

В. И. Аверченков, Ю. М. Казаков

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**
учебное пособие



ФЛИНТА

В.И. Аверченков, Ю.М. Казаков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебное пособие

2-е издание, стереотипное

Москва
Издательство «ФЛИНТА»
2011

УДК 621.7/9. 658.512.4.011.56

A19

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра САПР Волгоградского государственного технического университета;
доктор технических наук, профессор *Ю.С. Степанов*

Аверченков В.И.

A19 Автоматизация проектирования технологических процессов : учеб. пособие для вузов [электронный ресурс] / В.И. Аверченков, Ю.М. Казаков. – 2-е изд., стереотип. – М. : ФЛИНТА, 2011. – 229 с.

ISBN 978-5-9765-1265-8

Рассматриваются вопросы, связанные с построением и использованием систем автоматизации проектирования технологических процессов в условиях современного машиностроения. Показаны возможности формализации и оптимизации основных задач технологической подготовки производства. Описаны методы и алгоритмы автоматизации всех этапов проектирования маршрутов и операционных процессов механической обработки.

Для студентов машиностроительных специальностей вузов.

УДК 621.7/9. 658.512.4.011.56

ISBN 978-5-9765-1265-8

© Издательство «ФЛИНТА», 2011

© В.И. Аверченков, Ю.М. Казаков, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Задача автоматизации технологического проектирования для современного машиностроения является чрезвычайно важной и актуальной. Ее решение обеспечит сокращение сроков внедрения в производство новых проектно-конструкторских разработок и повышение его эффективности. Вместе с тем решение этой задачи связано с определенными трудностями. Это обусловлено как особенностями технологического проектирования, которое традиционно считается творческим процессом, так и возрастающими требованиями современного машиностроительного производства к автоматизированным системам.

Современное машиностроительное производство является многономенклатурным, с частой сменой выпускаемых изделий, их повышенной конструктивной сложностью, большим числом оригинальных и уникальных конструкторских решений, реализация которых сопровождается высокими требованиями к качеству, надежности и ресурсу изделий. Повышение конструктивной сложности, качества изделий, быстрое их обновление наблюдается повсеместно во всех машиностроительных областях.

В условиях перехода к рыночной экономике особенно возросли требования к сокращению сроков разработки технологии (технологических процессов и средств их оснащения) при улучшении ее качества.

Осуществление этих требований возможно только на основе широкого применения средств вычислительной техники на всех этапах производства. Особая роль отводится применению ЭВМ в системах автоматизированного проектирования (САПР)[2]. Эти системы все более широко используются в различных отраслях промышленности.

Разработка и широкомасштабное использование САПР в промышленности позволяет снизить затраты на создание и эксплуатацию проектируемых изделий, повысить производительность труда проектировщиков, конструкторов и технологов, снизить объем проектной документации. Автоматизация проектирования позволяет сделать труд разработчиков более творческим.

Существенным преимуществом автоматизированных систем технологической подготовки производства (ТПП) является выполнение рутинных процессов и подготовка информации с помощью средств электронной обработки данных. Специалист, работающий с автоматизированными системами ТПП, избавляется от монотонного, нетворческого труда. Кроме того, благодаря большому быстродействию средств электронной обработки данных появляется возможность использования различных альтернативных решений.

Для реализации планов внедрения автоматизированного проектирования необходима своевременная разработка и широкое распространение методического обеспечения, а также подготовка квалифицированных специалистов-разработчиков и пользователей САПР.

Предлагаемое учебное пособие посвящено рассмотрению задач автоматизированного проектирования технологических процессов, наиболее часто решаемых в условиях современного машиностроительного производства.

