
На правах рукописи



Леонов Юрий Алексеевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ
БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ СИНТЕЗЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Специальность 05.13.12 – Системы автоматизации
проектирования (промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Брянск 2012

Работа выполнена на кафедре "Компьютерные технологии и системы"
ФГБОУ ВПО "Брянский государственный технический университет"

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
АВЕРЧЕНКОВ Владимир Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ШВЕДЕНКО Владимир Николаевич,
профессор кафедры информационных технологий
Костромского государственного технологического
университета

кандидат технических наук, доцент
ПОЛЬСКИЙ Евгений Александрович,
доцент кафедры технологии машиностроения
Брянского государственного технического
университета

Ведущее предприятие: Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Защита состоится 28 мая 2012 года в 14⁰⁰ часов на заседании
диссертационного совета Д 212.021.03 Брянского государственного технического
университета по адресу: 241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, д. 7, Брянский
государственный технический университет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Брянского
государственного технического университета.

Автореферат разослан 26 апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

 В.А. Шкаберин

2012 А

13261

3

Актуальность. В настоящее время существует множество методик позволяющих автоматизировать проектирование технологических процессов (ТП) обработки заготовок. При этом в существующих системах САПР ТП уделяется недостаточное внимание проблеме автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки в связи со сложностью формализации задачи. Во многих случаях от правильности решения этой проблемы зависит фактическая точность выполнения размеров, оптимальность маршрута обработки, сложность конструкций используемых приспособлений, их стоимость, время на установку и снятие заготовки и, в конечном счете, себестоимость изготовления деталей.

Анализ CAD/CAM/CAE-систем, существующих на российском и зарубежных рынках, показывает, что в составе современных интегрированных САПР имеются достаточно мощные средства для решения многих задач технологической подготовки производства (ТПП). При этом для решения задачи проектирования технологического процесса и решения отдельных задач синтеза и автоматизированного выбора рациональных схем базирования не разработаны программные модули или подсистемы решающие эти задачи.

Это связано с тем, что задача автоматизированного выбора рациональных схем базирования сопряжена со следующими трудностями:

- отсутствие формата полного описания конструкторско-технологической информации детали;
- наличие неопределенных параметров на этапе разработки схем, таких как: вспомогательное время (время на установку и снятие заготовки); стоимость приспособления; направления и значения векторов сил резания; точки приложения и усилия зажимных элементов и т.п.;
- отсутствие алгоритмов автоматизированного выбора схем базирования.

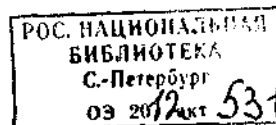
Задача автоматизированного выбора рациональных схем базирования является неотъемлемой частью в методике синтеза ТП. Ее решение позволяет выполнить структурную оптимизацию ТП, при которой можно проанализировать большое количество различных вариантов обработки заготовки, выявив оптимальную последовательность операций.

В связи с этим, автоматизация задачи выбора рациональных схем базирования заготовок при синтезе ТП является актуальной и требующей решения.

Целью диссертационной работы является формализация процедур синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки при использовании автоматизированных систем технологической подготовки производства.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи.

1. Предложена методика формирования конструкторско-технологической информации (КТИ) о заготовке, используя ее 3D-модель, и разработана структура базы данных (БД) для представления информации о заготовке.
2. Разработаны методика и алгоритм синтеза возможных схем базирования заготовки.
3. Разработаны методика и алгоритм автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки с использованием многокритериальных методов решения задач.



4. Создан автоматизированный программный комплекс, решающий задачи синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки.

Методология и методы исследования. При выполнении исследований и решении поставленных задач использовались основные научные положения: технологии машиностроения; теории автоматизированного проектирования; теории классификации и кодирования; теории принятия решений; теории реляционных баз данных; при разработке программных модулей использовались методы объектно-ориентированного и структурного программирования.

Научная новизна работы состоит в формализации процедур синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки при решении задачи автоматизированного проектирования ТП. В том числе научная новизна включает в себя следующие положения.

1. Предложена структура описания конструкторско-технологической информации о заготовке на основе ее 3D-модели с учетом технологических характеристик.

2. Разработаны методика и алгоритм синтеза схем базирования на основе конструкторско-технологической информации о заготовке.

3. Предложены критерии автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки при синтезе ТП обработки заготовки.

4. Разработаны методики и алгоритмы вычисления оценок качества схем базирования по каждому критерию автоматизированного выбора.

5. Разработана методика автоматизированного определения рациональных схем базирования на основе метода анализа иерархий.

Практическая ценность работы.

1. Разработана библиотека конструктивно-технологических элементов для САПР «Компас-3D» в соответствии с классификацией В.Д. Цветкова.

2. Создан программный модуль, предназначенный для формирования конструкторско-технологической информации о заготовке.

3. Создан автоматизированный программный комплекс синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки, который позволяет получать количественные оценки качества схем базирования.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Метод и алгоритм синтеза возможных схем базирования заготовки.

2. Критерии автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки.

3. Методики и алгоритмы вычисления оценок качества схем базирования заготовки по предложенным критериям выбора.

4. Метод и алгоритм автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки на основе метода анализа иерархий (МАИ).

Реализация и внедрение результатов работы. Созданный автоматизированный программный комплекс синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки прошел проверку при технологической подготовке производства на машиностроительных и малых инновационных предприятиях г. Брянск: ОАО «Газэнергосервис», ООО «Брянск-ИнМаш», ООО «ИЦ ВТМ».

