

УДК 621.9.02 – 229  
На правах рукописи

Мешков Роман Борисович

**СОКРАЩЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА  
ДЕТАЛЕЙ ПРИ СОВМЕЩЕННОМ КОНСТРУКТОРСКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Специальности: 05.02.08 – Технология машиностроения  
05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и  
производствами (машиностроение)

Автореферат диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Москва – 2009

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Кондаков Александр Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Митрофанов Владимир Георгиевич  
кандидат технических наук, доцент  
Баскаков Владимир Дмитриевич

Ведущее предприятие: Тульский государственный университет

Защита состоится 27 мая 2009 г. в 14.30 на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в 1 экземпляре, заверенный печатью, просим высылать по указанному адресу.

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

Автореферат разослан 2 апреля 2009 г.

Телефон для справок (499) 267-09-63

Ученый секретарь совета  
д.т.н, доцент

Михайлов В.П.

**Актуальность работы.** Для создания конкурентоспособных изделий машиностроения в технической подготовке их производства с 80-х годов 20 века в промышленно развитых странах стало применяться совмещенное (параллельное) проектирование. Совмещенное проектирование, базирующееся на использовании автоматизированных систем и информационных технологий, направлено на объединение процессов конструкторской и технологической подготовки производства (ТПП). Применение совмещенного проектирования при технической подготовке производства на предприятиях США и Западной Европы позволило сократить длительность разработки машин до 30...50%, а величину брака готовых изделий на 80...85% по сравнению с традиционным последовательным проектированием.

Автоматизированная техническая подготовка производства современных отечественных машин принципиально сохраняет последовательный характер. Использование отечественными предприятиями систем автоматизированного проектирования конструкций (САПР-К) и технологических процессов (САПР ТП) позволяет ускорить подготовку производства машин и их элементов (сборочных единиц, деталей). Однако возможности данных систем позволяют совмещение этапов подготовки производства лишь функционально независимых агрегатов и узлов машин. Технологический процесс (ТП) изготовления детали разрабатывается в современных САПР ТП только при наличии полной информации о конструкции. Совмещенное проектирование в подготовке производства деталей машин должно предоставлять возможность разработки маршрутных ТП их изготовления до получения полной информации об их конструкции. Это ведет к существенному сокращению длительности подготовки производства, позволяет снизить число ошибок в конструкции, повысить эффективность взаимодействия конструкторов и технологов. Проблематика совмещенной подготовки производства деталей заключается, прежде всего, в определении информации об их конструкции, минимально необходимой для формирования проектных технологических решений (ТР), а также построении процесса технической подготовки, не требующего существенного пересмотра ТР, сформированных на основе ограниченной информации о детали. В отечественном машиностроении совмещенная разработка конструкций и маршрутных ТП изготовления деталей не получила пока распространения из-за недостаточности методического обеспечения и процедурной части, четко определяющей порядок действий разработчиков, а также состав и последовательность совместно формируемых ими решений. В связи с этим актуальной становится научная задача сокращения длительности технической подготовки производства деталей, имеющая важное значение для машиностроения РФ. Перспективным путем ее решения является применение совмещенного конструкторско-технологического проектирования.

**Цель работы.** Сокращение длительности технической подготовки производства деталей машин.

**Методы исследования.** Работа выполнялась в соответствии с научными основами технологии машиностроения и конструирования узлов и деталей машин. Используются методы системно-структурного анализа, теории технологического подобия, регрессионного анализа.

**Научная новизна** работы состоит в выявлении связей между конструкторскими и технологическими проектными решениями, допускающих совмещение во времени этапов технической подготовки производства деталей.

**На защиту выносятся:**

- методика представления конструкций деталей машин при совмещенной подготовке производства;
- методика совмещенной разработки конструкций деталей и маршрутного ТП их изготовления;
- макет автоматизированной системы совмещенной подготовки производства;
- рекомендации по организации и использованию совмещенной подготовки производства при разработке деталей машин.

**Практическая ценность** работы состоит:

- в создании методической базы для разработки автоматизированных систем, допускающих совмещенную подготовку производства деталей и обеспечивающих сокращение ее длительности;
- в возможности пересмотра традиционных подходов к подготовке производства деталей машин;
- в применимости результатов для дальнейшего исследования процессов формирования проектных решений в технической подготовке производства машин;

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на 9-й молодежной научно-технической конференции учащихся, студентов, аспирантов и молодых ученых “Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы-2007” (Москва, 2007), на 6-й международной научно-технической конференции “Проблемы качества машин и их конкурентоспособности” (Брянск, 2008), на Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов “Будущее машиностроения России” (Москва, 2008). Основные разделы диссертации докладывались на научных семинарах кафедры “Технология машиностроения” МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2007...2009 г.г.

**Публикации.** Основные положения диссертации изложены в 8 печатных работах, список которых приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы и пяти приложений. Общий объем работы составляет 198 страниц, в том числе 106 страниц текста, 65 рисунков, 20 таблиц, список литературы из 125 наименований и приложения на 27 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность решаемой в диссертационной работе научной задачи, формулируется основная идея и научная новизна работы.

**В первой главе** проведен анализ современного состояния методологий, применяемых при технической подготовке производства машин.

Традиционно при создании новых образцов машин технологическая подготовка их производства выполняется после их разработки. Среди работ отечественных и зарубежных исследователей, посвященных вопросам методологии проектирования и конструирования машин, наибольшее признание получили работы Ф. Ханзена, П.И. Орлова, П.Хилла, П.Ф. Дунаева, Д.Н. Решетова, К.Рота, Дж. К. Джонсона и других ученых. Разработаны основные правила создания машин различного назначения, узлов и деталей, способствующие обеспечению их эксплуатационного качества, инвариантные способу отображения конструкции. Изначально при выполнении этапов конструкторской подготовки производства применялись чертежный и расчетный методы, а результатом становился комплект конструкторской документации, оформленный в соответствии со стандартами и представляемый на бумажных носителях.

