{вх}, IT_{вых}, Ra, HRC, Rзм\}$, где $IT_{вх}$ – качество точности поверхности на «входе» т.е. до обработки; $IT_{вых}$ – качество точности поверхности на «выходе» т.е. после обработки; Ra – параметр шероховатости; $HRC, Rзм$ – условия выбора по твердости и размерному параметру. Для синтеза маршрута разработан пошаговый алгоритм на основе моделирования состояния показателей его качества на этапах типовой схемы обработки.

Шаг 1. С помощью ФМ-ic формируется идентификационный код ФМ $k \rightarrow pk \rightarrow \Gamma \rightarrow B \rightarrow T$.

Шаг 2. С помощью массива соответствия $\{k \rightarrow pk \rightarrow \Gamma \rightarrow B \rightarrow T\} \rightarrow \{пер_1 \dots пер_m\}$ определяются все возможные $пер_i$ для обработки.

Шаг 3. С помощью $Пер_y$ формируется массив $\{ПРМЖ\}$ кортежей вида

$$Пер_y^{n(ч)}i = IT_{вх}^{\min} \dots IT_{вх}^{\max} \text{ --- } IT_{вых}^{\min} \dots IT_{вых}^{\max} .$$

Шаг 4. Сравнение заданного качества $IT_{зад}$ с диапазоном $IT_{вых}^{\min} \dots IT_{вых}^{\max}$.

Если $IT_{зад} = IT_{вых}^{\min} \dots IT_{вых}^{\max}$, то формируется запись $IT_{вх} \text{---} Пер_1i \text{---} IT_{вых}$ в новый массив $\{1РАНГ\}$.

Шаг 5. Сравнение качества точности $IT_{вых}$ перехода массива $\{1РАНГ\}$ $Пер_1i$ с диапазоном массива $\{ПРМЖ\}$ $IT_{вых}^{\min} \dots IT_{вых}^{\max}$.

Если $IT_{вых} Пер_1i = IT_{вых}^{\min} \dots IT_{вых}^{\max}$, то формируется запись $IT_{вх} \text{---} Пер_2j \text{---} IT_{вых}$ в новый массив $\{2РАНГ\}$ второго уровня.

Шаг 6. Повторение шага 5, с формированием массивов $\{3РАНГ\} \dots \{nРАНГ\}$.

Шаг 7. Анализ входов и выходов массивов $\{1РАНГ\} \dots \{nРАНГ\}$, поиск одинаковых $IT_{вх}$ и $IT_{вых}$ и формирование кортежей вида $Пер_1i \text{---} Пер_2i \text{---} Пер_k$.

Шаг 8. Поиск оптимального маршрута по критериям однородности переходов и минимальному основному времени.

Описана компьютерная модель реализации алгоритма синтеза возможных вариантов маршрута обработки ФМ различных степеней сложности.

ФМ на этапах типовой схемы обработки предлагается характеризовать показателями двух видов: внутренними и внешними. Внутренние показатели определяют форму, взаимное расположение и показатели качества компонентов ФМ на этапе. Внешние показатели определяют расположение ФМ относительно других ФМ. Оперирование с внешними параметрами организовано с помощью графов линейных размерных связей $R(x,y,z)$ главных поверхностей ФМ в трех координатных направлениях и графов угловых связей U обрабатываемых главных поверхностей ФМ по отношению к обрабатываемым поверхностям и угловых расположений обрабатываемых поверхностей по отношению к необрабатываемым на этапе типовой схемы обработки.

Множество R представляется в виде неориентированного графа типа дерева $R_{(x,y,z)} = (\bar{N}, V)$, где $\bar{N} = \{\bar{n}_1, \bar{n}_2, \dots, \bar{n}_m\}$ $|\bar{N}| = m$ – множество вершин (главных поверхностей модуля). Множество линейных размеров, соединяющих любые пары вершин, $(\bar{n}_i, \bar{n}_j) \in \bar{N}$ есть множество ребер $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ $|V| = k$. Граф $R_{(x,y,z)}$ представляется с помощью матрицы смежности. $R_{(x,y,z)}^{cm} = \|v_{i,j}\|_{m \times m}$.

Граф U отражает отношения перпендикулярностей и углов между главными поверхностями ФМ с учетом особенностей их технологического обеспечения. Связями на графе указывается отношение перпендикулярности или угла рассматриваемого ФМ к поверхности ФМ, являющейся базой ориентации. Направление связи указывает базовый элемент, по отношению к которому ориентируется поверхность. Таким образом, множество угловых связей можно представить в виде ориентированного графа $U = (\bar{N}, Y)$, где $\bar{N} = \{\bar{n}_1, \bar{n}_2, \dots, \bar{n}_m\}$, $|\bar{N}| = m$ – множество вершин (главных поверхностей модуля). Множество угловых размеров, соединяющих любые пары вершин, $(\bar{n}_i, \bar{n}_j) \in \bar{N}$ есть множество дуг $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$, $|Y| = l$. Граф U предлагается представлять в виде матрицы инцидентности.

Разработаны правила формирования графов угловых расположений и графов симметричных деталей. Приводится структурная схема процесса синтеза технологий механической обработки заготовок корпусных деталей.

В четвертой главе описывается метод синтеза последовательности обработки поверхностей, смены технологических баз и состава установочных элементов станочных приспособлений для механической обработки заготовок корпусных деталей.