Результаты работы использовались в учебном процессе кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета при проведении практических и лабораторных работ по дисциплинам: «Геометрическое моделирование», «Разработка САПР» для специальности «Системы автоматизированного проектирования»; «АСТПП в машиностроении», «САПР технологических процессов» для специальности «ТМ».

Апробация работы. Основные научные и практические результаты работы докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM» в 2008 г. в г. Пенза, на Международной научно-практической конференции «Состояние, проблемы и перспективы автоматизации технической подготовки производства на промышленных предприятиях» в 2009 г. в г. Брянск, на Международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» в 2010 г. в г. Могилев (Белоруссия), на 4-ой Всероссийской межвузовской научно-практической конференции «Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике – 2011» в 2011 г. в г. Зеленоград, на XXIII Международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов (МИКМУС-2011) в 2011 г. в г. Москва и др.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 29 печатных работ в виде научных статей и тезисов докладов из них 4 статьи в журналах, входящих в перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 115 наименований и 6 приложений. Основная часть работы содержит 158 страниц машинописного текста, 39 рисунков, 18 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цели и задачи научной работы, указываются применяемые методы исследований, научная новизна и практическая ценность работы, приводится краткий обзор структуры работы, формулируются основные положения выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ существующих методов проектирования технологических процессов (ТП) обработки заготовок и рассмотрены перспективы их развития. В ходе анализа было установлено, что наиболее перспективным для дальнейшего развития является метод синтеза ТП.

Проанализированы исследования ученых в области автоматизации проектирования ТП обработки заготовок, в которых затрагиваются вопросы синтеза и выбора рациональных схем базирования, выполненные Аверченковым В.И., Васильевым А.С., Горанским Г.К., Капустинным Н.М., Корчаком С.Н., Митрофановым С.П., Павловым В.В., Соломенцевым Ю.М., Старостинным В.Г., Цветковым В.Д., Челнищевым Б.Е. и др.

Анализ методов синтеза и выбора схем базирования заготовки показал, что данные задачи решаются либо на основе типовых решений (в этом случае схемы не всегда являются рациональными, а также затруднительно предложить решения для

новой детали), либо средствами автоматизации в диалоговом режиме, когда пользователю системы предлагается выбрать самому схемы базирования из ограниченного набора.

Рассмотрены существующие концепции представления исходной информации о заготовке в работах следующих российских ученых: Горанского Г.К., Цветкова В.Д., Базрова Б.М. и др.

Исходной информацией для задачи выбора рациональных схем базирования заготовки являются указанные обрабатываемые поверхности на заготовке и конструкторско-технологическая информация (КТИ) о ней на рассматриваемую технологическую операцию. Для описания КТИ о заготовке была использована классификация Цветкова В.Д. Согласно данной классификации, заготовку можно представить в виде совокупности отдельных конструктивно-технологических элементов (КТЭ).

Используя унифицированный подход к определению характеристик КТЭ, было предложено определить перечень характеристик, которыми может обладать любой элемент заготовки, в том числе и поверхности из которых состоят элементы. Общий вид определителя КТЭ можно представить следующим образом:

$$N = \{N_o, \{n_i\}\}, \quad (1)$$

где N_o – общие характеристики КТЭ заготовки; n_i – характеристики i -ой поверхности.

$$N_o = \{K, L, O, R, \delta\Phi, TO, MC, PK, GL\}, \quad (2)$$

где K – код конструктивно-технологического элемента; L – размерные параметры, которые являются уникальными для конкретного элемента; O – параметры, описывающие ориентацию элемента в пространстве; R – вид и значение шероховатости поверхности; $\delta\Phi$ – вид и допуск формы поверхности; TO, MC – вид термообработки и механические свойства поверхности; PK, GL – вид гальванических покрытий, глубина покрытий или термообработки.

Характеристики i -ой поверхности n_i вносятся в том случае, если они отличаются от общих характеристик элемента, при этом они могут включать любой параметр из общих характеристик.

Проведены исследования функциональных возможностей российских и зарубежных САПР ТП (ТехноПро, Вертикаль, T-FLEX Технология, СПРУТ-ТП, Techcard, ADEM CAPP, pro/Engineer, CATIA, Cimatron, NX, TechnologiCS, SolidWorks и др.) с точки зрения возможностей автоматизации синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки. Сделан вывод, что данной проблеме уделяется недостаточное внимание.

Для решения задачи автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки были проанализированы следующие многокритериальные методы принятия решений: многокритериальная теория полезности (MAUT); метод SMART; методы ранжирования многокритериальных альтернатив ELECTRE; метод анализа иерархий (МАИ). В результате анализа был выбран метод анализа иерархий, так как он отличается своей простотой и наглядностью, а также полностью подходит для решения поставленной задачи.

Во второй главе разрабатывались математические модели и алгоритмы процессов автоматизации выбора рациональных схем базирования заготовки.

На рис. 1 представлена стратегия автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки. Рассмотрим основные этапы стратегии выбора.

