

1201855
Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана



На правах рукописи

КОНДАКОВ Александр Иванович

**РАЗРАБОТКА
НАУЧНО - МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДДЕРЖКИ
РЕШЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО -
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА**

Специальности: 05.02.08 — технология машиностроения;
05.13.07 — автоматизация технологических процессов
и производств
(машиностроение)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



Москва — 1999

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1564255

Кондаков А.И. Разработка

На правах рукописи

Кондаков Александр Иванович

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА

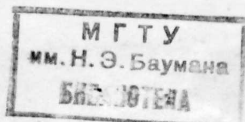
1564255

Специальности: 05.02.08 - технология машиностроения;
05.13.07 - автоматизация технологических
процессов и производств
(машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

А.И. Кондаков

Москва - 1999



Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Горнев В.Ф.;

доктор технических наук,
профессор Митрофанов В.Г.;

доктор технических наук,
профессор Султан-Заде Н.М.

Ведущая предприятие: Центральный научно-исследовательский
технологический институт (ЦНИТИ).

Защита состоится "29" сентября 1999 г. в 14³⁰ час.
на заседании диссертационного совета Д053.15.04
Московского государственного технического университета
им.Н.Э.Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская ул.,5

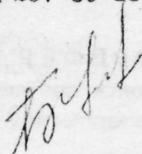
Ваш отзыв на автореферат в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим
направить по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного
совета.

Автореферат разослан "7" июня 1999 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного технического университета им.Н.Э. Баумана.

Телефон для справок 267-09-63.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



Усов Б.А.

Подписано к печати 29.06.99 Объем 2 п.л. Зак. 101 Тир. 100
Типография МГТУ им.Н.Э.Баумана

Актуальность темы.

Усложнение изделий машиностроения, условий их производства и эксплуатации требуют принятия сложных, взаимосвязанных и эффективных решений на протяжении всего жизненного цикла изделия (ЖЦИ) в минимальные сроки, что возможно лишь при автоматизации процесса принятия (поддержки) решений. Необходимость автоматизации поддержки решений на ЖЦИ порождает проблематику автоматизации поддержки решений на его отдельных этапах и обеспечения их взаимосвязи. К этой проблематике относится и проблема автоматизации поддержки решений при технологической подготовке производства (ТПП) и изготовлении изделия, образующих производственно-технологический цикл (ПТЦ). Конкурентоспособность изделия машиностроения прямо зависит от решений технологической семантики – технологических решений (ТР), принимаемых и реализующихся в ПТЦ.

Состояние автоматизации поддержки решений ПТЦ нельзя назвать удовлетворительным. Даже при автоматизации выполнения отдельных функций и задач ТПП возникают значительные трудности, связанные с отсутствием соответствующей научно-методической базы. Игнорирование принципиальной разницы в необходимых методических подходах к алгоритмизируемым задачам и задачам принятия решений, попытки искусственной формализации последних и приведения их к алгоритмическому виду, а также иные следствия методической неразработанности автоматизированной поддержки ПТЦ привели к появлению значительного числа автоматизированных систем, прежде всего, систем автоматизированного проектирования (САПР), обладающих ограниченными областями применения при относительно невысоком качестве формируемых проектных решений. Успехи автоматизированного проектирования наблюдаются, в основном, при реализации формализуемых функций ТПП, составляющих незначительную часть от общего числа последних. Недостаточная разработанность основ автоматизированной поддержки ТР при создании соответствующих систем подменяется расширенным применением интерактивного режима их работы, что приводит к субъективизации полученных результатов.

Применяемые в научной практике и практике автоматизации термины “технологическое решение”, “качество технологического решения” понятийно не определены. Отсутствуют методики определения характеристик ТР и аппарат их формализованного представления. Уровень современных знаний о закономерностях формирования ТР недостаточен для их использования в автоматизированных системах.

Сказанное делает исследования, направленные на разрешение проблемы автоматизированной поддержки ПТЦ, связанные с изучением за-

кономерностей, принципов формирования и обеспечения качества ТР, разработкой соответствующей научно-методической базы автоматизированной поддержки ПТЦ и ее практических приложений весьма актуальными.

Цель и задачи работы. Целью работы является обеспечение качества решений, принимаемых и реализующихся в ПТЦ.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

1. Разработка метода формализованного представления ТР. Определены базовые понятия и дана классификация ТР. Выявлены компоненты, формы представления, задачи и функциональные схемы формирования ТР различных видов, ориентированные на их автоматизированную поддержку. Выделены условия возникновения отношений между ТР, разработан аппарат использования этих отношений при формировании решений в режиме автоматизированной поддержки. Предложен критерийный аппарат селекции ТР в процессе их автоматизированного формирования.

2. Автоматизация синтеза структур объектов ТР. Создано методическое обеспечение автоматизированного синтеза структур технологических объектов на примере построения систем синтеза маршрутных технологических процессов (ТП) изготовления деталей. Разработан метод геометрическо-технологического моделирования предметов производства (заготовок, деталей), а также методика синтеза маршрутных ТП, программно реализованная в макете одноименной системы.

3. Разработка методического обеспечения поддержки решений при ТПП. Найдены условия и разработан методический аппарат эффективной модификации ТР. Предложены методы формирования первичных групп технологически подобных деталей в начальной фазе ТПП, обеспечивающие адаптацию проектных решений к условиям производственной системы фиксированного состава средств технологического оснащения.

4. Разработка методического обеспечения поддержки решений при их реализации. Найдены методы и стратегии обеспечения качества частично реализованных при изготовлении изделий ТР. Практическое приложение разработок посвящено обеспечению качества изготовления деталей (на примере деталей с заданными эксплуатационными характеристиками) при реализации ТР.

Методы исследований. Использованы основные положения технологии машиностроения, методы математического моделирования, системно-структурного анализа, теории множеств, математической логики, технологии программирования, теории автоматизированного проектирования. Экспериментальные исследования предложенных методов, моделей и алгоритмов выполнены на ЭВМ и технических средствах графического отображения. Исследования, связанные с обеспечением качества

деталей, выполнены на физически реализованных действующих макетах одноименных систем, укомплектованных средствами технологического оснащения и необходимым программным и информационным обеспечением в соответствии с концепцией их реализации. Результаты исследований прошли производственную проверку.

Научная новизна. Создана научно-методическая база разрешения крупной научной проблемы автоматизации поддержки решений, принимаемых и реализующихся при ТПП и изготовлении изделия, образующих ПТЦ. Установлены основные и наиболее общие характеристики ТР различных видов, возникающие при их формировании и реализации. Выявлена роль методологического принципа адаптации при принятии и реализации ТР: доказана возможность обеспечения эффективности ТР направленной модификацией их характеристик в ПТЦ. Разработано необходимое методическое обеспечение автоматизированной поддержки ТР.

Получены новые научные результаты, выносимые на защиту:

- метод формализованного представления ТР;
- базовые понятия и классификация ТР; компоненты, форма представления, задачи и функциональные схемы формирования ТР различных видов, ориентированные на их автоматизированную поддержку;
- условия возникновения между проектными решениями отношений тождества, эквивалентности, подобия;
- математический аппарат определения подобия компонентов решений и система оценки подобия технологических объектов по составу и структуре;
- методическое обеспечение автоматизированного синтеза маршрутных ТП изготовления деталей;
- методический аппарат модификации ТР;
- методы формирования первичных групп технологически подобных деталей в начальной фазе ТПП;
- методы и стратегии обеспечения качества частично реализованных ТР;
- методика обеспечения качества деталей с заданными эксплуатационными характеристиками.

Практическая ценность работы состоит:

- в создании научно-методической базы разработки и программной реализации модулей автоматизированных систем поддержки ТР производственно-технологического цикла;
- в разработке методического обеспечения и рекомендаций по структурно-функциональному построению автоматизированных систем синтеза маршрутных ТП изготовления деталей;
- в применимости результатов исследования к созданию систем обеспечения доминирующих показателей эксплуатационного качества деталей;

– в приложении методики оценки технологического подобия к решению задач формирования номенклатуры изделий при перепрофилировании, переспециализации и конверсии машиностроительных производств;

– в возможности использования результатов в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности 1201 “Технология машиностроения”, а также на факультетах повышения квалификации специалистов машиностроения и приборостроения.

Реализация работы. Внедрены разработанные практические приложения научно-методической базы поддержки решений ПТЦ:

– системы и методики обеспечения эксплуатационных характеристик разрушаемых деталей однократного применения (НПО “Техномаш” г. Москва, п/я В-2190, НПП “Стрела”);

– руководящие технические материалы по обеспечению эксплуатационного качества ответственных деталей прецизионных приводов (АО “Московский завод скоростных прецизионных электроприводов”);

– руководящие материалы по комплексному обеспечению качества технологических решений при изменении номенклатуры ремонтных единиц подвижного состава железнодорожного транспорта (Проектно-конструкторское бюро департамента локомотивного хозяйства Министерства путей сообщения РФ);

– руководящие материалы по поддержке технологических решений при производстве трубогибочных автоматизированных комплексов (ТОО “Пахра” г. Москва);

– руководящие материалы по обеспечению качества решений при изменении номенклатуры выпускаемых изделий (фирма “Акант” г. Москва);

– руководящие материалы по формированию групп деталей на основе технологического подобия (ЗАО “Станко-Центр” г. Москва);

– методические материалы по обеспечению качества решений при изготовлении номенклатуры изделий, выпускаемых производственной системой фиксированной структуры, используются при выполнении государственной программы “Конверсия -2000”.