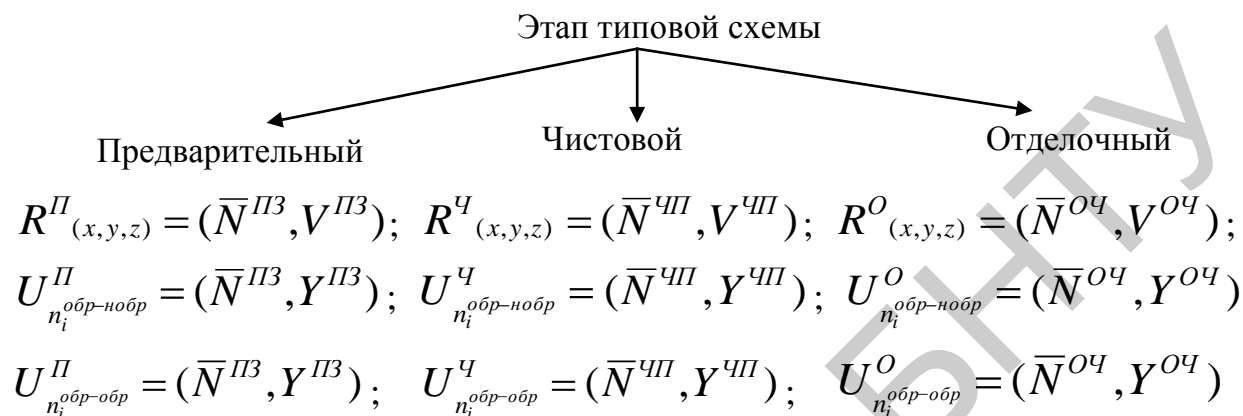
Исходными данными алгоритма определения комплектов баз ориентации являются $\Phi M_j; T M_j; R(x, y, z); U$.

Для определения комплектов баз предложен следующий алгоритм.

Шаг 1. Используя ФМ_j и ТР_j формируются модели модулей ФМ_j^П; ФМ_j^Ч; ФМ_j^О, заготовки и детали КД_j^П; КД_j^Ч; КД_j^О после выполнения этапа типовой схемы обработки.

Шаг 2. Задаются внутренние показатели ФМ ПКи_i^П; ПКи_i^Ч; ПКи_i^О.

Шаг 3. Используя ПКи_i, R(x,y,z) и U чертежа детали формируются модели линейных и угловых размерных связей на этапах.



где *обр-нобр* – индекс, обозначающий отношение между обрабатываемыми и необрабатываемыми поверхностями; *обр-обр* – индекс, обозначающий отношение между обрабатываемыми поверхностями.

Для уменьшения наследования погрешности обработки и сокращения числа звеньев технологических размерных цепей графы на этапах строятся по буквенным обозначениям размерных связей с чертежа детали. Линейные и угловые размерные связи ориентируют поверхности, как рассматриваемого этапа, так и поверхности предыдущего этапа, то есть поверхности, получаемые после завершения этапа, и поверхности, удаляемые на этапе. Поверхности, удаляемые на этапе, могут являться базами для обработки. $\bar{N}^{ПЗ}, \bar{N}^{ЧП}, \bar{N}^{ОЧ}$ – это шесть различных поверхностей (по две на каждом этапе). Под необрабатываемой поверхностью понимается поверхность, формообразование которой завершилось на предыдущем этапе изготовления.

Шаг 4. Определяются комплекты баз для обрабатываемых осей (О). Для этого совместно анализируются графы R(x,y,z) и U этапа согласно алгоритму:

$$\bar{n}_i(O) \rightarrow (R_X \wedge R_Y) \vee (R_Y \wedge R_Z) \vee (R_X \wedge R_Z);$$

$$\{v_{iX} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_X\} \wedge \{v_{iY} = (\bar{n}_i, \bar{n}_p)_Y\} \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p;$$

$$\{v_{iX} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_X\} \wedge \{v_{iZ} = (\bar{n}_i, \bar{n}_p)_Z\} \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p;$$

$$\{v_{iY} = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)_Y\} \wedge \{v_{iZ} = (\bar{n}_i, \bar{n}_p)_Z\} \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p;$$