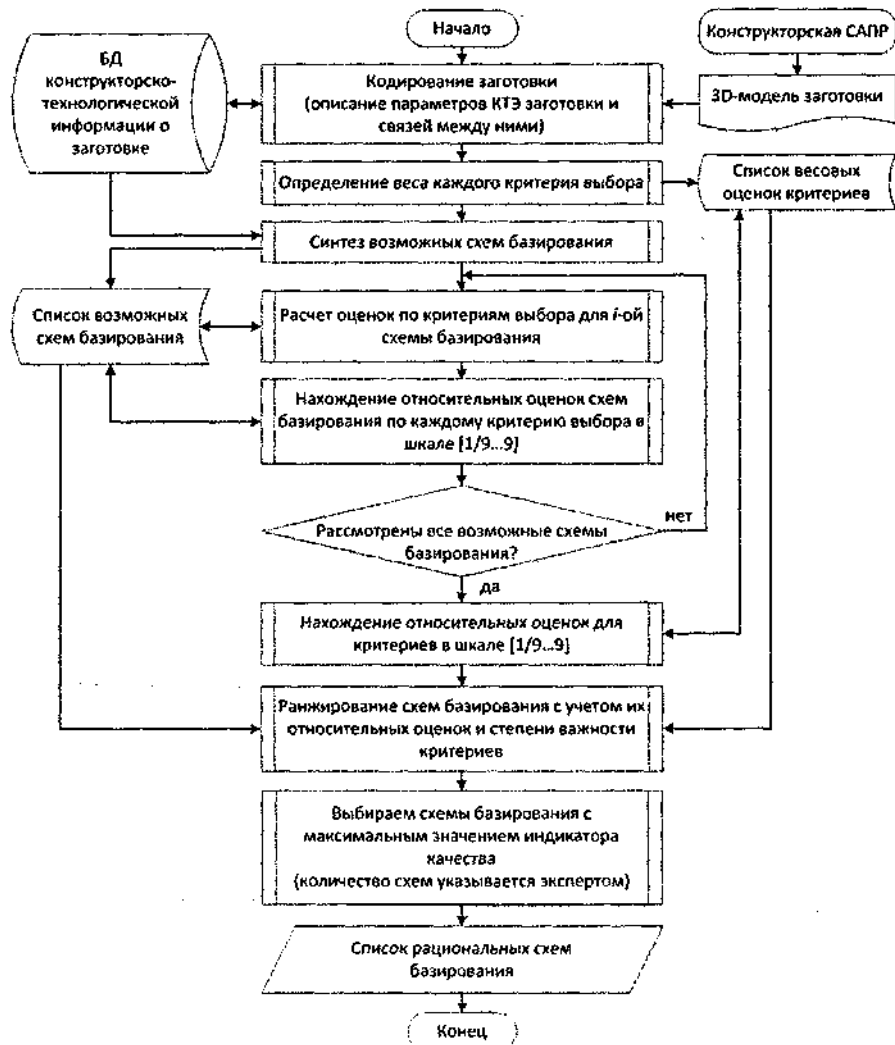


Рис. 1. Стратегия автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки

С помощью встроенных инструментальных средств конструкторской САПР строится 3D-модель заготовки. Далее, с помощью разработанного пользовательского интерфейса ввода исходных данных, происходит кодирование заготовки, т.е. описываются конструкторские и технологические параметры каждого КТЭ заготовки, которые включают все параметры определителя. Также описываются:

размерные характеристики, определяющие положения элементов в заготовке; допуски формы и расположения. Размерные характеристики, определяющие положения элементов в заготовке, вычисляются автоматически с 3D-модели заготовки. Вся собранная информация помещается в базу данных конструкторско-технологической информации о заготовке.

Для дальнейшей работы автоматизированного программного комплекса необходимо определить относительные оценки превосходства (веса) каждого критерия выбора. Такие оценки заносятся в специальный список, который хранится в постоянной памяти. В этом случае оператору (технологу) автоматизированного программного комплекса не нужно их вводить заново.

Исходными данными для автоматизированного выбора рациональных схем являются схемы базирования, которые синтезируются для каждого текущего состояния S_k заготовки. Это производится перебором возможных комбинаций базовых поверхностей при условии, что найденные схемы удовлетворяют требуемому условию базирования V_T .

Исходными данными для алгоритма синтеза возможных схем базирования является множество обрабатываемых КТЭ и вектор требуемого условия базирования:

$$V_T = \{X_T^A, Y_T^A, Z_T^A, X_T^Y, Y_T^Y, Z_T^Y\}, \quad (3)$$

где X_T^A, Y_T^A, Z_T^A – компоненты шестимерного вектора, определяющие требуемое базирование заготовки, которые принимают значения: 1 – если заготовку необходимо лишить линейной степени свободы, 0 – если не нужно лишать заготовку линейной степени свободы; X_T^Y, Y_T^Y, Z_T^Y – компоненты шестимерного вектора, определяющие требуемое базирование заготовки, которые принимают значения: 1 – если заготовку необходимо лишить угловой степени свободы, 0 – если не нужно лишать заготовку угловой степени свободы.

Обобщенно алгоритм синтеза возможных схем базирования можно представить в следующем виде:

1) определение кодов КТЭ заготовки по классификации Цветкова В.Д;
2) определение шестимерных векторов для каждого КТЭ ($V_i = \{X_i^A, Y_i^A, Z_i^A, X_i^Y, Y_i^Y, Z_i^Y\}$ – шестимерный вектор i -го КТЭ);

3) получение суммарных шестимерных векторов V_Σ для каждой возможной схемы: $V_\Sigma = V_i \vee V_j \vee \dots \vee V_n$, где n – количество КТЭ входящих в состав схемы;

4) получение суммарных шестимерных векторов с учетом лишения дополнительных угловых степеней свободы V'_Σ (лишение V'_Σ возможно при условии достаточного расстояния между КТЭ: $lx \geq lx_{min}; ly \geq ly_{min}; lz \geq lz_{min}$, где lx, ly, lz – расстояния между КТЭ; $lx_{min}, ly_{min}, lz_{min}$ – минимальные расстояния необходимые для лишения степеней свободы);

5) добавление схем в список возможных вариантов схем базирования при условии обеспечения требуемого базирования: $V_T \subseteq V'_\Sigma$.