Результаты работы нашли применение в учебном процессе:

– подготовлены и читаются 2 курса лекций для студентов специальности 1201 “Технология машиностроения”;

– материалы работы вошли в учебник “Технология компрессоростроения”, а также базовый учебник спец.1201 “Основы технологии машиностроения”, вышедший в 1997-1998 г.г.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены и получили одобрение на: республиканской научно-практической конференции “Прогрессивные методы обработки и автоматизация в машиностроении”, Душанбе, 1983г.; Всесоюзной научно-технической конференции “Конструктивно-технологические методы повышения надежно-

сти и их стандартизация", Тула, 1988г.; Научно-технической конференции "Прогрессивная технология механосборочного производства", Москва, 1989г.; научно-технической конференции, посвященной 100-летию В.М.Кована, Москва, 1990г.; научном семинаре "Инженерия знаний" МГТУ им.Н.Э.Баумана в 1995-1996г.г.; Всероссийской научно-технической конференции "Современная электротехнология в машиностроении", Тула, 1997г.; 3-ей Международной научно-технической конференции "Проблемы повышения качества промышленной продукции", Брянск, 1998г.; Всероссийской научно-технической конференции "Машиностроительные технологии", Москва, 1998г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 41 основные работы. Материалы исследований использованы в 2-х учебниках и 2-х монографиях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка литературы из 126 наименований и приложений. Работа содержит 441 страниц, в том числе 313 страниц основного текста, 78 рисунков, 19 таблиц, а также приложения на 128 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано краткое обоснование актуальности диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна работы, кратко изложены основные результаты работы, их практическая значимость и выносимые на защиту положения.

В первой главе дана оценка современного состояния автоматизации поддержки решений производственно-технологического цикла.

Подчеркнута необходимость автоматизации поддержки решений, принимаемых на всем ЖЦИ, принципиальную возможность чего дают современные информационные технологии инжиниринга. Основным препятствием являются недостаточная методическая разработанность процессов принятия решений на отдельных этапах ЖЦИ, а также отсутствие методического обеспечения интеграции отдельных модулей такой системы, соответствующих этапам ЖЦИ, в единую систему поддержки решений.

Проф. Горнев В.Ф. отметил, что "работы по созданию единых унифицированных методов представления производственных функций и обмена данными на всех этапах ЖЦИ приобрели приоритетное значение в области автоматизации производства".

Формирование свойств изделий в значительной мере осуществляет при ТПП и непосредственном производстве, рассматриваемыми как единый производственно-технологический цикл (ПТЦ). Среди принимаемых и реализующихся на этих этапах решений доминируют решения, имеющие технологическую ориентированность и связанные технологической семантикой - технологические решения (ТР).

Термин “технологическое решение” широко используется в специальной литературе, однако суть одноименного понятия до сих пор практически не раскрыта. Автоматизация поддержки ТР требует их понятийного определения, формальной представимости и знания специфики принятия, учитывающей особенности предметной области. Показано, что большинство задач ТПП являются именно задачами принятия ТР различных видов. Выделены основные виды ТР: аналитическое, прогнозическое, проектное, управляющее. Закономерности формирования ТР в настоящее время практически не исследованы. Существующие подходы, характерные для неавтоматизированного принятия решений, в автоматизированном режиме малоэффективны. На примере ТПП дана оценка состояния автоматизации поддержки ТР,

Наибольшие усилия прилагались в направлении автоматизации поддержки проектных решений (Пр). Сформировалась в значительной мере самостоятельная научная дисциплина “Автоматизация проектирования”. Большой вклад в ее формирование и развитие внесли Горанский Г.К., Капустин Н.М., Куликов Д.Д., Митрофанов В.Г., Митрофанов С.П., Норенков И.П., Павлов В.В., Падун Б.С., Ракович А.Г., Семенков О.И., Соломенцев Ю.М., Старец А.С., Старостин В.Г., Челищев Б.Е., Цветков В.Д. и др. В подавляющем большинстве исследований и разработок технологических САПР предметной областью последних является исключительно ТПП. Идея интеграции технологических САПР с другими системами отражена в концепции компьютеризированного интегрированного производства (КИП), развиваемой в работах Горнева В.Ф., Соломенцева Ю.М., Митрофанова В.Г.

В основу создания САПР ТП изначально были положены идеи формализации процедур проектирования и, в целом, копирования действий человека - технолога - проектировщика ТП. В существующей практике ТПП и при разработке САПР ТП практически игнорируется принципиальное различие процессов формирования решений, получаемых в результате процедурного выполнения некоторой задачи и решений, принятие которых требует обязательного приложения специализированного интеллекта.

Принятие Пр в САПР ТП требует, по возможности полной, надежной и оперативной автоматизации синтеза структур ТП, что достаточно полноценно в современных системах не представлено.

При автоматизированной поддержке решений обеспечение качества превращается в центральную функцию управления процессом принятия решения. Оценивание качества должно включать проверку семантических связей между элементами решения и его семантики в целом, а также определение количественных характеристик качества решения. Недостаточно высокое ожидаемое качество решения может быть по сути эквивалентно его отсутствию. Широко используемый термин “качество решения” понятийно не определен. Строгого и достаточно общего мето-

дического подхода к определению критериев выбора решений не предложено. Наиболее перспективен подход предложенный Раковичем А.Г. на примере оценки эффективности станочных приспособлений.

Среди существующих подходов к обеспечению качества Пр выделены: применение таблиц выбора решений (Ракович А.Г.); моделирование и корректировка решений (С.П.Митрофанов, Д.Д.Куликов, Падун Б.С.); структурная и параметрическая оптимизация (Капустин Н.М.); итерационные методы (Челищев Б.Е., Цветков В.Д.); использование алгоритмов синтеза и поиска решений (Старец А.С.).

Рассмотрены основные ситуации принятия управляющих решений (У) в ПТЦ. Формирование У в технологических (производственных) системах в режиме реального времени подробно исследовано и представлено в литературе. Разработана теория адаптивного управления в приложении к технологическому оборудованию. Ведущую роль в ее создании сыграла научная школа МГТУ "СТАНКИН". В работах по проблематике управления ТП основное внимание уделено созданию и применению математического аппарата, сопровождающего процессы принятия и оптимизации У на этапе изготовления изделия. Поддержка У на этапе ТПП и их последующая реализация рассмотрены в значительно меньшей степени. Значительные успехи достигнуты в создании методов описания сложных дискретных систем с целью их моделирования и решения задач управления (Горнев В.Ф., Емельянов В.В.).

Несмотря на достигнутые успехи в развитии методов моделирования технологических объектов, автоматизация поддержки аналитических (А) и прогностических (П) решений требует дополнительных усилий.

Отсутствует единство взглядов на определение практической ценности оценок, получаемых при анализе и прогнозировании. Практическая ценность оценок часто отождествляется с качеством моделей, критериями которого являются их точность, адекватность, экономичность (Норенков И.П.). Использование этих критериев в решающих правилах, например, при выборе альтернативных методов моделирования затруднительна. Интересно использование в качестве критерия характеристики, определяемой через понятие "достоверность". Перспективен подход применяемый при оценке точности измерений, когда под достоверностью контроля понимают степень объективности отображения его результатами истинного технического состояния контролируемого изделия (Дунаев Б.Б.).

Принятие ТР носит адаптационный характер, что проиллюстрировано конкретными примерами из технологической практики. В технологии машиностроения принцип адаптации использовался, в основном, при решении задач управления на уровне операции или ТП (Балакшин Б.С., Базров Б.М., Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г.). Многоэтапность процессов принятия решений при ТПП и необходимость примене-

ния принципа адаптации для автоматизированных систем ТПП отмечалась в работах Митрофанова С.П., Куликова Д.Д. Принципиальным отличием подхода, реализуемого при адаптации ТР, от известных приложений принципа адаптации, является снятие ограничений на возможные изменения не только параметров и структуры (Капустин Н.М.), но и иных характеристик объекта решения и даже среды его реализации. Предложена формулировка принципа адаптации применительно к проблеме автоматизированной поддержки решений на этапах ЖЦИ: "Эффективным может быть только решение, адаптированное к условиям (среде) его реализации или адаптирующее к себе указанные условия"

Проведенный анализ выявил наличие актуальной проблемы автоматизации поддержки решений ПТЦ. Ее актуальность возрастает в связи с развитием и реализацией концепции КИП. Сказанное позволяет сделать вывод об исключительной актуальности исследования закономерностей, основных принципов формирования и обеспечения качества ТР различных видов и разработки на их основе научно-методической базы автоматизированной поддержки ТР и ее практических приложений. Цель исследования - обеспечение качества ТР, принимаемых и реализующихся в ПТЦ.

Основная научная идея работы: управление качеством ТР в ПТЦ путем направленной модификации его объекта и среды реализации. В соответствии с целью определены основные задачи исследования. Предметная область работы - ТПП и изготовление деталей машиностроительных изделий инвариантно их классу для условий единичного-серийного типов производства. Рассматривается классическая концепция ЖЦИ - отсутствует совмещение этапов ЖЦИ, характерное для современных концепций КИП. Исследуется механизм формирования проблемно-ориентированных решений уровня процессного проектирования (по классификации Горнева В.Ф.).

Во второй главе изложены результаты разработки метода формализованного представления ТР.

Под технологическим понимается любое решение, принятое при ТПП или производстве, относящееся непосредственно к определению или изменению состояния предмета производства и направленное на обеспечение выпуска продукции.

Технологический объект (ТО) - любой из объектов, в результате взаимодействия которых происходит определение или изменение состояния предмета производства в процессе изготовления изделия.