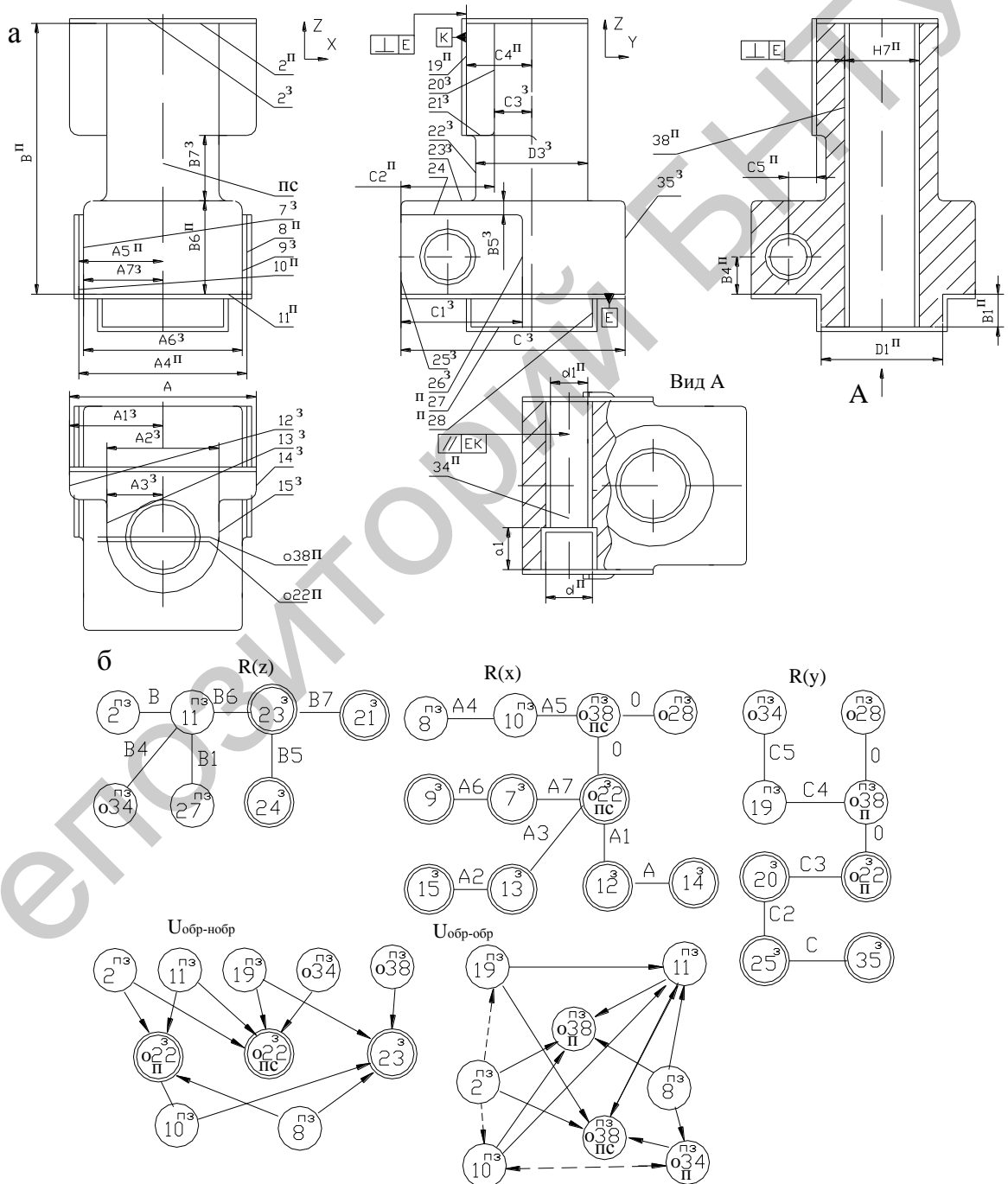
$$\bar{n}_i(O) \rightarrow U_{n_i^{обр-нобр}} \vee U_{n_i^{обр-обр}} \rightarrow y_i = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_l \rangle \Rightarrow \bar{n}_j - \bar{n}_p - \bar{n}_l.$$

Шаг 5. Определяются комплекты баз для обрабатываемых плоскостей (P). Для этого также совместно анализируются графы $R(x,y,z)$ и U этапа согласно разработанному алгоритму.

Шаг 6. Формирование таблицы комплектов баз на этапе.

Описана компьютерная модель, реализующая алгоритм.

На рисунке 3 представлена модель формы заготовки рассматриваемой детали на предварительном этапе и графы линейных и угловых размерных связей поверхностей внутри предварительного этапа, а в таблице 1 приведены комплекты баз ориентации.



а – модель формы заготовки с нумерацией главных поверхностей; б – графы линейных и угловых связей

Рисунок 3 – Пример модели формы заготовки и графов на предварительном этапе

Таблица 1 – Пример массива комплектов баз ориентации для моделей рисунка 3

КБ	Обрабатываемые поверхности						
	2 ^{II}	10 ^{II}	8 ^{II}	11 ^{II} -028 ^{II}	038 ^{II} -2 ^{II}	19 ^{II}	...
инде кс З	11 ^{III} -022 ^{III} _{пс} -022 ^{III} _п	8 ^{III} -23 ^{III} -022 ^{III} _п 038 ^{III} _{пс} -23 ^{III} -022 ^{III} _п	10 ^{III} -23 ^{III} -022 ^{III} _п	23 ^{III} -022 ^{III} _{пс} -022 ^{III} _п 23 ^{III} -038 ^{III} _{пс} -038 ^{III} _п 2 ^{III} -022 ^{III} _{пс} -022 ^{III} _п 034 ^{III} -022 ^{III} _{пс} -022 ^{III} _п	23 ^{III} -022 ^{III} _{пс} -022 ^{III} _п 022 ^{III} _{пс} -022 ^{III} _п -11 ^{III} 10 ^{III} -022 ^{III} _п -23 ^{III} 022 ^{III} _{пс} -19 ^{III} -23 ^{III} 10 ^{III} -19 ^{III} -23 ^{III}	038 ^{III} _п -022 ^{III} _{пс} -23 ^{III} 034 ^{III} -022 ^{III} _{пс} -23 ^{III}	...
проч ие	$\frac{11^{III}-038^{III}_{пс}-038^{III}_{п}}{11^{III}-19^{III}-10^{III}}$	8 ^{III} -11 ^{III} -038 ^{III} _п 8 ^{III} -034 ^{III} -034 ^{III} _п 038 ^{III} _{пс} -038 ^{III} _п -11 ^{III}	10 ^{III} -11 ^{III} -038 ^{III} _п 10 ^{III} -034 ^{III} -034 ^{III} _п	$\frac{2^{III}-038^{III}_{пс}-038^{III}_{п}}{034^{III}-19^{III}-038^{III}_{пс}}$	10 ^{III} -19 ^{III} -11 ^{III} 028 ^{III} -028 ^{III} _п -11 ^{III}	$\frac{038^{III}_{пс}-038^{III}_{п}-11^{III}}{034^{III}-038^{III}_{пс}-11^{III}}$...