После того как схемы базирования сгенерированы необходимо определить их качество согласно установленным критериям выбора.

В качестве критериев автоматизированного выбора рациональных схем базирования были установлены следующие:

- погрешность схемы базирования заготовки (ε_6);
- относительные затраты на реализацию схемы установки ($C_{пр.}$);
- относительное вспомогательное время, необходимое на установку и снятие заготовки ($t_{всп.}$);
- площадь главной базы ($S_{гр.}$);
- устойчивость заготовки при базировании по главной базе ($B_{гр.}$);
- доступность обрабатываемых поверхностей ($A_{обр.}$);
- доступность использования базовых поверхностей ($A_{баз.}$);
- компактность расположения базовых поверхностей ($N_{баз.}$).

Были разработаны методики и алгоритмы расчета оценок схем базирования по критериям автоматизированного выбора.

Критерий «Погрешность схемы базирования заготовки». Для расчета погрешности базирования i -ой схемы входными данными являются текущая схема и список обрабатываемых поверхностей. Результатом работы алгоритма является погрешность i -ой схемы базирования. При расчете погрешности используются модули, предложенные в работах Ильицкого В.Б.: «плоскость-плоскость», «цилиндр-призма», «цилиндр-цилиндр», «комбинированный модуль».

Алгоритм расчета погрешности базирования i -ой схемы $\varepsilon_{ск.и}$ в рассматриваемом случае включает следующие этапы:

- 1) нахождение размерных цепей между базирующими и обрабатываемыми поверхностями;
- 2) выбор расчетных модулей для всех размерных цепей;
- 3) расчет погрешности базирования $\varepsilon_{ск}$ размерных цепей;
- 4) выбор максимальной погрешности базирования $\varepsilon_{ск.и} = \varepsilon_{\theta_{max}}$.

При построении размерных цепей используется рекурсивный алгоритм, в котором выполняется обход размеров, связывающих базирующие и обрабатываемые поверхности. Выбор расчетных модулей производится на основании геометрических форм базирующих и возможных элементов приспособления.

Критерии «Относительные затраты на реализацию схемы установки» и «Относительное вспомогательное время». Так как на этапе выбора схем базирования еще не разработаны приспособления, то оценки вспомогательного времени и стоимости приспособления невозможно подсчитать. Однако, имея информацию о геометрических формах и размерах базовых поверхностей, можно подобрать конструктивные элементы для установки заготовки в приспособление. Для подсчета данных критериев используются не реальная стоимость установочных элементов, а относительные оценки (ранги) которые отражают предпочтительность выбора того или иного варианта. Например, базирование на плоскую поверхность дешевле и быстрее, чем базирование по зубчатой поверхности, соответственно ранги стоимости и вспомогательного времени при базировании на плоскую поверхность будет ниже, чем при базировании по зубчатой поверхности.

Для каждого конструктивно-технологического элемента согласно классификации В.Д. Цветкова были составлены таблицы рангов стоимостей

базирования и вспомогательных времен. В примере можно увидеть фрагменты таблиц рангов (табл. 1, 2, 3, 4).

Таблица 1
Ранги плоских поверхностей

№ п/п	Код	$r_{C_{пр}}$	$r_{t_{всп}}$
1	1111	1	1
2	1122	1	1
...

Таблица 2
Ранги поверхностей вращения

№ п/п	Код	$r_{C_{пр}}$	$r_{t_{всп}}$
1	2111н	1	1
2	2112н	2	1
...

Таблица 3
Ранги винтовых поверхностей

№ п/п	Код	$r_{C_{пр}}$	$r_{t_{всп}}$
1	3111н	6	5
2	3112н	6	5
...

Таблица 4
Ранги зубчатых поверхностей

№ п/п	Код	$r_{C_{пр}}$	$r_{t_{всп}}$
1	4111н	7	6
2	4112н	7	6
...

Такие таблицы могут редактироваться экспертом-технологом, чтобы учесть производственные условия предприятия.

Для нахождения рангов стоимости и вспомогательного времени схемы базирования необходимо воспользоваться формулами:

$$R_{C_{пр}} = \sum_{i=1}^n r_{C_{пр},i}, \quad R_{t_{всп}} = \sum_{i=1}^n r_{t_{всп},i}, \quad (4)$$

где n – количество поверхностей, входящих в состав схемы базирования; $r_{C_{пр},i}$ – текущий ранг стоимости i -ой поверхности; $r_{t_{всп},i}$ – текущий ранг вспомогательного времени i -ой поверхности.