ГЛАВА 1. ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Особенности развития автоматизации технологической подготовки производства

Одной из особенностей современного развития машиностроительного производства является постоянный рост объемов и сложности проектных работ в сфере технологической подготовки производства (ТПП). Это связано со следующими причинами:

- увеличивается номенклатура и сложность выпускаемых машин и приборов, которые характеризуются более высокими требованиями к их качеству, оснащенности электроникой, использованием новых конструкционных материалов;
- повышаются требования к качеству технологических решений, обеспечивающих конкурентоспособность изделий путем снижения себестоимости и повышения их качества;
- расширяется номенклатура оборудования с ЧПУ, требующего дополнительной разработки управляющих программ и детального проектирования операционной технологии;
- появляются дополнительные требования к сокращению сроков подготовки производства по выпуску новых изделий в целях повышения конкурентоспособности.

В этих условиях одним из главных направлений совершенствования ТПП становится ее автоматизация, основанная на использовании различных подсистем САПР, автоматизированных банков данных и экспертных систем, для решения всего комплекса технологических задач.

С появлением первых ЭВМ, начиная с 1960г., в работах Горанского Г.К. [6], Цветкова В.Д. [16], Митрофанова С.П. [11], Капустина Н.М. [8] и других ученых активно разрабатывалась теория автоматизированного проектирования различных технологических

объектов (маршрутных и операционных технологических процессов, режимов резания, режущих инструментов, технологической оснастки, управляющих программ для станков с ЧПУ и др.). Из-за ограниченных возможностей первых ЭВМ основное внимание уделялось формализации методов проектирования и расчета технологических задач, выбору необходимой информации и ее представлению в виде технологических карт.

С появлением персональных ЭВМ и программно-технических средств обработки графической информации круг решаемых технологических задач значительно расширился и стало возможным объединять различные этапы конструкторской и технологической подготовки производства в виде интегрированных систем автоматизации проектирования – CAD-CAM-систем.

Анализ задач, подходов и технических средств их решения позволяют выделить три этапа развития автоматизации проектирования технологии [18].

Первый этап характеризуется решением отдельных задач конструкторско-технологического проектирования: разрабатываются отдельные формализованные языки описания конструкции и технологии; решаются задачи описания графического изображения чертежей и ввода их в ЭВМ, преобразования чертежей в текстовое описание на алгоритмических языках; построения сечений машиностроительных деталей с помощью ЭВМ, вычисления площадей и объемов; минимизации исходной геометрической информации.

Для второго этапа характерно решение групп задач проектирования. Программные комплексы объединяют ряд систем проектирования технологических процессов механической обработки, оснастки и т. п. Посредством этих комплексов решаются задачи проектирования для отдельных типов деталей относительно простой конфигурации.

На третьем этапе ведутся работы по созданию интегрированных систем проектирования технологии. Системы такого рода являются комплексными; в них входят системы различного технологического назначения, обеспечивающие работу различных технологических служб.

Создаваемые организационно-технические системы, ориентированные на комплексную автоматизацию проектных работ в

сфере технологической подготовки производства на различных предприятиях могут существенно отличаться друг от друга и в первую очередь по уровню автоматизации. При этом выделяют три уровня автоматизации, связанных с созданием и использованием САПР технологических процессов (ТП).

Первый уровень автоматизации – автоматизация низкого уровня, при которой автоматизировано только оформление технологической документации (маршрутные, операционные карты и другие документы). Бланки технологических карт выводятся на экран монитора, и технолог в режиме диалога заполняет этот документ, используя заранее подготовленные формы, формулировки операций и переходов и сведения о технологическом оснащении, представляемые в электронном виде.

Второй уровень автоматизации – автоматизация среднего уровня, достигается, когда дополнительно создаются и используются базы данных, проектные и расчетные модули. Чем больше заполнена база данных, тем эффективнее начинает работать САПР ТП. Работа проектных модулей основана на использовании информационно-поисковой системы (ИПС), при этом условия поиска формирует технолог, используя режим диалога на этапе ввода исходной информации и оценки промежуточных и окончательных решений.

Расчетные модули, например модули расчета припусков, режимов резания и норм времени, начинают работать, когда сформированы базы данных с нормативно-справочной информацией (рис.1).