Для решения задачи выбора необходимого оборудования, определения порядка обработки поверхностей и смены баз внутри этапов типовой схемы обработки заготовок корпусных деталей необходим массив имеющегося оборудования, содержащий следующие сведения: 1) модель станка; 2) размеры рабочей зоны; 3) технологические возможности станка. Выбор оборудования осуществляется в следующей последовательности.

Шаг 1. Распределение переходов по типоразмерам станков. Предлагается сопоставлять характеристики комплекса поверхность-переход с технологическими возможностями станков, а габариты детали – с габаритами рабочего пространства станка. В результате формируется таблица выбора оборудования, в которой на пересечении строки (поверхность-переход) и столбца (станок) записываются возможные комплекты баз ориентации.

Шаг 2. Выбор комплекта баз и станка для обработки на первой операции этапа. Предлагается в столбцах таблицы выбора оборудования отыскивать ячейки с идентичными комплектами, состоящими из исходных (необрабатываемых) поверхностей этапов. Для обеспечения условия *максимальной концентрации обработки* за решение принимается столбец (станок) в котором наибольшее количество ячеек (переходов) с идентичными комплектами. Проверяется возможность обработки от настроечных баз. Переходы с одинаковыми типоразмерами станков и технологических баз объединяются в группу, предварительно формируя тем самым первую операцию этапа.

Шаг 3. Анализ возможности совмещения и последовательности выполнения переходов, отобранных для данного типоразмера станка. Анализ заключается в сравнении векторов доступности элементов обрабатываемых функциональных модулей и координат доступности формообразующих элементов в пространстве рабочей зоны; проверке наличия необходимого количества гнезд в револьверной головке или магазине станка; проверке ограничения по последовательности обработки.

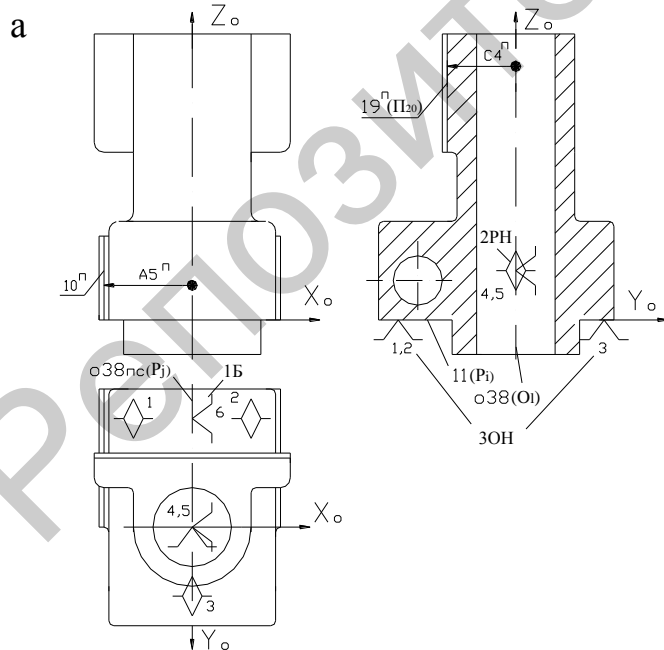
Шаг 4. Выбор станка и комплекта баз для второй операции. Для этого в столбцах таблицы выбора оборудования отыскивается максимальное количество ячеек (поверхностей-переходов) с идентичными комплектами, состоящими из обработанных на предыдущих операциях поверхностей. Проверяется

возможность использования настроечных баз. Переходы с одинаковыми типоразмерами станков и технологических баз объединяются в группу, формируя тем самым вторую операцию. Повторить шаг 3.

Шаг 5. Выбор станка и комплекта баз для последующих операций. Повторить шаг 4.

В результате работы алгоритма формируется несколько вариантов маршрута обработки с различной последовательностью обработки и смены баз и минимальным количеством операций. Окончательный выбор варианта можно осуществить на основе технико-экономических расчетов.

Для решения задачи структурного синтеза состава установочных элементов станочных приспособлений необходимо идентифицировать комплект баз ориентации. Для этого рассматриваются поверхности комплектов баз ориентации, сформированных на предыдущем этапе, и определяется характер поверхности (ось или плоскость). Далее с учетом пространственной ориентации определяется принадлежность рассматриваемого комплекта к одному из четырех описанных выше. Для назначения вида компонентов комплекта технологических баз предложен массив продукций в виде символьных логических моделей и словесного описания и массив примеров, состоящий из 62 алгоритмов, соответствующих правилам однозначного и корректного задания ориентации конструктивных элементов. Если относительно комплекта сориентировано несколько поверхностей, то правило определения вида компонента комплекта определяется по более жестким допускам после их приведения к одной базовой длине (рисунок 4).