Критерий «Площадь главной базы». В теории базирования выделяют два типа баз: главные и дополнительные. При ориентации заготовки в приспособлении сначала ее устанавливают на главную базу, а затем используют дополнительные базы для лишения оставшихся степеней свободы. За главную базу предпочтительно брать поверхность, при базировании на которую заготовка сохраняет устойчивое положение в приспособлении без использования дополнительных баз и зажимных механизмов. Исходя из этого, были предложены критерии: «площадь главной базы» и «устойчивость заготовки при базировании по главной базе». Чем больше площадь главной базы, тем устойчивее будет заготовка в приспособлении, а также время на установку будет меньше. Расчет оценки по критерию «площадь главной базы» не приводится, так как площадь главной базы подсчитывается автоматически с помощью встроенных средств системы автоматизированного проектирования.

Критерий «Устойчивость заготовки при базировании по главной базе». Так как на этапе определения схем базирования заготовки неизвестна вся силовая схема: точки контакта опорных элементов приспособления; точки контакта зажимных элементов; значения и направления сил резания, то производится предварительный расчет оценки, характеризующей степень устойчивости.

Для определения оценки устойчивости заготовки предлагается использовать следующую формулу:

$$O_{уст} = \frac{S_{пр}}{h} \cdot (1 + k_{уст}), \quad (5)$$

где $S_{пр}$ – площадь проекции главной базы на плоскость перпендикулярную вектору силы тяжести F_T ; h – высота заготовки в направлении вектора силы тяжести; $k_{уст}$ – коэффициент устойчивости главной базы.

Коэффициент устойчивости определяется с учетом следующих условий: если центр тяжести заготовки попадает в проекцию параллелепипеда образованного поверхностью главной базы, то $k_{уст} = 1$, иначе $k_{уст} = 0$ (коэффициенты могут быть изменены экспертом).

Критерий «Доступность обрабатываемых поверхностей». Если базы располагаются близко к обрабатываемым поверхностям, то возможны ситуации, когда элементы приспособления будут ограничивать доступ режущего инструмента в зону резания. Предлагается использовать следующую функцию определения доступности обработки i -ой поверхности при базировании j -ой базой:

$$D_{обр,ij} = \begin{cases} \ln(U_{ij} + 1), U_{ij} \leq R_S \\ \ln(R_S + 1), U_{ij} > R_S \end{cases} \quad (6)$$

U_{ij} – расстояние между i -ой и j -ой поверхностями в трехмерном пространстве;

R_S – расчетное максимальное расстояние между базовой и обрабатываемой поверхностями при котором высока вероятность ограничения доступа режущего инструмента в зону резания.

Расстояние U между двумя поверхностями определяется по следующей формуле:

$$U = \sqrt{R_{x\min}^2 + R_{y\min}^2 + R_{z\min}^2}, \quad (7)$$

где $R_{x\min}, R_{y\min}, R_{z\min}$ – расстояния между ближайшими точками двух поверхностей соответственно по осям: x, y, z .

Параметр R_S рассчитывается по формуле:

$$R_S = r_s \cdot G, \quad (8)$$

где r_s – коэффициент, характеризующий доступность обработки, который задается экспертом в диапазоне $[0...1]$; G – длина диагонали наименьшего параллелепипеда, в который может быть вписана заготовка:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}, \quad (9)$$

где G_x, G_y, G_z – габариты заготовки по осям x, y, z .

Критерий «Доступность использования базовых поверхностей». По степени доступности все поверхности можно разделить на три подвида: открытые, полукрытые и закрытые. Оценка по данному критерию определяется суммой двух показателей:

$$D_{баз} = d_{гл.б} + d_{доп.б}, \quad (10)$$

где $d_{гл.б}$ – коэффициент, который характеризует сложность базирования заготовки на главную базу; $d_{доп.б}$ – коэффициент, который характеризует сложность базирования заготовки на дополнительные базы.

Коэффициенты, характеризующие сложность базирования заготовки вычисляются по формулам:

$$d_{г.б} = \prod_{i=1}^n k_i / n; \quad d_{доп.б} = \prod_{j=1}^m k_j / m, \quad (11)$$

где k_i – коэффициент, учитывающий доступность использования i -ой поверхности главной базы; k_j – коэффициент, учитывающий доступность использования j -ой поверхности дополнительной базы; n – количество поверхностей, входящих в главную базу; m – количество поверхностей, входящих в состав дополнительных баз.

Коэффициенты k_i и k_j устанавливаются экспертом при настройке подсистемы. Они характеризуют степень отличия в выборе открытых, полуоткрытых и закрытых поверхностей.

Критерий «Компактность расположения базовых поверхностей». Известно, что чем ближе друг к другу располагаются базовые поверхности, тем меньше размеры приспособления а, следовательно, стоимость приспособления будет дешевле. Для подсчета оценки компактности расположения базовых поверхностей используется следующая формула:

$$C_{баз} = \sum_{i=1, j=1}^{n, m} C_{базij} / c, \quad (12)$$

где $C_{базij}$ – оценка компактности расположения i -ой и j -ой поверхностей $C_{базij} = \ln(U+1)$; c – количество неповторяющихся сочетаний базовых поверхностей.

Для схем базирования, полученных на предыдущем этапе, подсчитываются абсолютные оценки по каждому критерию выбора. Далее по представленному алгоритму с использованием МАИ проводилась математическая свертка с учетом важности каждого из критериев. Степень важности каждого критерия устанавливает эксперт-технолог, исходя из предпочтений конкретного производства. По методу анализа иерархий абсолютные оценки необходимо представить в шкале [1...9].

Оценка отношения i -й схемы к j -й при условии, что O_i «лучше» чем O_j :

$$O_{ij} = \frac{9 \cdot (O_i - O_j)}{O_{\max} - O_{\min}}, \quad (13)$$

где O_i, O_j – сравниваемые схемы базирования; O_{\max}, O_{\min} – максимальная и минимальная оценки из множества схем базирования.