Носителями информации о конструкциях современных машин являются их электронные модели (твердотельные, поверхностные и каркасные) и созданный на их основе электронный комплект документации в САПР-К. Проблемы использования САПР-К при разработке машин рассмотрены в работах И.П. Норенкова, Р.А. Аллика, В. Хубки, В.П. Быкова, А.И. Половинкина и др. Применение САПР-К, CALS-технологий и модульного принципа проектирования не устраняют локализацию конструкторской подготовки производства и отсутствие методик, процедурно связывающих процессы формирования проектных конструкторских решений на этапах разработки и этапы ТПП. Программно нереализованными остаются методики автоматизированного синтеза новых конструкций.

Научные основы выполнения функций ТПП были заложены при выявлении закономерностей технологии машиностроения и представлены в работах А.П. Соколовского, В.М. Кована, В.С. Корсакова, Б.С. Балакшина, М.П. Новикова, А.И. Каширина, С.П. Митрофанова, А.М. Дальского, А.С. Васильева и других ученых. Традиционно исходными данными для выполнения функций ТПП, включая разработку ТП, являются комплект конструкторской документации на изделие и информация об объеме выпуска. Существуют методики разработки единичных, типовых и групповых ТП изготовления деталей. В работах А.М. Дальского исследованы закономерности технологического наследования, используемые при разработке ТП изготовления и сборки высокоточных изделий. В подготовке производства специальных изделий

машиностроения (ракетных двигателей, судов, самолетов) используют конструкторско-технологические решения, охватывающие совокупность показателей конструкции изделия и директивного ТП его изготовления.

Значительный вклад в исследование проблем автоматизации ТПП машин с 70...80-х годов 20 века внесли работы В.Д. Цветкова, Г.К. Горанского Ю.М. Соломенцева, В.Г. Митрофанова, В.Ф. Горнева, В.А. Исаченко, Н.М. Капустина, В.Г. Старостина, В.В. Павлова, А.Н. Ковшова, Б.М. Базрова, А.И. Кондакова и других ученых. На сегодняшний день основными методами автоматизированной разработки ТП изготовления деталей являются адресация к процессу-аналогу и синтез на основе конструктивно-технологических признаков детали. Современные САПР ТП, в основном, реализуют метод адресации или прямое документирование. Использование CALS-технологий облегчает передачу данных из САПР-К в САПР ТП, реализовывая “сквозное” проектирование, быстрое прототипирование, ускоряя подготовку программ для станков с ЧПУ, однако полностью не разрешает проблемы построения единого процесса подготовки производства.

Совмещенная разработка конструкций деталей и маршрутных ТП должна базироваться на существующих правилах конструирования и использовать современные программные средства. Зарубежные корпорации, такие как “Toyota”, “General Motors”, “Boeing” стали внедрять и использовать совмещенное проектирование еще с середины 80-х годов XX века, применяя методологию “проектирования для изготовления и сборки” и создавая междисциплинарные группы разработчиков. Проблематика совмещенного проектирования рассмотрена в работах В.Д. Баскакова, А.М. Попова, О.С. Самсонова, А.В. Цыркова, Л.А. Кашубы, А.В. Смирнова, С.А. Шептунова. Несмотря на это, в отечественном машиностроении практически отсутствуют методики совмещенной подготовки производства. Ее процедурная реализация на уровне деталей недостаточно разработана. Это делает тему представленной диссертационной работы актуальной.

Целью исследования является сокращение длительности подготовки производства деталей машин.

Объект исследования – процессы формирования проектных конструкторских решений на стадии рабочего конструирования и ТР – при ТПП.

Достижение поставленной цели исследования связано с решением следующих основных задач:

- 1) создание метода технологической формализации конструкций деталей машин;
- 2) разработка и исследование метода генерирования вариантов ТР;
- 3) разработка и исследование макета автоматизированной системы совмещенной подготовки производства деталей;
- 4) выработка практических рекомендаций по реализации совмещенного конструкторско-технологического проектирования в машиностроении.

**Вторая глава** посвящена созданию методики совмещенной разработки конструкций и маршрутных ТП, на основе технологической формализации конструкций деталей. С целью одновременного формирования конструкции и маршрутного ТП, предложено представлять детали упорядоченной совокупностью поверхностей, объединенных общностью технологии формообразования (Т-комплексов; табл. 1). В Т-комплексы объединены до 4 поверхностей, что делает их универсальным средством представления деталей.

Таблица 1.

Пример Т-комплекса

Идентификатор	Эскиз комплекса	Технологические методы	Тип производства
СЕР11		Точение Шлифование круглое Притирка Обкатывание Полирование	Любое Любое Серийное Серийное Серийное

Технологическое состояние предмета производства характеризуется набором геометрических размеров и технологических атрибутов (производственно-технических показателей качества детали в целом, отдельной поверхности или их сочетания). Устанавливаемые конструктором технологические атрибуты (допуски размеров, формы, параметры качества поверхностного слоя) характеризуют конечное (конструкторско-атрибутированное) состояние предмета производства или его элементов. Конструкторско-атрибутированным (КА-Т-комплексом) назовем Т-комплекс, для всех поверхностей которого назначены геометрические размеры и технологические атрибуты, а также технологические атрибуты комплекса в целом, обеспечивающие необходимые эксплуатационные свойства в детали (рис. 1).

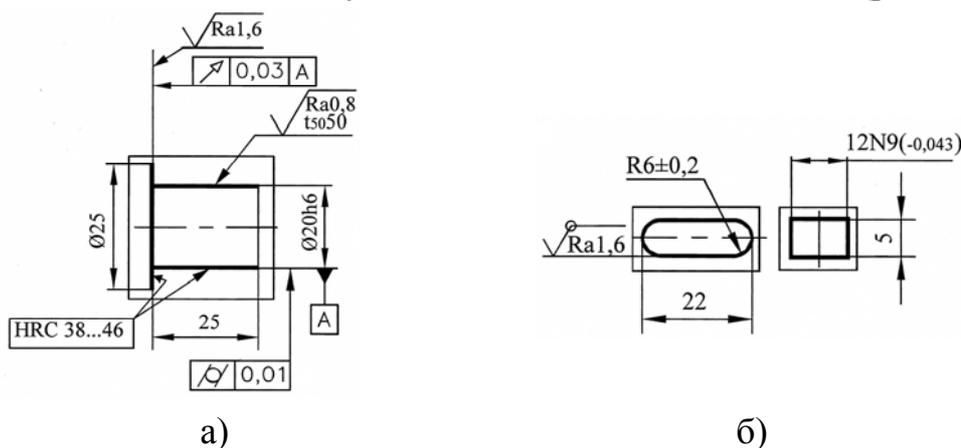


Рис. 1 Конструкторско-атрибутированные Т-комплексы:  
 а) шейки и торца вала мотор-редуктора;  
 б) шпоночного паза вала мотор-редуктора

Для обеспечения совмещенной разработки целесообразно представлять детали с помощью КА-Т-комплексов, а их конструирование разделить на 3 этапа. На первом этапе формируют первичное представление детали (ППД) в виде упорядоченной совокупности КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей (рис. 2).