Целью любого ТР является выполнение при заданных условиях его реализации некоторого множества функций, обеспечивающих достижение заданного уровня значений фиксированного множества параметров.

Функции ТР различных видов разделены на функции оценивания и предписания. Решения, основной функцией которых является оценива-

ние (констатация) состояния некоторой технической системы, названы констатирующими (аналитические и прогностические ТР).

Функцию предписания выполняют рецептурные ТР, имеющие развитую содержательную часть, включающую сведения о некоторой последовательности действий, подлежащих к исполнению или о составе (структуре) системы, обеспечивающей выполнение заданных действий. Рецептурными являются проектные и управляющие ТР. Принципиальным различием констатирующих и рецептурных ТР является то, что первые описывают уже существующую систему ТО, не изменяя ее, в то время как вторые – создают новые ТО, их системы, а также обеспечивают взаимодействие ТО в системах.

Сущность ТР каждого вида раскрыта понятийно.

Аналитическое ТР (А) – высказывание о текущем состоянии ТО или их системы. Принятие А базируется на статических математических или логико-эвристических моделях.

Прогностические ТР (П) – высказывания о состоянии ТО или их системы в будущем – вероятное следствие, выведенное из заданной ситуации. Базируется на динамических моделях ТО.

Проектное ТР(Пр) – описание ТО и их взаимодействий, обеспечивающих достижение заданного множества результатов и их значений, соответствующих фиксированному множеству условий функционирования ТО. Пр можно разделить на две группы:

1. Решения, реализация которых связана с непосредственным изменением объема производства (элементов изделия и изделия в целом). К таким решениям относятся, например, определение структур и параметров ТП операций и переходов; определение режимов обработки, схем установки заготовок, методов изготовления исходных заготовок и т.д.

2. Решения, направленные на создание технических устройств, обеспечивающих реализацию Пр первой группы.

Управляющие ТР(У) принимаются и реализуются в режиме реального времени функционирования некоторого ТО, например, в ходе ТП.

Предложено рассматривать ТР как модифицированную разновидность технических систем (по В.Д.Цветкову), представимую в виде:

$$TR = \langle H, F, S, Z \rangle, \quad (1)$$

где H – множество характеристик системы ТО, описываемой данным ТР, определяющих их взаимодействие с внешней средой (ХВС); F – множество функций, выполняющихся описываемой системой ТО; S – структура системы ТО, описываемая данным ТР; Z – совокупность параметров системы ТО, описываемой данным ТР. Форма системного представления и содержания компонентов ТР зависит от его вида. Для рецептурных она совпадает с (1), констатирующие ТР представимы в виде:

$$TR = \langle H, Z \rangle. \quad (2)$$

Определено понятие структуры ТР. Внутренняя (семантическая) структура ТР отражает структуру описываемой Т-системы и характеризует содержательную сторону решения. Внешняя структура отражает форму (формат) представления ТР, определяющую в каком виде будут представлены его компоненты.

С точки зрения реализации констатирующие и рецептурные ТР неравноценны. Констатирующие решения не ориентированы на непосредственную реализацию. Рецептурные ТР, наоборот, принимаются в расчет на их последующую реализацию.

Процессы формирования констатирующих ТР исследовались на примере А. Принятие А происходит в основном при выполнении следующих задач:

1. Оценка работоспособности ТО по результатам измерений его входных переменных.
2. Оценка работоспособности ТО на основании анализа его моделей.
3. Определение причин нарушения функционирования ТО (задача диагностирования).

Констатирующие ТР могут быть получены в результате ограниченного множества формирующих функций, каждая из которых может реализовываться в самостоятельном модуле автоматизированной системы: определение значений и состава переменных; сравнение значений переменных; моделирование ТО; оценивание; оформление.

Достоверность констатирующего решения – степень объективности отображения его результатами истинного состояния ТО. Достоверность констатирующего ТР характеризуется степенью соответствия результатов выполнения этапов определения и сравнения переменных или моделирования характеру ТО и задач оценивания его состояния, а также правильностью оценивания состояния ТО по результатам сравнения и моделирования. Достоверность констатирующего ТР (D_k) определится:

$$D_k = P(S_m R_m) = P(S_m)P(R_m), \quad (3)$$

где $P(S_m)$ – вероятность полного соответствия математической модели ТО характеру объекта и задаче оценивания его состояния; $P(R_m)$ – вероятность правильной оценки состояния ТО по результатам моделирования. Предложены: методика определения величины D_k ; научно-методическое обеспечение формирования А; внешняя структура (формат) представления для основных задач анализа.

Рецептурные решения исследовались на примере Пр. Для этих решений наиболее приемлемо представление в форме (1). Ситуация принятия Пр может быть описана как система TR^1 :

$$TR^1 = \langle H^1, F^1, S^1, Z^1 \rangle \text{ или чаще } TR^1 = \langle H^1, F^1 \rangle,$$

где H^1, F^1, S^1, Z^1 – компоненты описания ситуации принятия решения, характеризующие желаемый состав и значения соответствующих компонентов желаемого решения. Формирование Пр представимо схемой:

$$\langle H^1, F^1 \rangle \rightarrow S \begin{cases} H^0 \\ Z^0 \end{cases} \quad (4)$$

где индексами помечены компоненты представления Пр в форме (1), соответствующие: "1" – желаемому; "0" – принятому Пр.

Принятое Пр (TR^0) соответствует (1):

$$TR^0 = \langle H^0, F^0, S^0, Z^0 \rangle. \quad (5)$$

Определены условия идеальности и полноты решения. Между множествами H^1 и H^0 могут быть установлены отношения тождественности и эквивалентности, а между множествами F^1 и F^0 – отношения тождественности и принадлежности. Для объектов Пр одного класса эквивалентности между решениями могут быть определены отношения:

1. Тождества: $TR^0_1 \equiv TR^0_2$, если они относятся к одному и тому же объекту Пр и $H^0_1 \equiv H^0_2$; $F^0_1 \equiv F^0_2$; $S^0_1 \equiv S^0_2$; $Z^0_1 \equiv Z^0_2$.

2. Эквивалентности: $TR^0_1 \sim TR^0_2$, если $H^0_1 \equiv H^0_2$, $F^0_1 \equiv F^0_2$, но $S^0_1 \neq S^0_2$, $Z^0_1 \neq Z^0_2$.

3. Подобия: $TR^0_1 \sim TR^0_2$ при $H^0_1 \sim H^0_2$; $F^0_1 \sim F^0_2$.

Для определения подобия ТР разработан математический аппарат. Объект любого функционального класса представим в предикатной форме, например:

ПЕРЕХОД(ИДЕНТИФИКАТОР ПОВЕРХНОСТИ, ТИП ПОВЕРХНОСТИ, ГРУППА ОБОРУДОВАНИЯ, ГРУППА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ГРУППА ИНСТРУМЕНТА, СХЕМА УСТАНОВКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД {ИСХОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА}, {КОНЕЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА});

ОПЕРАЦИЯ (НАИМЕНОВАНИЕ, ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИСПОСОБЛЕНИЕ, {СПИСОК ПЕРЕХОДОВ});

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС (ИДЕНТИФИКАТОР, ТИП ПРОИЗВОДСТВА, КЛАСС ДЕТАЛИ, {СПИСОК ОПЕРАЦИЙ}),

или $A(a_0, a_1, a_2, \dots, \{a_{ij}\}, \dots, \{a_{kl}\}, \dots, a_s)$,

где A - предикатное слово (функциональный класс ТО); a_0 - идентификатор экземпляра объекта; $a_1, \dots, a_s$ - терм (атрибут) символьный; $\{a_{ij}\}, \dots, \{a_{kl}\}$ - множество однородных символьных атрибутов (списков); i, k - идентификаторы списков; $j, \dots, l$ - число элементов в списке. Два различных объекта (В) и (С) одного и того же функционального класса, определяемого предикатным словом A , тождественны, если

$$a_0^B \equiv a_0^C; a_1^B \equiv a_1^C; a_2^B \equiv a_2^C; \dots; \{a_{ij}\}^B \equiv \{a_{ij}\}^C; \dots; a_s^B \equiv a_s^C. \quad (7)$$

Два объекта (В) и (С) одного функционального класса А подобны по атрибуту a_i если:

а) при действительном a_i :

$$|a_i^B - a_i^C| \leq d_i \quad (8)$$

где d_i - значение дистанционной функции (действительное число);

б) при символьном a_i :

$$a_i^B \equiv a_i^C. \quad (9)$$

Степень подобия объектов (S_{BC}):

$$S_{BC} = \frac{P_{BC}}{n}, \quad (10)$$

где P_{BC} - число атрибутов объектов, для которых соблюдаются условия (8),(9); n - общее число сравниваемых атрибутов. Подобие при задании атрибутов списками выполняется, если:

$$\{a_{ij}\}^B \equiv \{a_{ij}\}^C, \text{ или } \{a_{ij}\}^B \sim \{a_{ij}\}^C,$$

где $\sim$ - символ подобия, предполагающий выполнение условий (8),(9) для элементов множеств $\{a_{ij}\}^B$, $\{a_{ij}\}^C$. В общем случае числа элементов списка различны $j_B \neq j_C$. Степень подобия множеств $\{a_{ij}\}^B$ и $\{a_{ij}\}^C$:

$$S_{\{a_{ij}\}^{BC}} = \frac{2k_{BC}}{j_B + j_C}, \quad (11)$$

где k_{BC} - число пар элементов множеств, для которых соблюдаются условия (8),(9); j_{BC} - число элементов сравниваемых множеств для объектов В и С. Итоговое значение степени подобия объектов В и С:

$$S_{BC} = \frac{P_{BC}}{n} \cdot \prod_{r=1}^{r=q} \left(\frac{2k_{BC}}{j_B + j_C} \right)_r, \quad (12)$$

где n - общее число атрибутов каждого из сравниваемых объектов (группа одноименных значений атрибутов считается одним атрибутом); P_{BC} - число атрибутов объектов, для которых выполняются условия (8),(9); $r=1, \dots, q$ - число списков атрибутов; k_{BC} - число пар элементов списков, для которых соблюдаются (8),(9); j_{BC} - число элементов списков, характеризующих объекты В и С.