Согласно принципам, заложенным в МАИ была разработана методика получения количественных оценок качества схем базирования. Для описания индикатора качества i -ой схемы базирования предложена следующая зависимость:

$$S_j = \sum_{i=1}^N w_i \cdot w_{ji}, \quad (14)$$

где N – количество критериев; w_i – вес i -го критерия; w_{ji} – вес j -й схемы базирования по i -му критерию.

Нормированный вес схемы базирования A по i -му критерию:

$$w_{(A)}^i = \frac{V_{(A)}^i}{\sum_{k=1}^n V_k^i}, \quad (15)$$

где $\sum_{k=1}^n V_k^i$ – сумма собственных векторов всех схем базирования; $V_{(A)}^i$ – собственный вектор схемы базирования A по i -му критерию:

$$V_{(A)}^i = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_k^i}, \quad (16)$$

где n – количество схем базирования; a_k^i – текущая (k -ая) относительная оценка схемы базирования A .

Третья глава посвящена разработке автоматизированного программного комплекса синтеза возможных и выбора рациональных схем базирования заготовки.

На рис. 2 представлена структурная схема разработанного автоматизированного программного комплекса.



Рис. 2. Структурная схема автоматизированного программного комплекса выбора рациональных схем базирования заготовки

Для построения интерфейса работы с 3D-моделью заготовки был выбран API САПР Компас, т.к. данная система предоставляет большой выбор средств разработки и имеет широкое распространение в России. В качестве основного языка программирования был выбран C# (C Sharp), с помощью данного языка были написаны программные модули, реализующие разработанные алгоритмы.

В качестве среды программирования была выбрана Microsoft Visual C#. Для разработки базы данных была выбрана СУБД Microsoft SQL Server, которая поддерживает принципы работы с реляционной моделью данных.

На рис. 3 представлен интерфейс разработанного программного комплекса синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки.

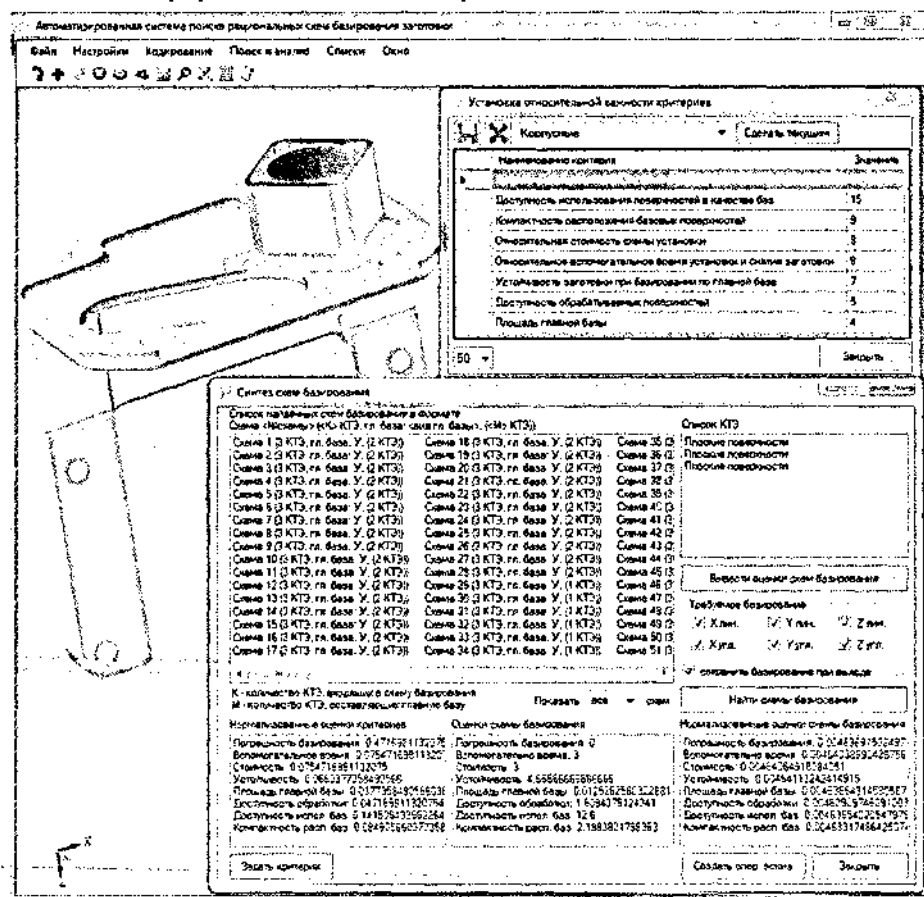


Рис. 3. Интерфейс автоматизированного программного комплекса синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки

Программный комплекс состоит из следующих модулей: ввода исходных данных; расчета оценок по критериям; выбора рациональных схем базирования. Все

разработанные модули взаимодействуют с базой данных через модуль управления БД. Модуль управления представляет собой набор программных классов, содержащих методы обработки запросов к БД.

Автоматизированный программный комплекс синтеза и выбора рациональных схем базирования обеспечивает формирование возможных схем базирования, просмотр найденных решений и сортировку схем в порядке количественной оценки предпочтения.