На втором – к ним присоединяют КА-Т-комплексы связующих поверхностей, образуя геометрическую структуру и формируя конструкторскую модель детали (КМД). Окончательное представление – конструкторско-атрибутированная модель детали (КАМД), разработанная на основе КМД при назначении технологических атрибутов детали в целом (допусков взаимного расположения, технических требований и пр.) (рис. 3).

Для каждого КА-Т-комплекса исполнительных поверхностей назначается элементарный маршрут его обработки, а технологические методы упорядочивают. Технологическая модель, соответствующая первичному представлению детали (ТМ ППД), представляема упорядоченной по показателю геометрической точности (IT), совокупностью технологических методов формообразования КА-Т-комплексов исполнительных поверхностей (рис. 2).

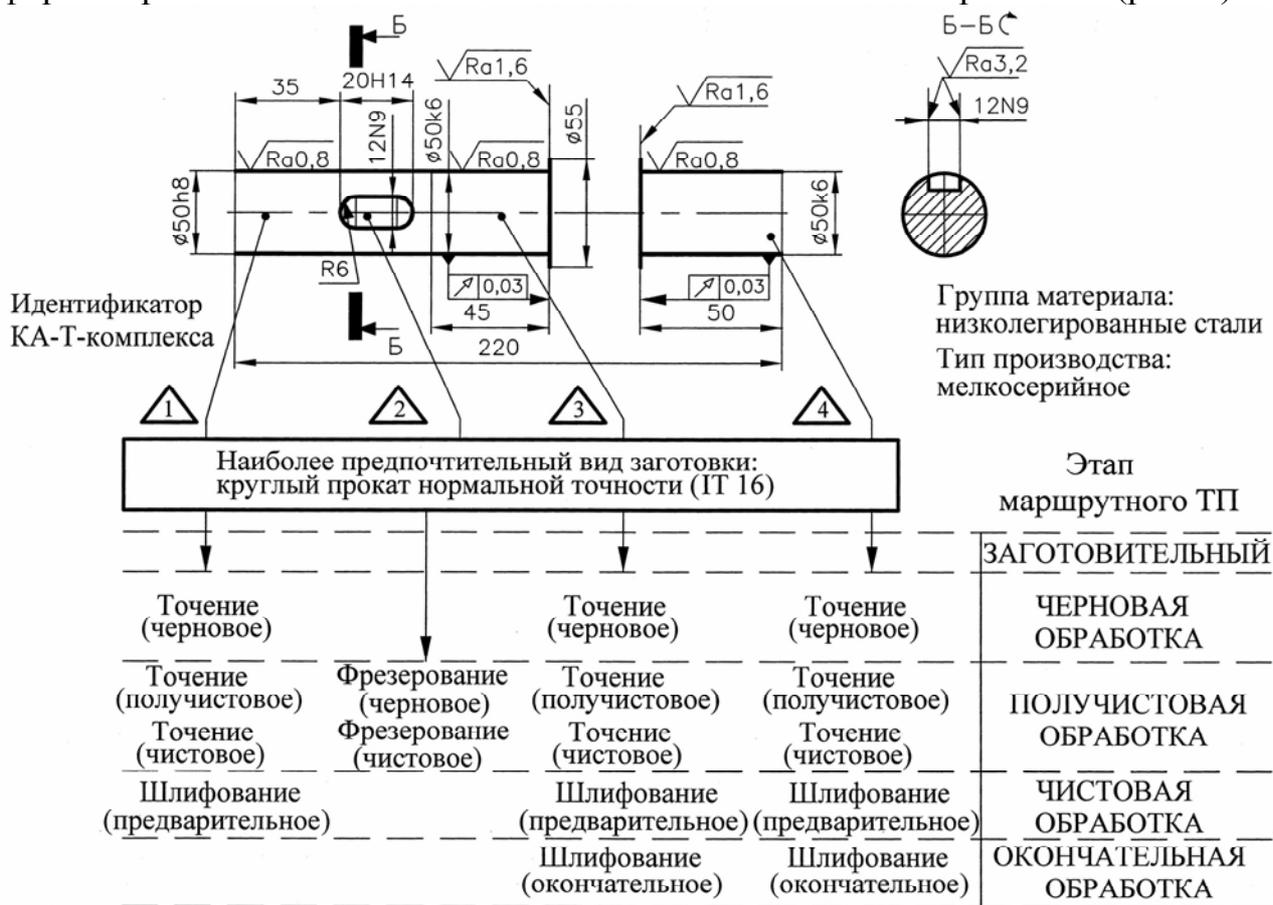


Рис. 2 Первичное представление детали “вал” и ТМ ППД

На основе КМД для каждого формообразующего технологического метода выбирают единственную группу, тип оборудования и множества допустимых схем установки, приемлемые для его реализации. Технологический метод формообразования, соответствующие группа и тип оборудования, множества схем установки – основные компоненты укрупненного описания технологических переходов, позволяющее их группирование в макеты операций. Технологическая модель, соответствующая КМД (ТМ КМД) – упорядоченная последовательность макетов технологических операций, используемых для формообразования всех КА-Т-комплексов поверхностей КМД.

Технологическое моделирование на основе КАМД предполагает разработку технологических операций формообразования и окончательное формирование маршрутного ТП. На первом этапе происходит трансформация макетов в технологические операции формообразования: для каждой разрабатываемой операции назначается единственная схема установки, выбирается модель оборудования, тип приспособления (рис. 3).