б Алгоритм Π_{20} : если заданы допуски перпендикулярности плоскости Π_{20} относительно плоскостей P_i и P_j , а численное значение допуска перпендикулярности относительно плоскости P_i меньше численного значения допуска перпендикулярности относительно плоскости P_j , то плоскость P_i назначается тройной однонаправленной базой, плоскость P_j – двойной однонаправленной, ось O_1 – одиночной. В том случае если численное значение допуска перпендикулярности относительно плоскости P_i больше численного значения допуска перпендикулярности относительно плоскости P_j , то в качестве тройной однонаправленной базы назначается плоскость P_j , двойной однонаправленной – P_i , одиночной – ось O_1 . В частном случае, если плоскость P_j совпадает с осью O_1 , то O_1 назначается двойной разнонаправленной базой, а плоскости P_j и P_i – одиночной и тройной однонаправленной соответственно.

а – схема базирования; б – алгоритм назначения вида компонента комплекта

Рисунок 4 – Пример формирования схемы базирования

Для структурного синтеза схемы установки применен метод типовых технических решений, при реализации которого вид компонента схемы базирования заменяется соответствующими условным установочным элементом. Для этого разработана схема соответствия вида компонента установочным элементам. С помощью разработанной таблицы сокращения вариантов при выборе технических решений учитывается ряд ограничений (тип производства, характер базы, масса заготовки и др.). Оптимизация решения о выборе необходимого набора компонентов осуществляется с помощью интегральных коэффициентов сложности состава установочных элементов. Описаны компьютерные модели, реализующие алгоритмы синтеза состава установочных элементов и расчета технологических размеров и размеров заготовки.

Описывается внедрение методов, моделей и алгоритмов принятия технологических решений при проектировании процессов механической обработки заготовок корпусных деталей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1. Предложена система понятий базирования, которая за счет разграничения реального и проектного базирования при механической обработке и сборке, теоретической схемы базирования и установки и введения положения об однозначности и корректности ориентации конструктивного элемента позволяет моделировать технологические процессы и задания на проектирование станочных приспособлений для заготовок корпусных деталей [1,3,5,6,9-11,14,25,32].

2. На основе сформулированных понятий базирования предложен новый подход к моделированию технологических процессов механической обработки и станочных приспособлений для заготовок корпусных деталей, заключающийся в последовательном определении возможных комплектов баз ориентации для всех конструктивных элементов; группировании идентичных комплектов; проверке возможности обработки элементов конструкции за один установ на имеющемся оборудовании; идентификации комплекта баз ориентации; определении вида компонента комплекта и синтезе состава установочных элементов приспособления, который при реализации сокращает трудоемкость проектных работ [1,2,4,7,12].

3. На основе изучения чертежей корпусных деталей и технологических процессов их механической обработки установлено, что конфигурация заготовки корпусной детали на этапах механической обработки для решения задачи моделирования технологических процессов может быть представлена в виде параметризованных комплексных функциональных модулей, структуры обозначений линейных и угловых размерных связей между главными поверхностями модулей, а также технологических маршрутов их обработки. Использование конструкторско-технологической модели заготовки корпусной детали позволяет представить заготовку в виде рациональном для определения

порядка смены баз, синтеза схем базирования и установки и повысить производительность проектных работ при назначении технологического маршрута обработки конструктивных элементов в 3 раза [1,7,8,11,12,18,19,20,24,27,28,31].

4. Теоретически обосновано и подтверждено с помощью компьютерного моделирования, что формирование таблиц комплектов технологических баз ориентации главных поверхностей функциональных модулей (отражающих угловую и линейную размерную ориентацию конструктивных элементов) и дальнейший их анализ с учетом технологических возможностей оборудования (выполняемые переходы, габариты рабочей зоны, доступность в рабочую зону) и условия максимальной концентрации обработки позволяет определять последовательность обработки поверхностей, комплекты баз для обработки и порядок смены комплектов баз. Использование метода структурного синтеза маршрутов обработки заготовок корпусных деталей позволяет сократить трудоемкость проектных работ при определении порядка обработки конструктивных элементов в 2 раза [1,4,7-113,16,22,23,29-32].

5. Установлено, что определение состава установочных элементов станочных приспособлений для механической обработки заготовок корпусных деталей необходимо осуществлять путем идентификации комплекта баз ориентации, определения вида компонента комплекта баз, замены элемента схемы базирования соответствующим установочным элементом. Использование метода синтеза состава установочных элементов приспособлений позволяет в автоматизированном режиме синтезировать теоретические схемы базирования, по схеме базирования определять оптимальный по сложности состав установочных элементов теоретической схемы установки, формировать задание на проектирование станочного приспособления и сократить трудоемкость проектных работ при определении состава установочных элементов в 3,5 раза [1,2,5-7,9,15,17,21,23,25,26,31].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты работы в виде методов, моделей, алгоритмов и программных продуктов внедрены на ООО «Завод СТР», ОАО «ВИЗАС», ОАО «Витебский приборостроительный завод» (г. Витебск). Разработки позволяют сократить время на технологическую подготовку производства и повысить качество проектирования технологических процессов.