Разработанный программный комплекс позволяет:

- технологю проводить анализ возможных схем базирования заготовки на основе рассчитанных количественных показателей;
- сократить время на проектирование ТП обработки заготовок;
- получить количественные оценки качества схем базирования, что может быть использовано в задаче проектирования ТП методом синтеза.

Данный программный комплекс может использоваться в качестве средства, помогающего технологю автоматизировать часть технологических задач, а также в составе программной системы, решающей задачу проектирования ТП обработки заготовки методом синтеза.

В четвертой главе проведено исследование области применения автоматизированного программного комплекса синтеза и выбора рациональных схем базирования заготовки, а также приведена оценка эффективности работы автоматизированного программного комплекса.

На рис. 4 показано место разрабатываемого программного комплекса выбора рациональных схем базирования заготовки в составе интегрированных САПР.

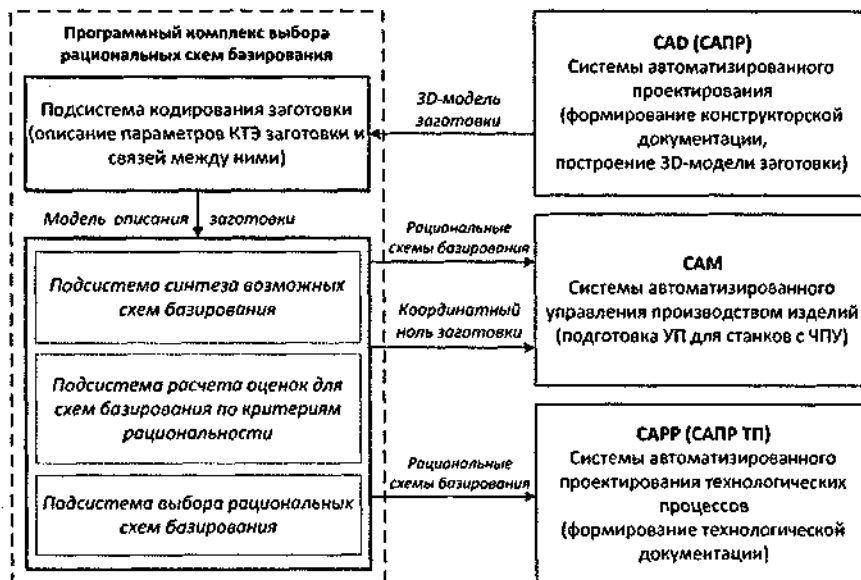






Рис. 4. Программный комплекс автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки в составе интегрированной САПР

Для оценки эффективности работы автоматизированного программного комплекса было проведено тестирование работы программы на машиностроительных предприятиях. Тестирование проводилось пятью экспертами на четырех предприятиях. В рамках поставленной задачи выбора рациональных схем базирования заготовки были рассмотрены: 45 тел вращения; 27 корпусных деталей; 21 рычагов, вилок, тяг; 32 зубчатых колес, шестерен.

Результаты экспериментальной проверки представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты экспериментальной проверки автоматизированного программного комплекса

Тип детали	Изображение	Совпадение с экспертной оценкой	
		Оценка первых 5 рациональных схем базирования	Оценка схемы базирования с наибольшим значением рейтинга
Тела вращения (валы, оси, втулки, диски, кольца, крышки и т.п.)		95%	82%
Корпусные (корпуса, картеры, кранштейны и т.п.)		87%	78%
Рычаги, вилки, тяги		83%	76%
Зубчатые колеса, шестерни		93%	84%

Автоматизированный программный комплекс синтеза возможных и выбора рациональных схем базирования может использоваться в следующих случаях:

- при проектировании технологического процесса механической обработки заготовки в качестве системы поддержки принятия решений;
- для автоматизированного поиска рациональных схем базирования и включения выбранных схем в проектируемый ТП обработки заготовки;
- для формализованного представления технологами новых технологических решений;
- в качестве обучающего модуля, например для специальности «Технология машиностроения» при выполнении лабораторных работ на дисциплинах: «АСТПП в машиностроении», «САПР технологических процессов» и т.д.;
- в качестве модуля автоматизированной системы проектирования ТП обработки заготовки методом синтеза, так как разработанный автоматизированный программный комплекс позволяет получить числовые оценки качества для схем базирования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Предложена структура описания конструкторско-технологической информации о заготовке на основе ее 3D-модели, учитывающая описание геометрических параметров элементов заготовки и связей между ними, а также технологические параметры качества и точности.

2. Разработаны методика и алгоритм синтеза возможных схем базирования на основе конструкторско-технологической информации о заготовке, позволяющие

определять возможные варианты базирования заготовки, с учетом ее геометрии, представленной в виде 3D-модели.

3. Предложены критерии автоматизированного выбора рациональных схем базирования при синтезе технологических процессов обработки заготовки, которые позволяют получить количественные оценки качества схем базирования.

4. Разработаны методики и алгоритмы вычисления оценок качества схем базирования заготовки по каждому критерию выбора, использующиеся в методике автоматизированного выбора рациональных схем базирования, которые позволяют проранжировать схемы между собой.

5. Разработаны методика и алгоритмы автоматизированного выбора рациональных схем базирования из возможных схем, найденных на этапе синтеза, которые позволяют получить количественные оценки качества схем на основе метода анализа иерархий.