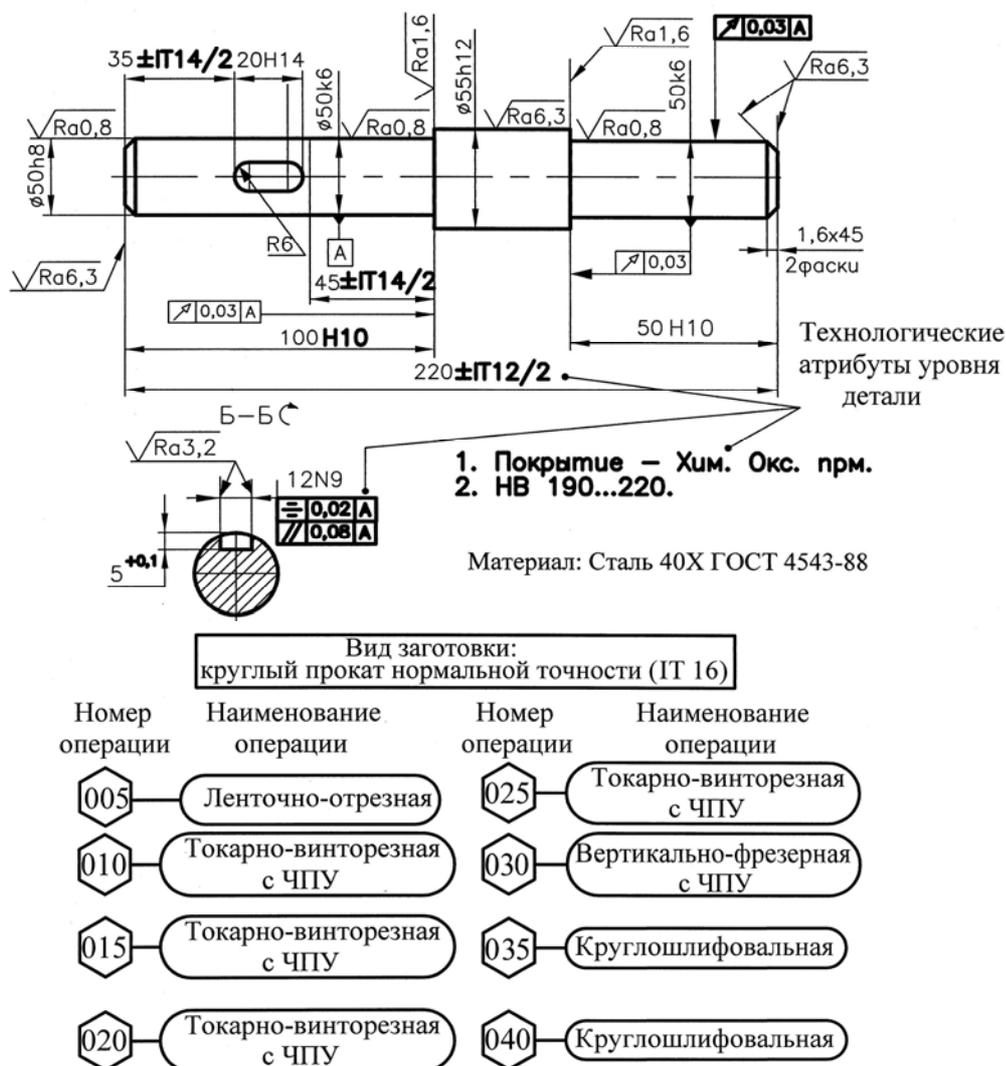


Рис. 3 Конструкторско-атрибутированная модель детали “вал” и ТМ КАМД

Технологическая модель, сформированная на основе КАМД (ТМ КАМД) – упорядоченная последовательность представленных в маршрутном изложении технологических операций, необходимых для формообразования всех КА-Т-комплексов КАМД (см. рис. 3). Окончательно маршрутный ТП формируется при внесении в ТМ КАМД операций, не связанных с формообразованием.

**В третьей главе** изложена методика генерирования вариантов технологических моделей и выполнено их исследование. Для сокращения длительности подготовки производства при использовании совмещенного проектирования необходимо, чтобы изменения, вносимые в ранее разработанные представления конструкций (ППД или КМД) не требовали бы существенных изменений ранее сформированных технологических моделей: от ТМ ППД к ТМ КМД и от ТМ КМД к ТМ КАМД. Формирование технологических моделей необходимо осуществлять по схеме, предусматривающей разработку (генерирование) множества возможных вариантов, оценку и выбор единственного варианта. Варианты технологических моделей должны способствовать сокращению суммарной длительности разработки, а созданный маршрутный ТП – обеспечивать предъявляемые к конструкции требования. Если изменения технологических моделей будут существенны, то процесс совмещенной подготовки производства станет малоэффективным, а сокращение длительности – невозможным. Формально каждый вариант технологической модели представим в виде:

$$\begin{aligned} & \text{ТМ ППД } (a_0, \{M_1, M_2, M_3, M_4\}^{N=2}, \dots, \{M_n, M_f\}^{N=5}); \\ & \text{ТМ КМД } (b_0, \{M_1, M_2\}^{\text{maket}^1}, \dots, \{M_m, M_s\}^{\text{maket}^L}); \\ & \text{ТМ КАМД } (c_0, \{M_1, M_2\}^{\text{fope}^1}, \dots, M_k^{\text{fope}^{M_1}}); \\ & \text{МТП } (d_0, \{M_1, M_2\}^{\text{ope}^1}, \dots, M_h^{\text{ope}^S}), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $f, s, k, h$  – число технологических методов  $M_i$  (формообразования и изготовления) соответственно в ТМ ППД, ТМ КМД, ТМ КАМД и МТП; символы “N”, “maket”, “fope”, “ope” соответственно означают упорядоченность технологических методов – по достигаемой точности, в макетах операций, в формообразующих технологических операциях, в операциях изготовления маршрутного технологического процесса;  $L, M, S$  – соответственно число макетов операций в ТМ КМД, формообразующих технологических операций в ТМ КАМД и операций изготовления в маршрутном ТП.

Приведенные описания позволяют формировать оценки содержательного и структурного подобия (табл. 2), являющиеся мерами соответствия вариантов ТМ ППД и ТМ КМД, ТМ КМД и ТМ КАМД.