Технологическое подобие оценивает подобие процессов изготовления деталей на разных уровнях, но может быть применено и для ТО любых функциональных классов.

Подобие операций рассматривается:

а) в содержательном аспекте, когда степень подобия оценивают по формальному содержанию (значениям атрибутов) без учета структурных взаимосвязей технологических переходов;

б) в структурном аспекте, когда степень подобия оценивают с учетом структурных взаимосвязей технологических переходов – прежде всего оценивают место перехода в операции, а затем – содержание перехода

При оценке структурного подобия на основе содержательно подобных переходов сравниваемых операций выполняют генерацию структурно непротиворечивых последовательностей переходов. Если выбрана предыдущая пара содержательного подобных переходов A_{i1} и B_{j1} со степенью подобия S_{i1j1} , а затем последующая пара S_{i2j2} , причем $S_{i1j1} \neq 0$, $S_{i2j2} \neq 0$, то последовательность структурно непротиворечива при

$$(i_1, j_1) \leq (i_2, j_2). \quad (13)$$

Сочетания переходов, не удовлетворяющие (13) не анализируются. Значение степени структурного подобия операций (S_{12}^c) определяют по формуле:

$$S_{12}^c = \frac{2k_{12}}{n_1 + m_2} \cdot \prod_{i=1}^{m_1} \prod_{j=1}^{m_2} (S_{ij}), \quad (14)$$

где n_1 – число переходов операции 1 (множества с большим числом элементов); m_2 – число переходов операции 2; k_{12} – число пар подобных переходов операций 1 и 2; S_{ij} – степень содержательного подобия i перехода операции 1 и j перехода операции 2. Степень структурного подобия сравниваемых ТП (S_n^c) определится:

$$S_n^c = S_m^c \cdot \prod_{\substack{r=1 \\ S=1}}^{bk} (S_{rs}^c), \quad (15)$$

где S_m^c – степень структурного подобия последовательности операций сравниваемых процессов; S_{rs}^c – степень структурного подобия операций сравниваемых процессов; bk – число операций более “короткого” из сравниваемых процессов.

Разработана система оценок подобия ТП, предполагающая их автоматизированное формирование. Оценки подобия могут получаться при использовании кратких и полных изложений (описаний) ТП и их элементов, что предусмотрено действующей системой технологической документации.

Выполнено исследование подобия ТП изготовления деталей, относящихся к различным классам по конструктивно-технологическим признакам. Для деталей, принадлежащих к одному классу, степень подобия ТП составляет 0,63-0,83. Для деталей разных классов степень подобия ТП составляет 0,4-0,63 и менее. Полученные соотношения могут быть использованы при выборе (селекции) Пр, объектами которых являются процессы и их элементы.

Реализация Пр, объектами которых являются ТП и их элементы, осуществима на оборудовании взаимозаменяемых групп. Предложены количественные критерии взаимозаменяемости оборудования и соответствующих ТР на основе разработанной системы оценок подобия. Группы взаимозаменяемого оборудования могут быть сформированы из:

а) оборудования одинаковых групп и типов, различающегося только моделью, ТР тождественны;

б) оборудования разных групп и типов при объединении технологических возможностей разных групп, ТР эквивалентны или подобны, степень технологического подобия составляет 0,7 - 0,9. Подобные Пр могут формироваться и на базе оборудования, не являющегося в общепринятом смысле взаимозаменяемым, степень подобия 0,5-0,7.

Для селекции альтернатив ТР в процессе их формирования разработан критериальный аппарат для основных функциональных классов ТО. Качество формируемых решений предложено оценивать отношением достигнутого значения функции полезности к значению затрат на принятие и реализацию.

В третьей главе изложены результаты разработки методического обеспечения автоматизированного синтеза структур объектов ТР (на примере маршрутных ТП изготовления деталей).

Поддержка ТР требует автоматизации синтеза структур их объектов. Предложена концепция построения системы синтеза маршрутных ТП изготовления деталей, осуществляемого при взаимодействии ее модулей (рис.1).

Разработан метод геометрическо-технологического моделирования, основанный на представлении моделей деталей и заготовок как упорядоченных сочетаний комплексов поверхностей, объединяемых общностью технологии формообразования (Т-комплексов). Каталог Т-комплексов включает более 100 видов последних. Визуализация моделирования, уровневое представление и рассмотрение моделируемого объекта, функциональное разделение поверхностей комплексов, допускаемые предлагаемым методом моделирования, обеспечивают возможность эффективного решения как общих так и частных задач автоматизированного синтеза маршрутных процессов.

Повышению качества синтезируемых маршрутных ТП способствует селекция предварительно генерируемых элементарных маршрутов обработки комплексов (ЭМОК), выполняемая по оригинальной методике, обеспечивающей отбор однородных по заданным критериям маршрутов и приемлемую для автоматизированного синтеза мощность их множества.

Стратегия синтеза маршрутного ТП изготовления детали определяется типом ее производства. Синтез надежно выполняется за два последовательных этапа – макетирования и корректировки маршрута, отражающих приложении к принятию решения принципа неокончательно-

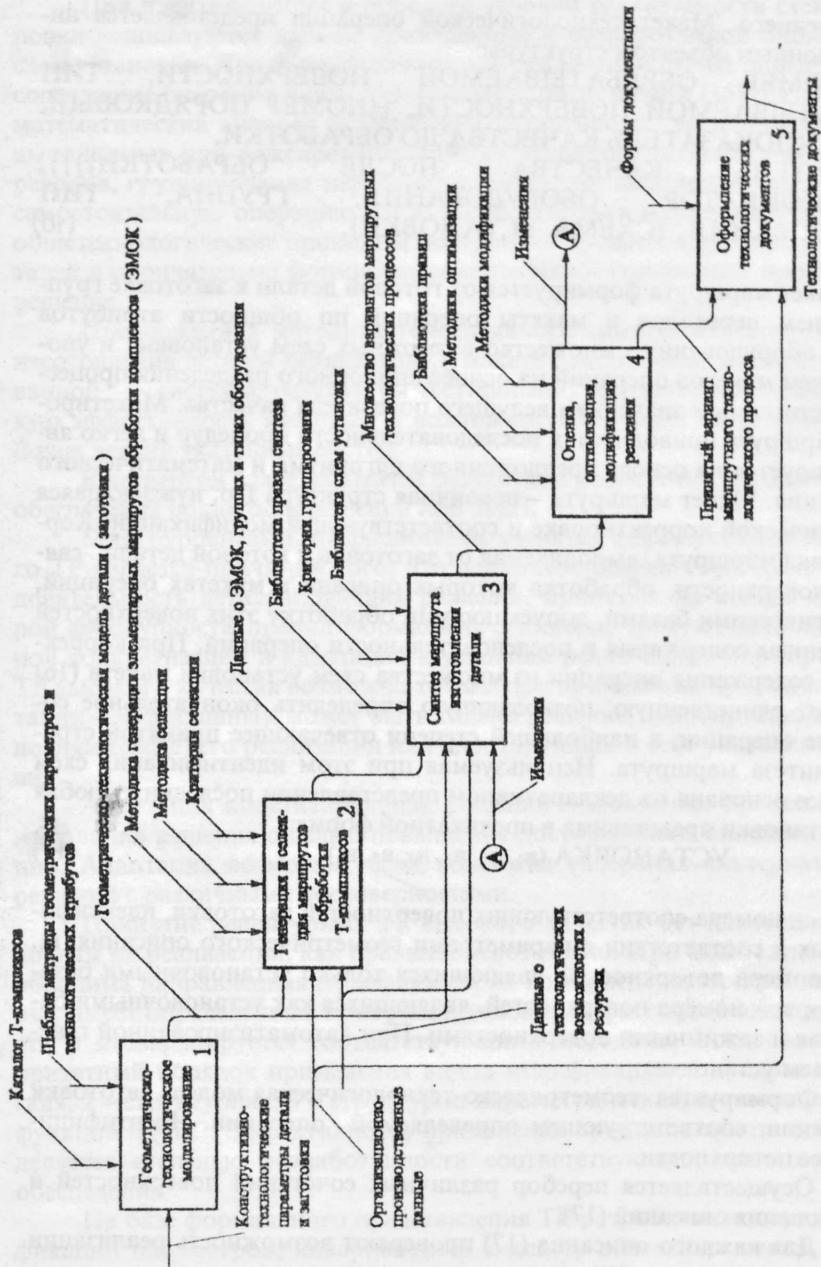


Рис. 1. Концептуальная модель автоматизированной системы синтеза маршрутных технологических процессов изготовления деталей

сти последнего. Макет технологической операции представляется информационным объектом структуры:

{НОМЕР ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ТИП
ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ, {{НОМЕР ПОРЯДКОВЫЙ,
МЕТОД, {ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ДО ОБРАБОТКИ,
ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ}}}},
ИДЕНТИФИКАТОР ОБОРУДОВАНИЯ, ГРУППА, ТИП
ОБОРУДОВАНИЯ, {СХЕМА УСТАНОВКИ}. (16)