Третий уровень автоматизации – автоматизация высокого уровня, который достигается при заполнении базы данных. В этом случае становится возможным автоматизированное принятие сложных логических решений, связанных, например, с выбором структуры процесса и операций, назначением технологических баз и другими подобными задачами. Процесс принятия таких решений полностью автоматизировать не удастся, поэтому режим диалога частично остается и на третьем уровне автоматизации.

Процесс проектирования в САПР ТП представляет собой сложный процесс переработки конструкторской информации, заданной на чертеже детали, в технологическую информацию, которая затем фиксируется в технологической документации.

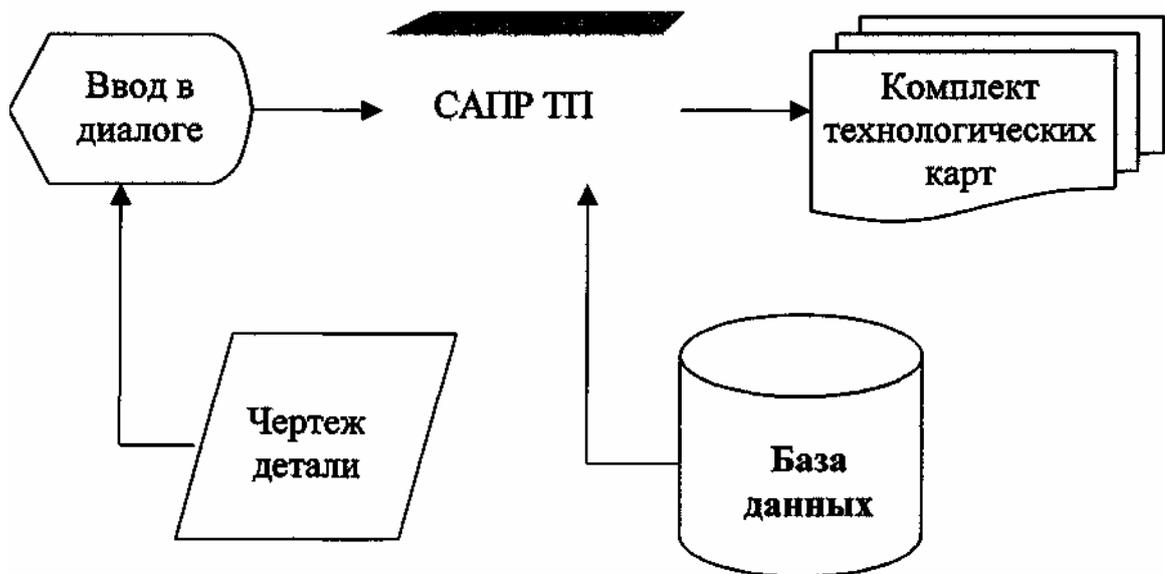


Рис. 1. Автоматизация проектирования ТП при ручном вводе информации о детали

Наибольший эффект от применения систем третьего уровня достигается при совместном использовании подсистем автоматизации конструирования (САПР К) и технологического проектирования САПР ТП. Для этого используются специальные программные комплексы конвертора, которые преобразуют графические модели детали, представленные в виде файлов формата передачи данных IGES или STEP (стандарт ИСО 10303) в массив данных о конструкторско-технологической информации о детали, необходимой для решения всех задач в рамках САПР ТП (рис.2).

Автоматизация технологической подготовки производства и важнейшей его части – проектирования технологии механической обработки и сборки – является необходимым условием комплексной автоматизации производства и его эффективного функционирования. Использование современной вычислительной техники при решении задач проектирования стало возможно в результате развития научных основ технологии и соответствующих разделов математики.

САПР ТП используется в условиях большого разнообразия заданий на проектирование, учитывающих особенности конкретных производственных ситуаций. Опыт показывает, что невозможно заранее предусмотреть и описать все многообразие рассматриваемых задач. В связи с этим наиболее перспективным в области автоматизации технологического проектирования является научное направление, возникшее на стыке двух наук – технологии и

математической логики. В его основе лежит исследование механизма описания технологических понятий и их классификации.