Варианты технологических моделей можно использовать для дальнейшей разработки в том случае, если оценки подобия будут выше граничных значений. Граничные значения оценок подобия: содержательного ТМ ППД и ТМ КМД – 0,33; ТМ КМД и ТМ КАМД – 0,50; структурного подобия ТМ КМД и ТМ КАМД – 0,50.

Таблица 2.

## Оценки подобия вариантов технологических моделей

Содержательного подобия	Структурного подобия ТМ КМД и ТМ КАМД
$S_{ij}^{\text{сод.}} = \frac{2 \cdot b}{m + n}$ <p>где <math>b</math> – число пар тождественных технологических методов; <math>m, n</math> – число технологических методов соответственно в вариантах <math>i</math> и <math>j</math>.</p>	$S_{\text{ТМ КМД/ТМ КАМД}}^{\text{стр.}} \approx \frac{2 \cdot a}{b + c} \cdot \prod_{i=1}^a (S_i^{\text{стр.}})$ <p>где <math>a</math> – число пар подобных макетов операций и технологических операций формообразования; <math>b</math> и <math>c</math> – соответственно число макетов операций в ТМ КМД и технологических операций формообразования в ТМ КАМД; <math>S_i^{\text{стр.}}</math> – оценки структурного подобия макетов операций и операций формообразования.</p> $S_i^{\text{стр.}} \approx \frac{2 \cdot f}{d + e}$ <p>где <math>f</math> – число переходов в макетах операций и в технологических операциях формообразования, для которых тождественны технологические методы формообразования; <math>d</math> – число переходов в макете операции; <math>e</math> – число технологических переходов в технологической операции формообразования.</p>

Выбраны детали-представители различных конструктивных классов (тела вращения, корпусные и плоскостные детали), с наивысшей точностью размеров – ПТ6, маршрутные ТП изготовления которых не требуют операций химико-термической обработки. Разрабатывались возможные варианты ППД, КМД, КАМД, каждый из которых приводит к созданию конструкции детали, позволяющей ей выполнять свое служебное назначение в сборочной единице, а также соответствующие варианты технологических моделей. Конструкторские представления создавались как при идеальной реализации процесса совмещенной разработки, так и с целенаправленным изменением ранее сформированных представлений. В последнем случае, изменялся состав КАТ-комплексов, геометрических размеров и технологических атрибутов в пределах, позволяющих детали выполнять свое служебное назначение. Для каждого варианта конструкторского представления детали (ППД, КМД и КАМД) формировалось не более трех вариантов соответствующих технологических моделей. Оценивание подобия вариантов технологических моделей (см. табл. 2) позволило установить значения оценок их содержательного подобия и структурного подобия. В частности, для детали-представителя класса тел вращения (см. рис. 3) средние значения оценок содержательного подобия ТМ ППД и ТМ КМД, ТМ КМД и ТМ КАМД приведены на рис. 4. Аналогичные оценки были получены для деталей-представителей других конструктивных

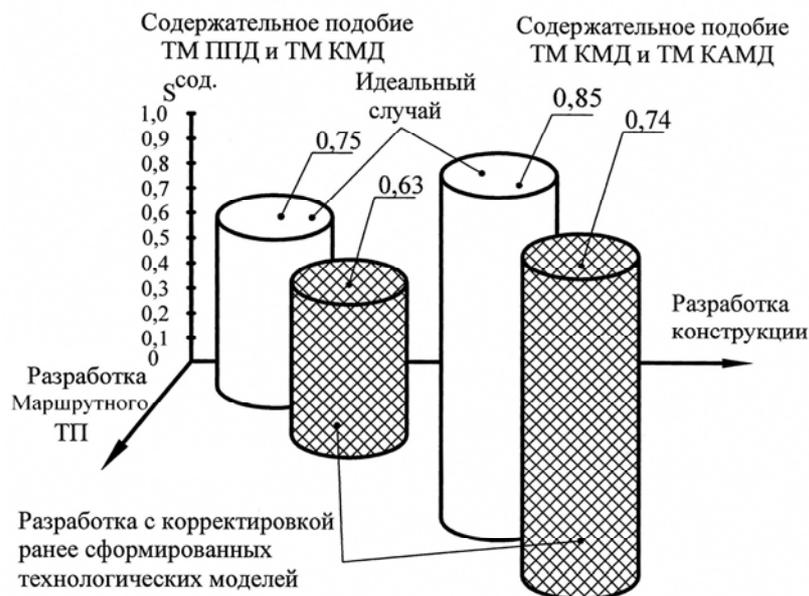


Рис. 4 Средние значения оценок содержательного подобия для детали-представителя класса тел вращения

классов. Оценки содержательного подобия вариантов ТМ ППД и ТМ КМД ( $S_{\text{ТМ ППД/ТМ КМД}}^{\text{сод.}}$ ): для деталей-представителей тел вращения составили 0,65...0,72, корпусных деталей – 0,68...0,82, плоскостных – 0,55...0,79. Значения оценок структурного подобия вариантов ТМ КМД и ТМ КАМД ( $S_{\text{ТМ КМД/ТМ КАМД}}^{\text{стр.}}$ ) составили для деталей представителей тел вращения 0,55...0,81, корпусных деталей – 0,54...0,76, плоскостных – 0,55...0,77.

Для 25 деталей различных наименований и конструктивных классов исследовано содержательное подобие ТМ ППД и маршрутных ТП их изготовления. Оценки содержательного подобия методов формообразования, используемых в ТМ ППД и маршрутного ТП, составили 0,55...1,0, а оценки подобия методов формообразования ТМ ППД и методов изготовления маршрутного ТП – 0,50...0,80. Полученные данные однозначно указывают на то, что ТМ ППД является основой для формирования маршрутного ТП.

**В четвертой главе** представлены результаты разработки макета автоматизированной системы совмещенной подготовки производства и его исследования. Макет представлен блоком конструкторского проектирования на базе среды “T-Flex CAD 2D 10” и блоком формирования ТР, интерфейс которого разрабатывался в среде “Microsoft Access 2007”. В блоке конструкторского проектирования разработана параметрическая библиотека Т-комплексов, позволяющая формирование ППД (рис. 5), КМД, КАМД с параметрическим заданием геометрических размеров Т-комплексов и визуализацией технологических атрибутов. Интерфейс блока формирования ТР позволяет разработку технологических моделей (рис. 6), обеспечивая построение маршрутного ТП.