На основе проведенных исследований на УП «Институт Белорганкинпром» (г. Минск) в рамках РНТП «Инновационное развитие Витебской области» разрабатывается новый коммерческий программный продукт – САПР ТП корпусных деталей. Программный продукт будет реализован в 2011-2013 гг. в объеме 9 копий. Экономический эффект от внедрения составит 178,52 млн. рублей в год. С использованием разрабатываемой на УП «Институт Белорганкинпром» САПР ТП на базе РУП «ВИСТАН» (г. Витебск) и РУПП «Станкозавод Красный борец» (г. Орша) в 2011-2013 годах ежегодно планируется разрабатывать комплекты технологической документации на корпусные детали для выпускаемых новых 24 станков. Ведутся работы по внедрению результатов исследований на НПП «ИНТЕРМЕХ» (г. Минск) в систему конструкторского автоматизированного

проектирования Cadmech, систему автоматизации проектирования технологических процессов Techcard.

Результаты работы внедрены в учебный процесс УО «ВГТУ» в курсы «Технология машиностроения», «Технология станкостроения», «Основы теории проектирования технических систем» и используются в лабораторных и практических занятиях, а так же при курсовом и дипломном проектировании. По ним подготовлен ряд пособий и методических указаний.

Основное содержание работы отражено в публикациях:

Монографии

1. Беляков, Н. В. Формализация проектирования технологических процессов механической обработки корпусных деталей машин : научное издание / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 147 с.

Статьи в научных журналах

2. Беляков, Н. В. Методика разработки схем базирования / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ». – Витебск : УО «ВГТУ», 2002. – Вып. 4. – С. 38–43.

3. Беляков, Н. В. Направление развития теории базирования / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский // Вестник учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» / УО «ВГТУ» ; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск : УО «ВГТУ», 2003. – Вып. 5. – С. 54–59.

4. Беляков, Н. В. Формализация процедур проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей машин / Н. В. Беляков // Вестник учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» / УО «ВГТУ» ; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск : УО «ВГТУ», 2004. – Вып. 6. – С. 63–69.

5. Беляков, Н. В. Погрешность теоретической схемы установки / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский // Вестник учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» / УО «ВГТУ» ; гл. ред. В. С. Башметов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2005. – Вып. 9. – С. 72–77.

6. Махаринский, Е. И. О теории базирования при механической обработке / Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский, Н. В. Беляков // СТИН. – 2005. – № 4. – С. 29–32.

7. Махаринский, Е. И. Методика синтеза индивидуальных технологических процессов изготовления корпусных деталей машин / Е. И. Махаринский, Н. В. Беляков // Вестник машиностроения. – № 2. – 2005. – С. 57–65.

8. Беляков, Н. В. Формализация синтеза технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей машин / Н. В.

Беляков // Материалы, технологии, инструменты. – 2006. – № 4. – С. 32–38.

9. Махаринский, Е. И. Базирование в задачах создания САПР процессов механической обработки и средств оснащения / Е. И. Махаринский, Н. В. Беляков, Ю. Е. Махаринский // Вестник ПГУ. – 2008. – № 2, Серия В. Прикладные науки. – С. 47–56.

10. Махаринский, Е. И. Теория базирования в проблеме проектирования технологических процессов механической обработки и станочных приспособлений / Е. И. Махаринский, Н. В. Беляков, Ю. Е. Махаринский // Вестник машиностроения. – 2008. – №9. – С. 34–45.

11. Беляков, Н. В. Информационная модель объекта производства в задаче компьютерного проектирования технологических процессов изготовления нетипизированных деталей / Н. В. Беляков, Н. Н. Попок // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ»; гл. ред. В. С. Башметов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2009. – Вып. 17. – С. 111–117.

12. Попок, Н. Н. Методы и модели компьютерного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей / Н. Н. Попок, Н. В. Беляков // Вестник ПГУ. – 2010. – №3, Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – С. 68–75.

Статьи в сборниках научных трудов

13. Беляков, Н. В. Методика проектирования индивидуального маршрута обработки заготовок корпусных деталей внутри этапов типовой схемы обработки / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский // Машиностроение : сборник научных трудов / под ред. И. П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2004. – Вып. 20. – С. 34–40.

14. Беляков, Н. В. Понятие теории базирования при механической обработке / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский // Машиностроение : сборник научных трудов / под ред. И. П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2003. – Вып. 19. – С. 7–12.

15. Беляков, Н. В. Синтез схем установки заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский // Машиностроение : сборник научных трудов / под ред. И. П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2002. – Вып. 18. – С. 98–104.

16. Беляков, Н. В. Синтез маршрута обработки корпусных деталей машин / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский // Машиностроение : сборник научных трудов / под ред. И. П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2002. – Вып. 18. – С. 93–98.

17. Беляков, Н. В. Формализация проектирования схемы базирования заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Беляков, Е. И. Махаринский // Машиностроение : сборник научных трудов / под ред. И. П. Филонова. – Минск : Технопринт, 2001. – Вып. 17. – С. 97–101.

Материалы конференций

18. Бемяков, Н. В. Алгоритм формирования маршрута обработки типовых компонентов деталей машин / Н. В. Бемяков // Молодежь и наука на пороге 3 тысячелетия. – Мозырь : МГПИ им. Н.К. Крупской, 2001. – С. 5–9.

19. Бемяков, Н. В. Классификация технологических регламентов обработки комплексных функциональных модулей / Н. В. Бемяков // Сборник статей VII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов (НИРС-2002) / УО «ВГТУ». – Витебск, 2002. – С. 257–259.