Макет маршрута формируется от готовой детали к заготовке группированием переходов в макеты операций по общности атрибутов "группа оборудования - множество возможных схем установки" и упорядочением макетов операций на основе априорного разделения процесса по достигаемым значениям ведущего показателя качества. Макетирование маршрута приводится к последовательности процедур и легко автоматизируется на основе предложенного алгоритма и математического обеспечения. Макет маршрута – первичная структура Пр, нуждающаяся в семантической корректировке и соответствующей модификации. Корректировка маршрута, выполняемая от заготовки к готовой детали, связывает поверхности, обработка которых описана в макетах операций, технологическими базами, допускающими обработку этих поверхностей с изменением содержания и последовательности операций. При корректировке содержания операции из множества схем установки макета (16) выбирают единственную, позволяющую определить окончательное содержание операции, в наибольшей степени отвечающее принятой стратегии синтеза маршрута. Используемая при этом идентификация схем установки основана на декларативном представлении последних. Любая схема установки представима в предикатной форме:

УСТАНОВКА ($v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$), (17)

где $v_1, \dots, v_6$ – номера соответствующих поверхностей заготовки, идентифицируемых в соответствии с параметрами геометрического описания; v_1, v_2, v_3 – номера поверхностей, являющихся только установочными базами; v_4, v_5, v_6 – номера поверхностей, являющихся как установочными базами, так и зажимными поверхностями. При автоматизированной генерации схем установки:

1. Формируется геометрическо-технологическая модель заготовки в состоянии, соответствующем определяемой операции. Идентифицируются ее поверхности.

2. Осуществляется перебор различных сочетаний поверхностей и формирования описаний (17).

3. Для каждого описания (17) проверяют возможность реализации схемы.

При идентификации и проверке условий реализуемости схем установки используются данные приведенные в разработанной библиотеке схем установки. Для каждой возможной реализации схемы определяется содержание операции с использованием данных макета (16). Разработан математический аппарат формального определения выполнимых и невыполнимых при фиксированной схеме установки технологических переходов, группирования переходов в операции, выделения переходов в самостоятельную операцию и т.д. Корректировка маршрута учитывает общетехнологические принципы построения процессов изготовления деталей и окончательно формирует семантическое содержание проектного решения.

Предложенная методика генеративного синтеза маршрутных ТП изготовления деталей реализована в макете одноименной автоматизированной системы, результаты тестирования которого показали высокую эффективность методики и возможность создания на ее основе рабочих версий указанных систем.

В четвертой главе изложены результаты разработки методического обеспечения поддержки решений при ТПП.

Многоуровневый, итерационный характер формирования сложного ТР является причиной того, что первичное решение или даже последовательность детализирующих решений, принятых на основе некоторой совокупности правил формального вывода, требуют дополнительной конкретизации и адаптации к условиям реализации. Формирование ТР высокого качества возможно только при применении принципа адаптации – эффективным может быть только решение, адаптированное к условиям (среде) его реализации или адаптирующее к себе указанные условия.

Адаптация констатирующих решений – изменение процесса формирования решения с целью повышения достоверности описания ситуации. Адаптация возможна, если возможна генерация альтернативных решений с различными достоверностями.

Принятие рецептурных ТР высокого качества без адаптации к условиям их реализации, как правило, невозможно. При адаптации Пр необходима направленная модификация их компонентов, каждый из которых имеет определенный приоритет, условия эффективной адаптируемости и модифицируется соответствующими методами. Установлен приоритетный порядок применения видов модификации: 1 – параметрическая; 2 – структурная; 3 – структурно-параметрическая; 4 – модификация функций и ХВС. Эффективность применения принципа адаптации определяется степенью разработанности соответствующего методического обеспечения.

На базе формального представления ТР разработан аппарат модификации параметров, инвариантный к классу объекта решения. После выявления состава изменяющихся параметров ТР и диапазонов измене-

ния каждого из них определяют направление целесообразного изменения параметров с целью поиска наиболее рационального их сочетания, обеспечивающего заданное значение целевой функции решения. Рассмотрены технологические примеры.

Структурно-параметрическая модификация ТР – направленное изменение структуры, параметров и структурно-параметрических характеристик объекта решения. Возможность, эффективность и выбор метода модификации структуры ТР определяются соответствием структуры его первичного варианта (S_1^0) функциональной структуре (S_Φ) – минимально достаточной для выполнения заданного множества функций (F^I). Учитывая, что S_Φ в большинстве случаев неизвестна, оценку соответствия структур S_1^0 и S_Φ в работе предложено выполнять приближенно, на основе декомпозиции множества функций F^I и структуры S_1^0 .

$$\begin{aligned} F^I &= \{f_1^I, \dots, f_n^I\} \rightarrow \{\{e_i\}_\Phi, \dots, \{e_n\}_\Phi\} \equiv E_\Phi; \\ S_1^0 &\equiv \{\{e_i\}_1, \dots, \{e_m\}_1\} \equiv E_1, \end{aligned} \quad (18)$$

где $f_1^I, \dots, f_n^I$ – элементы множества функций; E_Φ – множество множеств $\{e_i\}_\Phi$ элементов, обеспечивающее выполнение частных функций, соответствующих определенному уровню декомпозиции F^I ; E_1 – множество множеств $\{e_i\}_1$ элементов декомпозиции структуры S_1^0 того же уровня. Сравнение реализаций систем, представленных структура S_1^0 и S_Φ подобно сравнению реализаций множеств элементов E_1 и E_Φ : $R(S_1^0, S_\Phi) \sim R(E_1, E_\Phi)$. В зависимости от того, является ли по отношению к S_Φ структура S_1^0 избыточной, недостаточной или избыточно-недостаточной, выбирают метод модификации структуры S_1^0 : подобия элементов; синтеза элементов; синтеза фрагментов структуры; синтеза функциональной структуры.

Основой всех ТР, принимаемых при ТПП и предназначенных для реализации в конкретной производственной системе (ПС) является рационально подобранная в соответствии с возможностями данной ПС номенклатура выпускаемых изделий и, в частности, деталей. Подбор номенклатуры исключительно важен при переспециализации, техническом перевооружении, перепрофилировании и конверсировании машиностроительного производства.

Предложено решение этой задачи в начальной фазе ТПП с использованием разработанной системы оценок технологического подобия. При известных – составе средств технологического оснащения и данных о иных ресурсах ПС; конструктивно-технологических параметрах выпускаемых деталей и ТП их изготовления, оценивалась возможность выпуска данной системой ранее не изготавливавшихся деталей с заданными конструктивно-технологическими параметрами. Разработан ряд методов формирования первичных групп деталей.

В первом из предложенных подходов для каждого изделия (j) определяют коэффициент значимости $K_{3и(0)}$:

$$K_{3и(0)} = \frac{N_j^n \cdot T_j^n}{\sum_{j=1}^z N_j^n \cdot T_j^n}, \quad (19)$$

где N_j^n – объем выпуска j изделия; T_j^n – трудоемкость выпуска единицы изделия (по всем переделам); z – число изделий, детали которых выпускаются в производственной системе. Изделия ранжируются по $K_{3и(0)}$. Выделяют наиболее значимую деталь D_h наиболее значимого изделия, которую принимают за базовую. Определяют степень подобия процессов из списка планирующихся к реализации базовому. Принцип предварительного группирования деталей: в группу входят детали, степень технологического подобия (S_{kh}) которых с деталью D_h больше или равна заданной (граничной) S_r .

Деталь $D_k \in q$, если

$$S_{kh} \geq S_r, \quad (20)$$

где q – номер группы деталей, формируемой на основе технологического подобия с базовой D_h . При нарушении условия (20) среди оставшихся деталей вновь определяют наиболее значимую, принимают ее за базовую и формируют новую группу. Если (20) выполняется не для всех групп деталей, то

а) снижают S_r с оговоренным снижением качества ТР;

б) передают детали, для которых не выполняется (20) в другие производственные системы. Сформированные группы сортируют по критерию $(\max_{j=1}^{P_q} \sum_{j=1}^{P_q} T_j \cdot N_j)$, где P_q – число деталей в группе q. Далее, в соответствии с разработанным алгоритмом осуществляют размещение деталей в производственной системе по группам оборудования с учетом временных ресурсов каждой группы и взаимозаменяемости оборудования по технологическим возможностям.

Второй метод основан на определении полной матрицы технологического подобия для процессов, планирующихся к реализации в ПС $[u,v]$, где S_{uv} – значение степени подобия процесса P_u процессу P_v ; $u=1, \dots, p$; $v=1, \dots, p$; p – число процессов в списке. В матрице аналогично описанному по критерию $\max \{T_j N_j\}$ выделяется строка соответствующая базовой детали D_h группы. В одну группу с ней включаются детали, у которых $S_{\cdot,h} \geq S_r$, или $S_{h,\cdot} \geq S_r$. В матрице $[S_{u,v}]$ удаляют соответствующие элементы, а для оставшихся повторяют описанные процедуры. Базовая деталь может определяться и по критерию $(\max \sum S_{\cdot,\cdot})$, в этом случае она наиболее подобна деталям списка.

Выбранный ТП можно считать базовым, если в единичных ТП изготовления деталей группы присутствуют (представлены) более половины его операций, то есть

$$S_r = \frac{a}{a + b}, \quad (21)$$

где a – число операций базового процесса; b – число операций сравниваемого процесса. Для каждой пары сравниваемых процессов значение S_r будет своим “плавающим” и не может быть назначено единым для всех формируемых групп. Введение переменного “плавающего” значения S_r изменяет процедуру формирования групп. Наряду с матрицей $[S_{u,v}]$ формируют матрицу $[S_r]$ той же структуры. Процесс P_u может быть базовым для процесса P_v при $S_{u,v} \geq S_r$. Выделенные группы могут быть ранжированы по приоритетности и размещаться в ПС с учетом ее временных ресурсов в соответствии с разработанным алгоритмом.