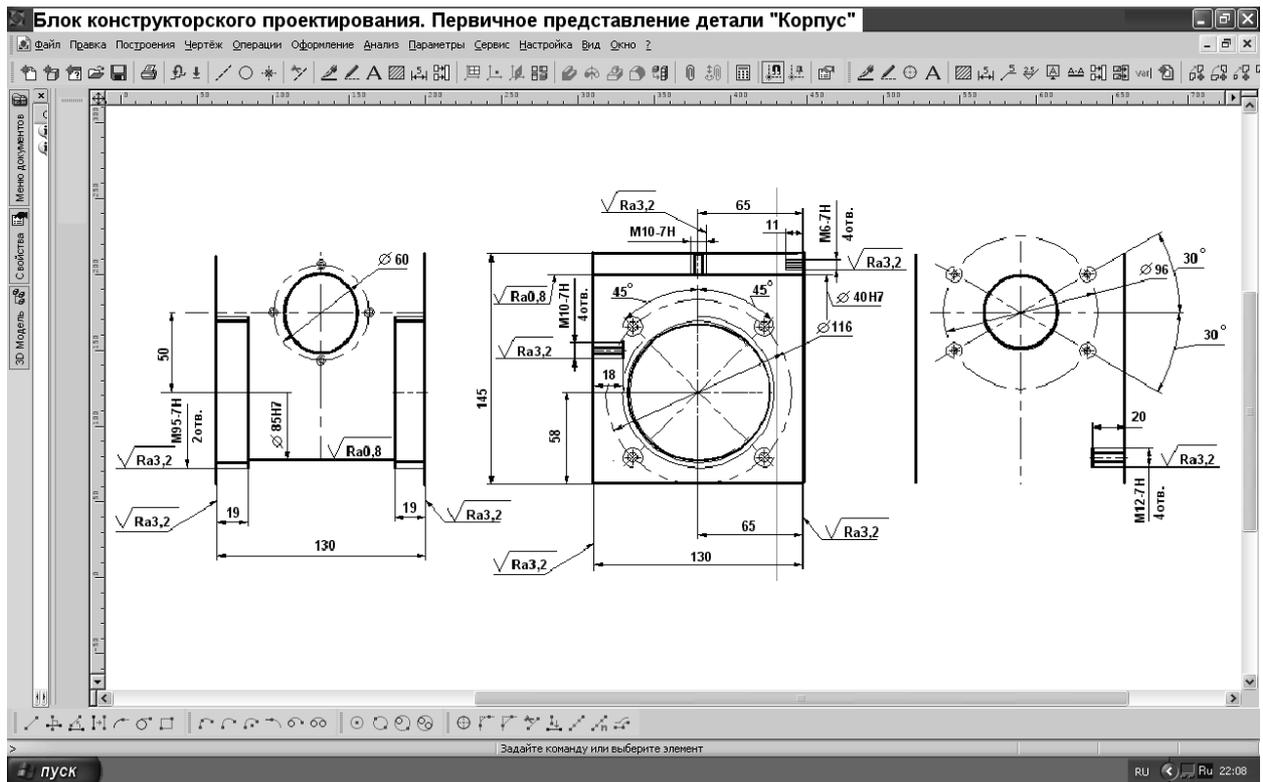


Рис. 5 Результат разработки ППД на примере детали “корпус”

Блок формирования технологических решений. ТМ ППД “Корпус”

Номер этапа	КА-Т-комплекс исп. пов.	Технологический метод	IT	Ra
2	P11-1	Фрезерование черновое	12	8
	P11-2	Фрезерование черновое	12	8
	RI-1	Сверление	14	10
	RI-1	Растачивание черновое	13	5
	RI-1	Резьбонарезание	12	3,2
	RI-2	Сверление	14	10
	RI-2	Растачивание черновое	13	5
	RI-2	Резьбонарезание	12	3,2
	RI-3	Сверление	12	5
	RI-3	Резьбонарезание	11	3,2
	RI-4	Сверление	12	5
	RI-4	Резьбонарезание	11	3,2
	RI-5	Сверление	12	5
	RI-5	Резьбонарезание	11	3,2
	RI-6	Сверление	12	5
	RI-6	Резьбонарезание	11	3,2
3	CI-1	Сверление	12	10
	CI-2	Сверление	12	10
	P11-1	Фрезерование чистовое	10	3,2
	P11-2	Фрезерование чистовое	10	3,2
4	CI-1	Расверливание	11	8
	CI-1	Растачивание черновое	10	5
	CI-2	Расверливание	11	8
	CI-2	Зенкерование	10	5
	CI-1	Растачивание полуступовое	9	3,2
	CI-1	Растачивание чистовое	8	1,6
	CI-2	Растачивание тонкое	7	0,8
	CI-2	Растачивание полуступовое	9	3,2
CI-2	Растачивание чистовое	8	1,6	
CI-2	Растачивание тонкое	7	0,8	

Рис. 6 Результат формирования ТМ ППД на примере детали “корпус”

Для исследования макета выбраны 14 тестовых деталей, в дальнейшем серийно изготавливаемые НПО “Мосгормаш” (рис. 7). Последовательная разработка конструкций и маршрутных ТП выполнялась при использовании доступных систем “AutoCAD 2004” и САПР ТП “ТехноПро 5+ (Открытая)”; совмещенная – с использованием макета автоматизированной системы. Длительность разработки в обоих случаях фиксировалась. Для упорядочения деталей различных классов выбран критерий сложности, равный:

$$C_d = 0,02 \cdot N_{КА}^{\min}, \quad (2)$$

где  $N_{КА}^{\min}$  – минимальное число КА-Т-комплексов для формирования КАМД.

Суммарную длительность разработки конструкций деталей и маршрутных ТП при последовательной ( $T_{\Sigma}^{\Pi}$ ) и совмещенной разработке ( $T_{\Sigma}^C$ ) иллюстрирует рис. 8, а, зависимость величины сокращения суммарных сроков ( $\delta$ ) от показателя  $C_d$  – рис. 8, б.