20. Бемяков, Н. В. Проблема сбережения ресурсов на стадии проектирования технологии изготовления корпусных деталей машин / Н. В. Бемяков, Е. И. Махаринский // Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства : материалы международной научно-технической конференции: в 2 ч. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2003. – Ч. 1. – С. 38–45.

21. Бемяков, Н. В. Методика структурного синтеза теоретических схем установки заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Бемяков, А. К. Забежинский, Е. И. Махаринский // Сборник материалов III международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и магистрантов. – Гомель : Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2003. – С. 22–25.

22. Бемяков, Н. В. Формализованная методика оценки адекватности спроектированного технологического процесса механической обработки корпусных деталей / Н. В. Бемяков // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества : материалы VIII международной научно-методической конференции. – Минск : Современные знания, 2005. – С. 56–60.

23. Бемяков, Н. В. Система поддержки принятия решений синтеза технологических процессов механической обработки деталей классов «корпусы» и «некруглые стержни» / Н. В. Бемяков, Е. И. Махаринский // Информационные технологии в промышленности (ITI*2008) : тезисы докладов Пятой Международной научно-технической конференции (22-24 октября 2008 г. Минск). – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – С. 59–60.

Тезисы докладов

24. Бемяков, Н. В. Информационная модель геометрической формы корпусных деталей машин / Н. В. Бемяков // VI Республиканская научная конференция студентов и аспирантов Беларуси «НИРС-2001» : тезисы докладов: в 2 ч. / ред. кол. Г. И. Михасев (гл. ред.). – Витебск : Изд-во ВГУ им. П. М. Машерова, 2001. – Ч. 1. – С. 102–104.

25. Бемяков, Н. В. Современные CAD/CAM системы и проблема формализации синтеза схемы установки заготовок корпусных деталей машин в серийном производстве / Н. В. Бемяков, Е. И. Махаринский // Тезисы докладов 34 научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск : УО «ВГТУ», 2001. – С. 43.

26. Бебяков, Н. В. Алгоритм синтеза установочных компонентов при механической обработке корпусных деталей / Н. В. Бебяков // Тезисы докладов 35 научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск : УО «ВГТУ», 2002. – С. 31–32.

27. Бебяков, Н. В. Технологические регламенты обработки функциональных модулей корпусных деталей / Н. В. Бебяков, Е. И. Махаринский // Рефераты докладов международной научно-технической конференции: в 2 т. / под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск : Технопринт, 2003. – Т. 1. – С. 223.

28. Бебяков, Н. В. Методика построения графов размерных связей корпусных деталей машин с плоскостью симметрии / Н. В. Бебяков // VIII Республиканская научная конференция студентов и аспирантов Беларуси «НИРС-2003»: тезисы докладов. В 7 ч. Ч. I. Транспорт и машиностроение / БНТУ ; ред. кол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск : Издательство БНТУ, 2003. – С. 173–174.

29. Бебяков, Н. В. Теоретико-множественные модели процедур проектирования ТП обработки корпусных деталей / Н. В. Бебяков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы респ. научно-технической конференции. – Могилев : ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», 2005. – С. 21.

30. Бебяков, Н. В. Автоматизация оценки спроектированного технологического процесса механической обработки корпусных деталей / Н. В. Бебяков, И. В. Саланенко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях. VIII Республиканская научная конференция студентов и аспирантов / редкол. Д. Г. Лиин [и др.]. – Гомель : Изд-во ГГУ им. Ф. Скорины, 2005. – С. 119–120.

31. Бебяков, Н. В. Система поддержки принятия решений синтеза технологических процессов изготовления нетипизированных деталей / Н. В. Бебяков // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин : сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции: в 3 т. / под. общ. ред. П. А. Витязя, С. А. Астапчика. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – Т. 2. – С. 348.

Другие

32. Бебяков, Н. В. Методика формализованного проектирования схем базирования, схем установки и маршрута обработки заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Бебяков, Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский ; УО «ВГТУ». – Витебск : УО «ВГТУ», 2004. – 39 с.

РЭЗІЮМЭ

Белякоў Мікалай Уладзіміравіч

Метады прыняцця тэхналагічных рашэнняў пры
аўтаматызаваным праектаванні працэсаў механічнай
апрацоўкі нарыхтовак карпусных дэталяў

Ключавыя словы: карпусная дэталё, элемент канструкцыі, функцыянальны модуль, тэхналагічны маршрут, этапы апрацоўкі, базаванне, база, схема базавання, схема ўстаноўкі, праектаванне, сінтэз праектных рашэнняў.

Мэтай даследавання з'яўляецца распрацоўка і ўкараненне метадаў прыняцця тэхналагічных рашэнняў пры аўтаматызаваным праектаванні працэсаў механічнай апрацоўкі нарыхтовак карпусных дэталяў сярэдніх габарытных памераў.

Для даследавання выкарыстоўваліся фундаментальныя палажэнні тэхналогіі машынабудавання, апарат тэорыі прыняцця рашэнняў, мадэлявання і аптымізацыі, метады тэорыі базавання, сістэмна-структурнага аналізу і мадэлявання, тэорыі графоў, алгебры логікі, тэорыі мностваў і тэорыі алгарытмаў.