Номенклатура деталей может формироваться на основе технологической истории ПС. Исходят из существующей (сложившейся) разбивки деталей по технологическим группам. В каждой группе определяется представительная степень подобия, отражающая степень подобия (близости) ТП изготовления деталей, входящих в группу.

Составляются матрицы подобия реализованных и предлагаемых ТП, а также их граничных значений. После проверки условия группирования выполняется проверка возможности включения детали в соответствующую группу: предлагаемая деталь может быть включена в существующую группу, если степень подобия ее с базовой деталью группы больше значения соответствующей представительной степени подобия. Списку деталей, планирующих к изготовлению ставится в однозначное соответствие список максимальных значений степени подобия каждой из деталей с деталями существующих групп. Это позволяет установить приоритетность реализации в ПС соответствующих ТП.

При относительно небольшом числе реализованных и планирующихся к реализации ТП может быть использован разработанный экспресс-метод определения очередности и предпочтительности к реализации в данной ПС выделенного множества ТП.

Применение предложенных методов формирования первичных групп технологически подобных деталей в начальной фазе ТПП позволяет сократить трудоемкость ПТЦ и соответствующие затраты не менее чем на 10% - 15%.

В пятой главе рассмотрено методическое обеспечение поддержки решений при их реализации.

Принятые рецептурные решения реализуются в производстве. Качество сформированных при ТПП решений на этапе производства может снижаться вследствие влияния дестабилизирующих факторов. Штатная (расчетная) реализация Пр обеспечивает выполнение заданного множе-

ства функций при заданных диапазонах изменения значений выходных характеристик, если значения входных характеристик решения находятся в допустимых диапазонах изменения. Качество реализующихся решений может быть обеспечено их модификацией путем изменения характеристик взаимодействия их объекта с внешней средой, параметров, при одновременном изменении их структур и функций. Конкретные условия применения методов определяются с помощью разработанного аппарата формального представления ТР и их трансформации при модификации.

Модификация структур и функций реализующихся решений эффективны при наличии у производственной системы резерва ресурсов по технологическим возможностям и времени загрузки средств оснащения, а также автоматизации синтеза структур объектов решений.

При описании реализующихся Пр применим аппарат структурного анализа, позволяющий представление решения на выбранном уровне декомпозиции. Для штатно реализованного до функции F_i решения (рис.2.а):

$$H_i^I = (H^I)_i; UH_{*,i}^{OI}; H_i^O = (H^O)_i; UH_{*,i}^{OI}.$$

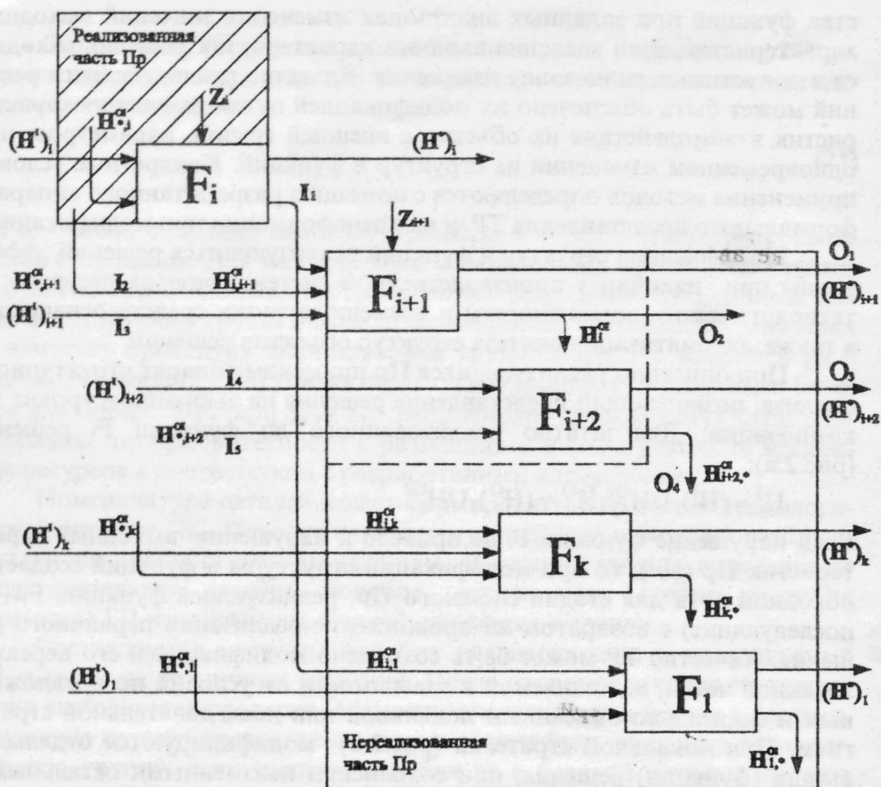
Если нарушение функции F_i не привело к нарушению выходных характеристик Пр (H_i^O), то при модификации структуры и функций создается обходной путь для стадии сложного Пр, реализующей функцию F_{i+1} (и последующие) с возвратом на продолжение реализации первичного решения. Качество ТР может быть сохранено модификацией его нереализованной части, выполняемой в зависимости от условий по предложенным и формально описанным локальной или последовательной стратегиям. При локальной стратегии (рис.2.б) модифицируются отдельные стадии (функции) решения, при сохранении неизменными остальных и выходных характеристик нереализованной части. Последовательная стратегия (рис.2.в) предусматривает, при необходимости, совместную модификацию функций $F_{i+1}; F_{i+1}, F_{i+2}; F_{i+1}, \dots, F_k; \dots$.

При модификации структуры и функций стадии может изменяться ее состав, связи между отдельными решениями, разделяться и добавляться функции, но сохраняются стабильными множества входных и выходных характеристик модифицируемой стадии. Выполняют замену части реализуемого Пр его новым продолжением, обеспечивающим в совокупности с его немодифицированными стадиями заданные выходные характеристики взаимодействия объекта решения с внешней средой.

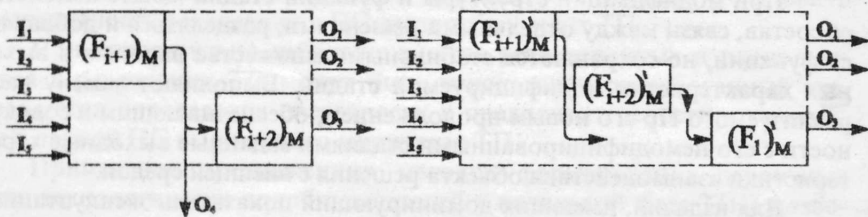
Для изделий, имеющих доминирующий показатель эксплуатационного качества (E_n), он определяется значением соответствующей целевой функции (E):

$$E = E(h_1, \dots, h_q) : j=1, \dots, q; H_j^o \in H^o, \quad (22)$$

где $h_1, \dots, h_q$ – достигнутые значения выходных характеристик решения $H_1^o, \dots, h_q$; q – число характеристик; H^o – множество выходных характери-



а)



б)

в)

Рис. 2. Схема к определению стратегии модификации Pr при его реализации : а) связи в реализующемся Pr ; б) локальная стратегия модификации ; в) последовательная стратегия модификации .

стик реализующегося решения. При фиксированных значениях h_j (22) определяет E_n . Для частично реализованного Пр может быть определено ожидаемое значение показателя эксплуатационного качества $\bar{E}_n$:

$$\bar{E}_n = E(\bar{h}_1, \dots, \bar{h}_i; [\tilde{h}_k], \dots, [\tilde{h}_q]), \quad (23)$$

где $\bar{h}_{1, \dots, i}$ – достигнутые при реализации решения значения элементов H_j^0 ; $[\tilde{h}_k], \dots, [\tilde{h}_q]$ – допустимые значения элементов H_j^0 нереализованной части Пр. Если $\bar{E}_n \in [E_n]$, то определяют модифицированные значения $(\tilde{h}_n)_m$ элементов H_j^0 нереализованной части решения такие, что:

$$(\bar{E})_m = E(\bar{h}_1, \dots, \bar{h}_i, (\tilde{h}_k)_m, \dots, (\tilde{h}_q)_m) \in [E_n], \quad (24)$$

Совокупность значений элементов реализованной и нереализованной частей Пр обеспечит достижение допустимого значения целевой функции $[E_n]$.

При нарушении штатной реализации Тр и несоответствии полученных выходных характеристик заданным, для изделий, у которых возможно выделение доминирующих показателей эксплуатационного качества обеспечение последних осуществляется модификацией нереализованной части решения в сочетании с направленным изменением его выходных характеристик (рис.3) по условной схеме:

$$!! \rightarrow h \rightarrow \bar{h}; \tilde{h} \rightarrow \bar{h}; [\tilde{h}] \rightarrow \bar{h}; \tilde{h}_m.$$

Выполнение (24) обеспечивается.