6. На основе разработанных моделей и алгоритмов был создан автоматизированный программный комплекс синтеза и выбора рациональных схем базирования применительно к использованию в системах автоматизированного проектирования технологических процессов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендуемых ВАК

1. Аверченков, В.И., Леонов, Ю.А. Использование метода аналитической иерархии для решения задачи автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки / Вестник БГТУ. – Брянск: БГТУ, 2010. – с. 71-76.

2. Аверченков, В.И., Леонов, Ю.А. Автоматизация поиска и выбора рациональных схем базирования заготовки при решении задачи синтеза единичных технологических процессов / Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. с. 92-104.

3. Леонов, Ю.А., Казаков, Ю.М. Многокритериальный выбор рациональных схем базирования заготовки при решении задачи синтеза единичных технологических процессов / Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. Вып. 3. СПб: изд-во СПбГПУ, 2011. с. 108-116.

4. Аверченков, В.И., Леонов, Ю.А. Использование методов эвристического поиска для структурной оптимизации технологических процессов обработки заготовок. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Вып. 1. – Белгород: изд-во БГТУ, 2012. – с. 168-172.

Статьи в материалах конференций и других изданиях

5. Аверченков, В.И., Леонов, Ю.А. Автоматизированный сбор конструкторско-технологической информации детали и заготовки / Информационные технологии, энергетика и экономика: сб. трудов V Межрег. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 1. – Смоленск, 2008. – с. 152-153.

6. Аверченков, В.И., Леонов, Ю.А. Формирование графов последовательностей обработки модулей поверхностей / Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 27 февраля – 1 марта 2007 г. – Томск: изд. ТПУ, 2007. – с. 307-309.

7. Леонов, Ю.А. Автоматизация формирования технологии механической обработки детали / Тезисы докладов 57-ой научной конференции профессорско-преподавательского состава. – Брянск: БГТУ, 2005. – с. 7-8.

8. Леонов, Ю.А. Автоматизация формирования маршрутной технологии механической обработки деталей на основе экспертной системы / Микроэлектроника и информатика – 2007. 14-я

Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: тезисы докладов. – М: МИЭТ, 2007. – с. 192-194.

9. Леонов, Ю.А. Методика автоматизированного выбора рациональных схем базирования / Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2008. – с. 36-38.

10. Леонов, Ю.А. Повышение качества автоматизированного выбора рациональных схем базирования / Проблемы качества машин и их конкурентоспособности: материалы 6-й Международной научно-технической конференции. – Брянск: БГТУ, 2008. – с. 131-132.

11. Леонов, Ю.А. Алгоритм автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовок / Традиции, тенденции и перспективы в научных исследованиях: материалы IV международной студенческой научно-практической конференции. Часть I. – Чистополь, ИНЭКА, 2009. – с. 351-353.

12. Леонов, Ю.А. Применение метода анализа иерархий для выбора рациональных схем базирования заготовки / Актуальные вопросы технических, экономических и гуманитарных наук: материалы II международной заочной науч.-практ. конф., г. Георгиевск, 15-17 декабря 2009 г. – Георгиевск: Георгиевский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет», 2009. – с. 30-33.

13. Леонов, Ю.А. Применение многокритериальных методов принятия решений для выбора рациональных схем базирования / Региональная информатика (РИ-2010). XII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2010)». Санкт-Петербург, 20-22 октября 2010 г.: Труды конференции \ СПОИСУ. – СПб, 2010. – с. 54-55.

14. Леонов, Ю.А. Автоматизированная подготовка конструкторско-технологической информации о заготовке / Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Беларус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) (и др.). – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2010. – с. 24-25.

15. Леонов, Ю.А. Тенденции развития автоматизации проектирования технологических процессов обработки заготовок / Инновации в машиностроении: материалы Международной научно-практической конференции 7-9 октября 2010 / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – с. 16-18.

16. Леонов, Ю.А. Автоматизация подготовки исходной информации для проектирования ТП обработки заготовки / Материалы Международной научно-практической конференции «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании»: [Текст]+[Электр. ресурс] / под редакцией И.А. Лагерёва. – Брянск: БГТУ, 2010. с. 248-249.

17. Леонов, Ю.А. Автоматизация оценки качества схем базирования при синтезе единичных технологических процессов обработки / Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике – 2011. 4-я Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция: Тезисы докладов. – М: МИЭТ, 2011. – с. 186-187.

18. Леонов, Ю.А. Формализация оценки качества схем базирования заготовки / XXIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС-2011): материалы конференции (Москва, 14-17 декабря 2011г.). / М: Изд-во ИМАШ РАН, 2011. с. 174.

19. Леонов, Ю.А. Формализация определения устойчивости заготовки при выборе рациональных схем базирования / Материалы III Международной научно-практической конференции «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании»: в 2 ч.: [Текст]+[Электронный ресурс] / под редакцией И.А. Лагерёва. – Брянск: БГТУ, 2011. с. 216-217.

20. Леонов, Ю.А. Критерии автоматизированного выбора рациональных схем базирования заготовки / Актуальные проблемы науки: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. 27 сентября 2011 г.: в 6 частях. Часть 3: М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2011. с. 69-70.



2012A
13261
12-13261

Лицензия №020381 от 24.04.97. Подписано в печать 26.04.12. Формат 60x84 1/16.
Бумага типографическая №2. Офсетная печать. Печ. л. 1 Уч. – изд. л., 1. Т. 100 экз.

Брянский государственный технический университет,
241035, г. Брянск, б-р. 50 лет Октября, д.7.
Лаборатория оперативной полиграфии БГТУ, ул. Институтская, 16.