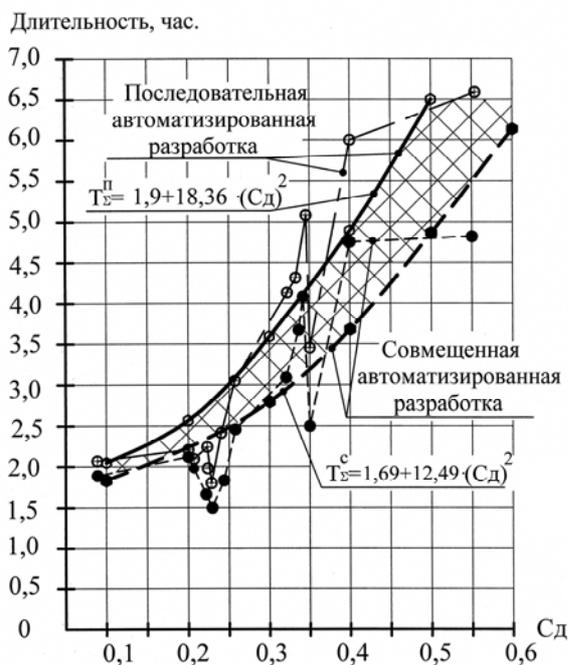


а)

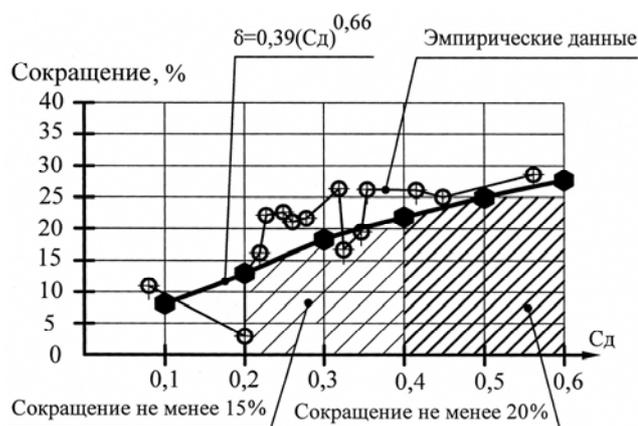


б)

Рис. 7 Некоторые тестовые детали: а) плита; б) винт ходовой



а)



б)

Рис. 8 Зависимости суммарной длительности автоматизированной разработки конструкции и маршрутного ТП изготовления детали (а) и сокращения суммарной длительности (б) от критерия сложности  $C_d$

Сокращение суммарной длительности в диапазоне 20...28% характерно для деталей, со значением  $C_d = 0,35...0,55$  ( $N_{КА}^{\min} = 18...28$ ). Это указывает на эффективность использования совмещенной подготовки производства для деталей высокой конструктивной сложности.

**В пятой главе** выработаны практические рекомендации по использованию совмещенной подготовки производства в машиностроении. Применению совмещенной подготовки производства предшествует создание опытного образца автоматизированной системы и формирование рабочей группы специалистов. Разработана инженерная методика автоматизированной совмещенной подготовки производства деталей машин, с подробным указанием действий исполнителей и указанием минимально необходимого информационного обеспечения.

Наибольшее сокращение суммарной длительности для совмещенной разработки оригинальных деталей сборочных единиц достигается при формировании первичных представлений всех оригинальных деталей и далее аналогично КМД, КАМД, соответствующих технологических моделей и маршрутных ТП. Выполнена оценка возможного сокращения длительности разработки конструкций и маршрутного ТП изготовления оригинальных деталей сборочных единиц, составляющая 27...70 % от длительности при последовательной разработке. Для практической реализации разрабатывались конструкции и маршрутные ТП изготовления оригинальных деталей сборочной единицы “червячный мотор-редуктор”. Последовательная разработка выполнялась средствами САПР-К “AutoCAD 2004” и САПР ТП “ТехноПро 5+ (Открытая версия)” и заняла 48 часов. Совмещенная разработка реализовывалась с использованием макета соответствующей автоматизированной системы и заняла 33 часа (рис. 9). В конструкции “червячного мотор-редуктора” 7 оригинальных деталей из 13, для формирования конструкторско-атрибутированных моделей которых необходимо не менее 15 КА-Т-комплексов. Для эффективного выполнения совмещенной подготовки производства необходимо обеспечивать сокращение суммарной длительности не менее, чем для 30...50% входящих в сборочную единицу оригинальных деталей.

Использование макета системы совмещенной подготовки производства на оригинальных деталях “червячного мотор-редуктора” подтвердило выявленные зависимости суммарной длительности разработки конструкции и маршрутного ТП (см. рис. 8). Приведенные зависимости целесообразно использовать для укрупненного прогнозирования сокращения длительности, даже, если конструкции деталей представлены только в виде эскизов. Результаты исследования показали, что принципиально возможна организация совмещенной подготовки производства на машиностроительных предприятиях РФ. Разработка методически непротиворечивых технологических моделей на