Как практическое приложение выполненных разработок рассмотрена поддержка ТР при обеспечении качества изделий, обладающих доминирующими показателями – эксплуатационного качества, эксплуатационными характеристиками (ЭХ), на примере разрушаемых деталей (РД) однократного применения. Установлено, что применение предварительно сформированных и неизменяемых в дальнейшем Пр не способно стабильно обеспечивать заданные ЭХ деталей при изменении свойств исходных заготовок и других факторов производственной ситуации. Для РД стержневого типа диаметром 8-12 мм, работающих на срез и растяжение, выполненных из сталей 12Х18Н10Т и 40Х, отклонение усилий разрушения составляет в существующей практике $\pm 10\% \pm 30\%$. Для разрывных предохранительных мембран толщиной 0,5-0,6 мм, выпоенных из стали 12Х18Н10Т, отклонения фактических значений давлений срабатывания от заданных (2,0 МПа) составляет 60%-70%. Такие отклонения не обеспечивают необходимой эксплуатационной надежности рассматриваемых деталей.

Установлено, что изменяемые геометрические параметры (ГП) и показатели качества (ПК), структура и параметры ТП (Пр) изготовления деталей с заданными ЭХ должны определяться и корректироваться индивидуально каждой заготовки в зависимости от производственной ситуации. Применимы критериальные модели (22) в форме:

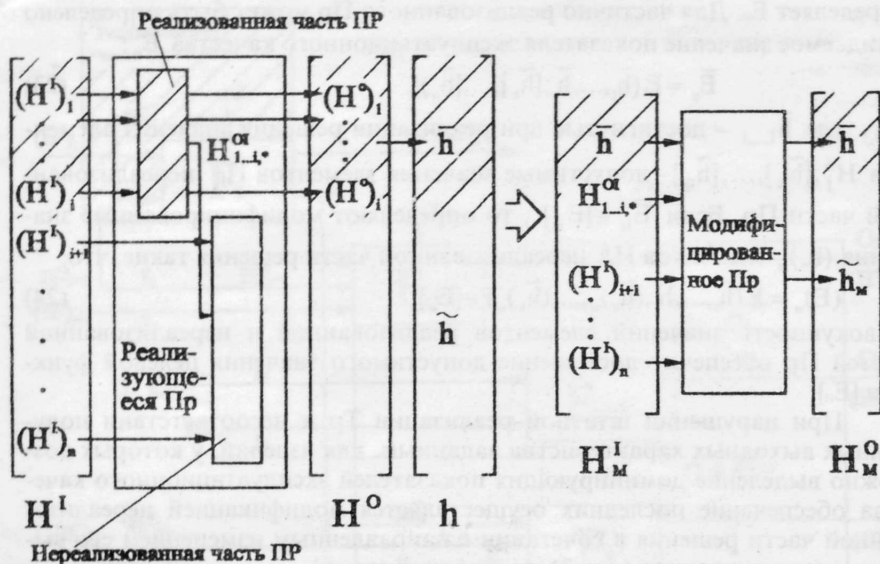


Рис. 3. Схема модификации частично реализованного Пр

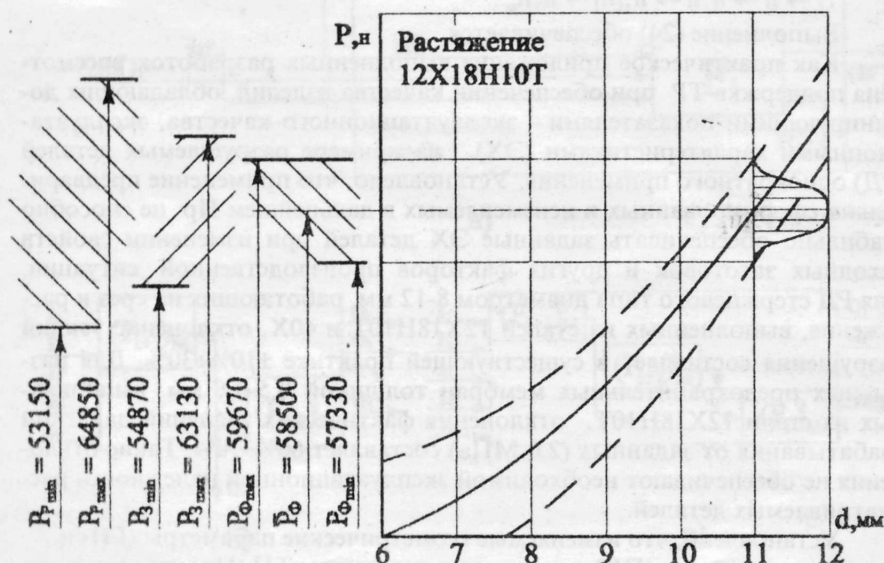


Рис. 4. Изменение разрушающих усилий PD стержневого типа :

$P_{\min, \max}$ - значения фактических разрушающих усилий без применения системы обеспечения ЭХ ; $R_{\min, \max}$ - заданные значения усилий ;
 $P_{0\min, \max}$ - значения фактических разрушающих усилий при применении системы обеспечения ЭХ.

$$E_* = \sum_{i=1}^{i=\mu} \left(\frac{[ГП]_i}{(ГП)_i} \right)^{\xi} \cdot \varphi_i + \sum_{j=1}^{j=\gamma} \left(\frac{[ПК]_j}{(ПК)_j} \right)^{\xi} \cdot \omega_j, \quad (25)$$

где $(ГП)_i$ – значение варьируемых ГП детали ($i=1, \dots, \mu$); $(ПК)_j$ – значение варьируемых ПК детали, ($j=1, \dots, \gamma$); φ_i, ω_j – коэффициенты чувствительности целевой функции к изменениям ГП и ПК; $\xi = +1$ при уменьшении по модулю значений ГП и ПК, $\xi = -1$ – в противном случае. $0 \leq \varphi_i \leq 1$;

$$0 \leq \omega_j \leq 1; \quad \sum_{i=1}^{i=\mu} \varphi_i + \sum_{j=1}^{j=\gamma} \omega_j = 1.$$

Разработаны и успешно внедрены в производство проблемноориентированные системы обеспечения ЭХ РД, использующие единую методологическую и алгоритмическую базу формирования и модификации Пр, надежность обеспечения ЭХ в которых достигается полнотой информационного сопровождения, позволяющего определять ожидаемое качество детали и оптимальные параметры процесса ее изготовления.

На первом этапе реализации предложенного подхода проведен анализ ГП и ПК РД, определяющих ЭХ и сформирована библиотека моделей взаимосвязи ГП, ПК и ЭХ, а также модели взаимосвязи основных характеристик физико-механических свойств материалов.

Каждой конкретной заготовке РД соответствует индивидуальный набор значений характеристик физико-механических свойств, которому соответствует определенный состав и последовательность применения технологических факторов, в совокупности обеспечивающих такое сочетание ГП и ПК, при котором достигаются заданные ЭХ. У поступающей заготовки по определенной стратегии измеряется микротвердость материала. В зависимости от ее значений по моделям информационного обеспечения находят ожидаемые значения характеристик физико-механических свойств и усилий разрушения (ЭХ) при номинально заданных ГП и ПК, обеспечиваемых при заданном (штатном) технологическом процессе. Если ЭХ не обеспечивается, то задав желаемое значение последнего по соответствующим моделям находят варьируемые значения ГП и ПК достижение которых гарантированно обеспечивает ЭХ. Для достижения указанных ГП и ПК используют модифицируемый, избыточный по сравнению со штатным технологический маршрут.

Применение разработанных систем позволило: для РД стержневого типа устойчиво обеспечить отклонение усилий разрушения в пределах $\pm 2,5\% \div \pm 4,0\%$ (рис.4); для разрывных предохранительных мембран снизить разброс фактических значений давления срабатывания от заданного до 14% - 18%.

ОБЩИЕ ВЫВОодЫ

1. Создана научно-методическая база разрешения крупной, актуальной научной проблемы автоматизации поддержки технологических решений, принимаемых и реализующихся производственно-технологическом цикле, охватывающем технологическую подготовку производства и этап изготовления изделия машиностроения.

2. Технологические решения связаны с определением или изменением состояния предмета производства и достаточно для их автоматизированной поддержки формально представимы описанием их объекта: характеристиками взаимодействия с внешней средой, функциями, структурой, параметрами. Состав и содержание компонентов представления определяются видом и объектом решения.

3. Возможности автоматизированной генерации и селекции проектных технологических решений расширяются при использовании отношений эквивалентности и подобия компонентов их представления и решений в целом, а также формального аппарата оценки подобия технологических объектов по составу и структуре, впервые предложенных в работе.

4. Поддержка проектных технологических решений требует автоматизации синтеза структур их объектов, оригинальное методическое обеспечение которой в приложении к синтезу маршрутных технологических процессов изготовления деталей представлено в работе. Реализованную концепцию синтеза отличают: метод геометрическо-технологического моделирования предметов производства, позволяющий их уровневое представление и рассмотрение, а также разработанная 2-х этапная стратегия синтеза, предусматривающая макетирование и корректировку формируемого решения.

5. Важнейшим методическим принципом автоматизированного формирования технологических решений является принцип адаптации: эффективным может быть только решение, адаптированное к условиям (среде) его применения или адаптирующее к себе указанные условия. Автоматизированное формирование решений прямым выводом – без адаптации к условиям применения, не может обеспечить требуемого для производства качества сложных решений. Каждый компонент решения имеет определенный приоритет, условия эффективной адаптируемости и направленно модифицируется соответствующими методами из множества последних, процедурно разработанных в ходе исследования для применения в автоматизированных системах.

6. Применение оценок технологического подобия и разработанных на их основе методов формирования групп технологически подобных деталей в начальной фазе технологической подготовки производства и формировании номенклатуры изделий, планирующихся к выпуску в производственной системе фиксированной структуры и состава средств

технологического оснащения (конверсия, перепрофилирование, переспециализация предприятий), позволяет автоматизировать указанный процесс, обеспечить преемственность технологических решений, учесть ресурсы и положительный опыт решений, образующих технологическую историю системы, снизить длительность производственно-технологического цикла и затраты на проектирование процессов и изготовление деталей не менее чем на 10%-15%.