Распрацавана класіфікацыя баз механічнай апрацоўкі і сістэма паняццяў тэорыі базавання пры мадэляванні працэсаў механічнай апрацоўкі нарыхтовак карпусных дэталяў, размяжоўвае паняцці рэальнага і праектнага базавання пры зборцы, механічнай апрацоўцы, тэрэтычнай схемы базавання і ўстаноўкі і выкарыстоўваюць палажэнне аб адназначнасці і карэктнасці арыентацыі канструктыўнага элемента. Прадстаўлены метады сінтэзу канструктарска-тэхналагічнай мадэлі карпусной дэталі і яе нарыхтоўкі з параметраваных комплексных функцыянальных модуляў, структуры лінейных і кутніх сувязяў паміж галоўнымі паверхнямі модуляў, тэхналагічных маршрутаў іх апрацоўкі для вырашэння задачы вызначэння парадку апрацоўкі і змены баз. Прадстаўлены мадэлі і алгарытмы: сінтэзу маршруту апрацоўкі функцыянальных модуляў; сінтэзу камплектаў тэхналагічных баз; вызначэння парадку выканання пераходаў і змены баз унутры этапаў механічнай апрацоўкі і выбару абсталявання; прызначэння віду кампанентаў (установачная, накіравальная, апорная і г.д.) камплекты тэхналагічных баз, а таксама складу кампанентаў тэрэтычнай схемы ўстаноўкі.

Вынікі работы ўкаранены на шэрагу машынабудаўнічых прадпрыемстваў і ў навучальным працэсе. Могучь быць выкарыстаны інжынерна-тэхнічнымі работнікамі машынабудаўнічых прадпрыемстваў, якія займаюцца праектаваннем карпусных дэталяў машын і тэхналагічных працэсаў іх механічнай апрацоўкі.

РЕЗЮМЕ

Методы, модели и алгоритмы принятия технологических решений при автоматизированном проектировании процессов механической обработки заготовок корпусных деталей

Ключевые слова: корпусная деталь, элемент конструкции, функциональный модуль, технологический маршрут, этапы обработки, базирование, база, схема базирования, схема установки, проектирование, синтез проектных решений.

Целью исследований является разработка и внедрение методов, моделей и алгоритмов принятия технологических решений при автоматизированном проектировании процессов механической обработки заготовок корпусных деталей средних габаритных размеров.

Для исследования использовались фундаментальные положения технологии машиностроения, аппарат теории принятия решений, моделирования и оптимизации, методы теории базирования, системно-структурного анализа и моделирования, теории графов, алгебры логики, теории множеств и теории алгоритмов.

Разработана классификация баз механической обработки и система понятий теории базирования при моделировании процессов механической обработки заготовок корпусных деталей, разграничивающие понятия реального и проектного базирования при сборке, механической обработке, теоретической схемы базирования и установки и использующие положение об однозначности и корректности ориентации конструктивного элемента. Представлен метод синтеза конструкторско-технологической модели корпусной детали и ее заготовки из параметризованных комплексных функциональных модулей, структуры линейных и угловых размерных связей между главными поверхностями модулей, технологических маршрутов их обработки для решения задачи определения порядка обработки и смены баз. Представлены модели и алгоритмы: синтеза маршрута обработки функциональных модулей; синтеза комплектов технологических баз; определения порядка выполнения переходов и смены баз внутри этапов механической обработки и выбора оборудования; назначения вида компонентов (установочная направляющая, опорная и т.д.) комплекта технологических баз, а также состава компонентов теоретической схемы установки.

Результаты работы внедрены на ряде машиностроительных предприятий и в учебном процессе. Могут быть использованы инженерно-техническими работниками машиностроительных предприятий, занимающихся проектированием корпусных деталей машин и технологических процессов их механической обработки.

SUMMARY

Belyakov Nikolai Vladimirovich

Methods of developing technological solutions for
computer aided design of mechanical processing workpieces case details

Keywords: an element of design, function module, technological route, stages of processing, basing, database, schema-based plant layout, design and synthesis of design solutions.

The aim of research is the development and introduction methods of developing technological solutions for the computer aided design processes of machining processing body components of medium sizes.

For research used in the fundamental technology of mechanical engineering, apparatus of decision theory, simulation and optimization methods in the theory-based, system-structural analysis and modeling, graph theory, algebra, logic, set theory and the theory of algorithms.

The classification database of mechanical processing and system theory-based concepts in modeling processes of machining processing basic parts, defines the concepts of real and project based at assembly, machining, circuit-based theoretical and installing and using the position of uniqueness and correctness of the orientation of structural elements. The method synthesis of engineering and technological model of cabinet components and complex piece of parameterized functional modules, the structure of linear and angular dimensional relationships between the main surface of the module, technological processing routes for solving the problem of determining the order processing, and changing bases. Models and algorithms: synthesis route processing function modules, the synthesis sets of technological bases, determine the order execution of transitions and changes of bases within the stages of machining and equipment selection, appointment type of the components (installation, guide, reference, etc.) a set of technological bases, and the composition components of the theoretical scheme of the installation.

The results are introduced in a number of manufacturing plants and in the educational process. Can be used by engineers and technicians engaged in design engineering enterprises basic parts of machines and technological processes for machining.

Научное издание

БЕЛЯКОВ Николай Владимирович

**МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК КОРПУСНЫХ
ДЕТАЛЕЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Подписано в печать 17.03.2010.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,09. Тираж 60. Заказ 274.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65, 220013, Минск.

Репозиторий БНТУ