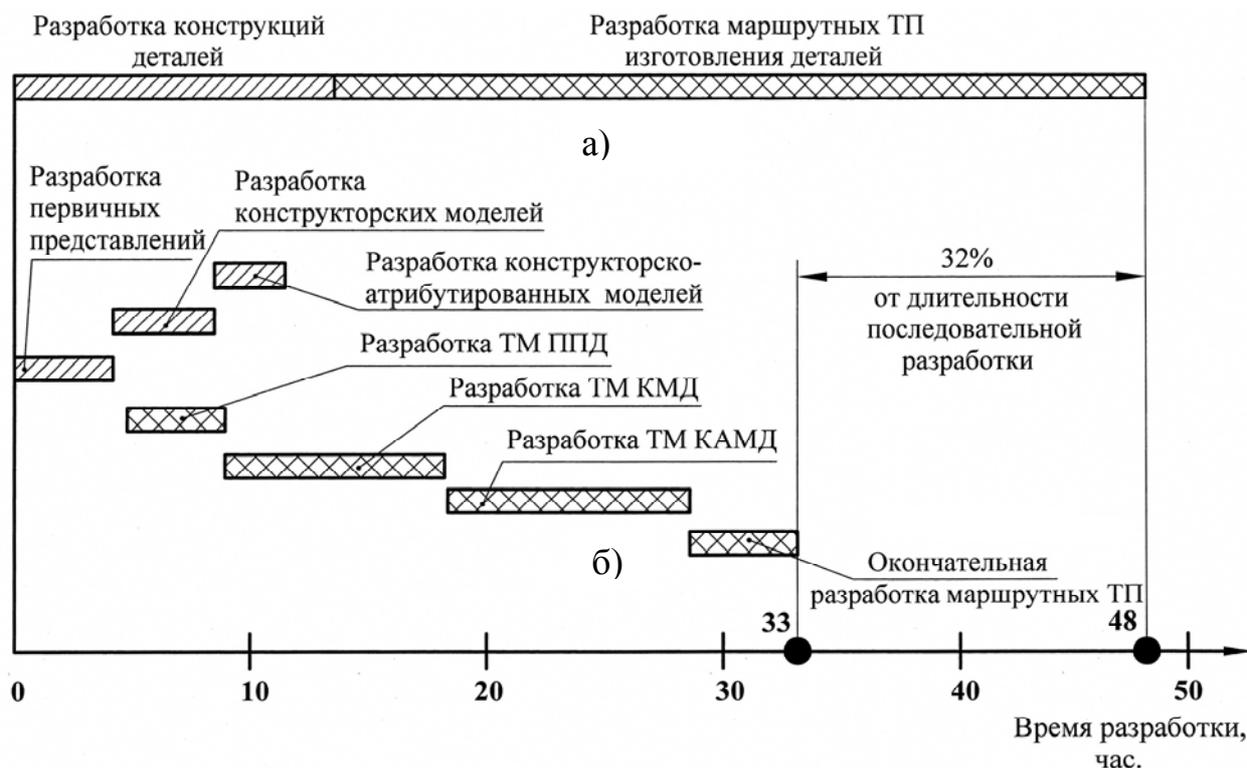


Рис. 9 Длительности разработки конструкций оригинальных деталей сборочной единицы "червячный мотор-редуктор" и МТП их изготовления: а) последовательной; б) совмещенной

основе ограниченной информации о конструкции детали должна привести к пересмотру подходов к создаваемым автоматизированным системам подготовки производства.

### Общие выводы

1. Моделирование конструкций разрабатываемых деталей сочетанием комплексов их поверхностей, связанных общностью технологии формообразования, при заданных значениях технологических атрибутов позволяет получать представления деталей, содержащие информацию, достаточную для формирования моделей проектных технологических решений соответствующих уровней.

2. Технологическая модель, соответствующая первичному представлению детали, отображаемая совокупностью технологических методов формообразования конструкторско-атрибутированных технологических комплексов исполнительных поверхностей, может использоваться как основа для разработки единичного маршрутного технологического процесса или поиска процесса-аналога.

3. Технологические модели проектных решений, соответствующие любому уровню представления геометрической формы и атрибутов разрабаты-

ваемой детали, формально описываются списками применяемых методов формообразования, упорядоченность которых определяется уровнем представления разрабатываемой детали. Формальное описание моделей позволяет использовать для их исследования аппарат технологического подобию.

4. Вариантные технологические модели, соответствующие представлениям разрабатываемой детали различных уровней, взаимно непротиворечивы и отвечают основным общетехнологическим принципам и правилам, а также характеризуются высокими (0,70...0,85) оценками технологического подобию.

5. Показана возможность эффективной программной реализации совмещенной подготовки производства на базе разработанного алгоритма и использования доступных программных средств и различных подходов к моделированию разрабатываемой детали.

6. Тестирование макета системы совмещенной подготовки производства на реальных деталях машиностроения позволило снизить суммарную длительность автоматизированной разработки конструкции детали и единичного маршрутного технологического процесса ее изготовления в зависимости от ее сложности до 28%.

7. Существует резерв повышения качества проектных решений при совмещенной подготовке производства за счет раннего, простого и наглядного диагностирования ошибок в разработке, а также технологического обеспечения эксплуатационных свойств деталей. Расчетный диапазон возможного сокращения длительности технической подготовки производства деталей машин составляет 27...70%.

8. Совмещенная разработка конструкции детали и маршрутного технологического процесса ее изготовления, является базой для совмещенной подготовки производства сборочных единиц и изделий и открыта для использования при ее реализации передовых методов конструирования и технологической подготовки производства.

9. Показано эффективное практическое применение совмещенного проектирования оригинальных деталей сборочной единицы “червячный мотор-редуктор”, продемонстрировавшее сокращение длительности подготовки их производства с 48 до 33 часов.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Кондаков А.И., Мешков Р.Б. Представление первичной структуры детали при параллельном проектировании машин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – №2. – С. 40 – 43.

2. Кондаков А.И., Мешков Р.Б. Формирование первичных технологических решений при параллельном проектировании деталей машин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – №4. – С. 43 – 45.

3. Кондаков А.И., Мешков Р.Б. Формирование первичных решений при параллельном проектировании машин // Вестник машиностроения. – 2006. – №4. – С. 8 – 10.

4. Мешков Р.Б., Харитонов А.В. О формировании проектных технологических решений при параллельном проектировании деталей машин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – №1. – С. 20 – 25.

5. Мешков Р.Б. Автоматизированная поддержка совмещенного проектирования наукоемких изделий на базе принципа вариантности // Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2007: Сб. докл. 9-ой международной молодежной научно-технической конф. – Москва, 2007. – С. 46 – 48.

6. Мешков Р.Б. Технологическое моделирование при параллельном проектировании деталей машин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – №5. – С. 26 – 33.

7. Мешков Р.Б. Конструкторское и технологическое моделирование при параллельном проектировании деталей машин // Проблемы качества машин и их конкурентоспособности: Сб. докл. 6-ой международной научно-технической конф. – Брянск, 2008. – С. 55 – 56.

8. Мешков Р.Б. Сокращение сроков подготовки производства деталей при совмещенном конструкторско-технологическом проектировании // Будущее машиностроения России: Сб. докл. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. – Москва, 2008. – С. 375 – 377.