7. Качество реализующегося технологического решения при нарушении условий его штатной реализации может быть обеспечено модификацией его нереализованной части в сочетании с направленным изменением его выходных характеристик, методы и стратегии которых разработаны в ходе исследования.

8. Применение предварительно сформированных и неизменяемых в дальнейшем проектных решений неспособно стабильно обеспечивать заданные доминирующие показатели эксплуатационного качества деталей (эксплуатационные характеристики) при изменении производственной ситуации. Изменяемые геометрические параметры и показатели качества, структура и параметры технологического процесса изготовления детали с заданными эксплуатационными характеристиками должны определяться индивидуально для каждой заготовки в зависимости от производственной ситуации и заданных эксплуатационных характеристик.

9. Разработанные на созданной научно-методической базе и внедренные в производство системы обеспечения эксплуатационных характеристик разрушаемых деталей однократного применения позволили уменьшить поле рассеяния доминирующего показателя эксплуатационного качества – усилия разрушения в 4-7 раз и обеспечить отклонение характеристик от расчетных не более чем на 5%-7%.

Содержание диссертации отражено в следующих работах .

1. Волков О.Ю., Кондаков А.И. Использование метода псевдообращения матриц при решении технологических задач //Изв.ВУЗов. Машиностроение. - 1983. - №5. - С.151 - 153.

2. Кондаков А.И., Ястребова Н.А. Технико-экономическое обоснование выбора варианта обработки при контурном фрезеровании на станках с ЧПУ // Изв.ВУЗов. Машиностроение. - 1983. - №6. -С.131 - 135.

3. Волков О.Ю., Кондаков А.И. Применение процедур распознавания образов при создании типовых технологических процессов в гибком производстве // Прогрессивные методы обработки и автоматизация в машиностроении. Тез.докл.Республиканской научно-практической конференции - Душанбе, 1983. - С.92.

4. Кондаков А.И., Ястребова Н.А. Технико-экономические критерии оптимальности технологических процессов // Изв.ВУЗов. Машиностроение. - 1987. -№1. - С.119 - 123.

5. Технология компрессоростроения: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Холодильные и компрессорные машины и установки" / Н.А.Ястребова, А.И.Кондаков, В.Д. Лубенец и др. - М.: Машиностроение, 1987. - 336 с.: ил.

6. Кондаков А.И. Векторная интерпретация технологических процессов и синтез их структур // Изв.ВУЗов. Машиностроение. -1987. -№8. - С.111-115.

7. Кондаков А.И., Щемелев А.В. Поверхностно-пластическое деформирование конструкционных материалов в условиях ультразвукового поля // Конструктивно-технологические методы повышения надежности и их стандартизация: Тез.докл. Всесоюз.науч.- техн. конф. - Тула, 1988. - Ч.1. - С. 46.

8. Кондаков А.И., Волков О.Ю. Модель обеспечения технических условий изготовления деталей в автоматизированном производстве // Изв. ВУЗов. Машиностроение. -1988.- №7. - С.115 - 119.

9. Кондаков А.И., Илюшкин А.М., Маштаков А.В. О выборе баз и приспособлений при проектировании технологических процессов // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1988. - №11. - С.137 - 141.

10. Волков О.Ю., Кондаков А.И., Бимендиев А.Ш. Технологическое управление технологическими характеристиками разрушаемых деталей // Оптимизация технологических процессов по критериям прочности: Межвуз. науч.сб. - Уфа, 1988. - С. 31-37.

11. Кондаков А.И. Адаптация технологических процессов при обеспечении качества продукции в автоматизированном производстве // Труды МВТУ. - 1989. - №518. - С.68 - 87.

12. Волков О.Ю., Кондаков А.И., Бимендиев А.Ш. Исследование технологии изготовления разрушаемых деталей // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1989. - №3. - С.146 - 149.

13. Кондаков А.И., Волков О.Ю., Щемелев А.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик разрушаемых деталей стержневого типа // Прогрессивная технология механосборочного производства: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1989. - С. 12 - 13.

14. Кондаков А.И., Маштаков А.В. Автоматизированный синтез маршрутов изготовления деталей // Прогрессивная технология механосборочного производства: Сб. статей. - М., 1989. - С. 76 - 92.

15. Кондаков А.И., Щемелев А.В. Адаптация технологических процессов при обеспечении качества разрушаемых деталей стержневого типа // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1990. - №4. - С. 147 - 151.

16. Кондаков А.И., Маштаков А.В. К вопросу об автоматизации выбора исходных заготовок // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1990. - №5. - С. 129 - 133.

17. Кондаков А.И. Развитие и современное приложение основ построения технологических процессов // Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф., посвященной 100-летию В.М.Кована. - М., 1990. - С. 3 - 7.
18. Техническое обслуживание и ремонт компрессоров / Н.А.Ястребова, А.И.Кондаков, Б.А. Спектор. - М.: Машиностроение, 1991. - 240 с.: ил.
19. Эффективность работы машиностроительного предприятия в условиях рынка / Курамжин В.А., Кондаков А.И., Спектор Б.А. и др. - М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1991. - 61 с.
20. Кондаков А.И., Мартынов И.Я. разработка концепции автоматизированного синтеза структур технологических процессов // Труды МВТУ. - 1992. - №559. - С.63 - 73.
21. Мухин А.В., Кондаков А.И. Концепция активного использования технологических знаний // Вестник МГТУ. Приборостроение. - 1992. - №4. - С.63 - 71.
22. Дальский А.М., Васильев А.С., Кондаков А.И. Технологическое наследование направленное формирование эксплуатационных свойств изделий машиностроения // Изв.ВУЗов. Машиностроение. - 1996. - №10 - 12. - С.70 - 76.
23. Кондаков А.И. Электрофизические и электрохимические методы обработки при адаптации проектных технологических решений // Современная электротехнология в машиностроении: Тез. докл. Всероссийской научн.-техн. конф. - Тула, 1997. - С.364.
24. Кондаков А.И. Структурное наследование и подобие технологических объектов // Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1997. - №2. - С.89 - 95.
25. Технология машиностроения: В 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М.Бурцев, А.С.Васильев, А.М.Дальский и др.; Под ред. А.М.Дальского - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1997. - 564 с.,ил.
26. Кондаков А.И., Подгайский Д.В. Геометрическо-технологическое моделирование предметов производства в генеративных САПР ТП // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1997. - №4 - 6. - С. 90 - 95.
27. Кондаков А.И., Островский Ю.А. Выбор схем установки заготовки и станочных приспособлений в генеративных САПР ТП // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1997. - №4 - 6. - С. 97 - 104.
28. Дальский А.М., Кондаков А.И., Васильев А.С. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства // Производственные технологии / Ред.кол.: Э.М. Соколов, В.В.Качак и др. - Липецк: Липецкое издательство, 1997. - С. 42 - 44. (Программа "Конверсия и высокие технологии. 1997 - 2000 годы").
29. Кондаков А.И. Технологические решения и оценивание их качества // Изв. ВУЗов. Машиностроение, - 1997. - №10 - 12. - С. 71- 77.

30. Кондаков А.И. Поддержка констатирующих решений на производственных этапах жизненного цикла изделия // Компьютерная хроника. - 1998. - №4. - С. 53 - 63.

31. Кондаков А.И. Обеспечение качества технологических решений при их реализации // Компьютерная хроника. - 1998. - №6. - С. 5 - 13.

32. Кондаков А.И., Васильев А.С. Системное моделирование взаимодействий в технологических средах // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1998. - №4 - 6. - С. 92 - 100.

33. Разработка методологии автоматизированного генеративного синтеза маршрутных технологических процессов изготовления деталей. Отчет НИР (заключительный) / МГТУ; рук. А.И.Кондаков, №ГР 01980004461; Инв.№ 02980003713. - М., 1997, - 176 с.

34. Кондаков А.И. Автоматизация принятия технологических решений и обеспечение качества изделий машиностроения // Проблемы повышения качества промышленной продукции: Сб. трудов 3-ей междунар. научн.-техн. конф. - Брянск, 1998. - С. 104-106.

35. Кондаков А.И. Поддержка технологических решений при обеспечении качества деталей с заданными эксплуатационными характеристиками // Компьютерная хроника. - 1998. - №11. - С. 53-63.

36. Технология машиностроения: В2т.Т.2. Производство машин: Учебник для вузов / В.М.Бурцев, А.С.Васильев, О.М.Деев и др.; Под ред. Г.Н.Мельникова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1998. - 640 с.

37. Кондаков А.И. Автоматизация поддержки технологических решений на производственных этапах жизненного цикла изделий машиностроения // Машиностроительные технологии: Тез. докл. Всероссийской научн.-техн. конф. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1998. - С. 167-168.

38. Кондаков А.И., Васильев А.С. Проектирование маршрутов изготовления деталей с учетом технологического наследования // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1998. - №10-12. - С. 31-40.

39. Кондаков А.И. Методическая база обеспечения качества разрушаемых деталей однократного применения // Машиностроитель. - 1999. - №4. - С. 72-75.

40. Дальский А.М., Кондаков А.И., Васильев А.С. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства // Вестник машиностроителя. - 1999. - №3. - С. 45-48.

41. Разработка методологических основ перепрофилирования машиностроительных производств: Учебное пособие / А.М.Дальский, А.И.Кондаков, А.В.Мухин, А.С.Васильев. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. - 95 с. ил.