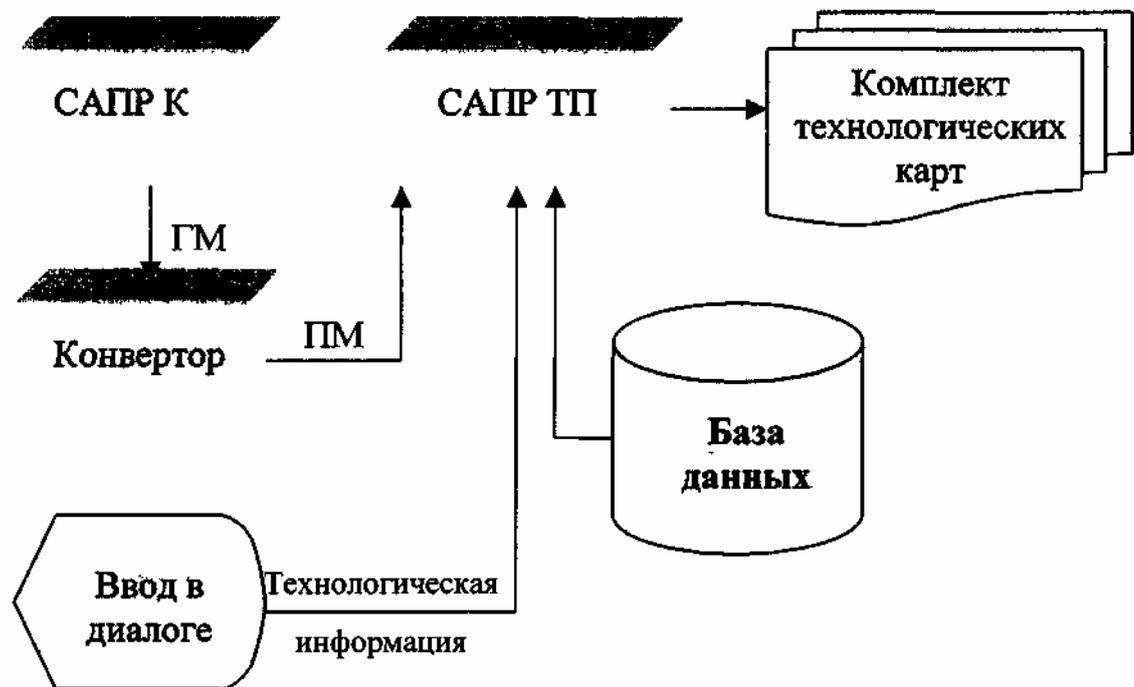


Рис. 2. Автоматизация проектирования ТП при использовании графических моделей деталей

Только единая строгая теория элементов описательной технологии и математической логики дает возможность определить закономерности формирования проектных решений технологии и представить в виде математических функций не только технологические объекты и ситуации, но и процесс проектирования технологии в целом.

Представление процессов проектирования в виде процессов логического формального вывода позволяет представить автоматизацию процессов проектирования в форме исчисления специального вида, которая содержит обобщенные функции проектирования, обеспечивающие построение проекта не для отдельных частных заданий (или их наборов), а для любого вида заданий, любой производственной ситуации, возникающей при изготовлении изделий машиностроения. Построенная таким образом детерминированная программа позволяет имитировать деятельность технолога по проектированию технологических процессов.

На основе рассматриваемого подхода и создаются системы автоматизации проектирования, которые способны решать технологические задачи, связанные с проектированием самых разнообразных изделий, в том числе новых, ранее не поступавших в производство (универсальность систем). Кроме того, подобные системы проектирования технологии могут решать основные задачи технологической подготовки производства (контроль конструкторских чертежей с точки зрения возможностей изготовления конструкции, проектирование технологии, моделирование изготовления и др.), которые охватывают основные задачи технологической подготовки производства.

1.2. Требования современного производства к автоматизации проектирования

Для машиностроительного производства в настоящее время характерно стремление к постоянному обновлению ассортимента выпускаемой продукции. Требования многоцелевого многономенклатурного производства могут быть выполнены при условии его автоматизации, которая охватывает как автоматизацию подготовки производства, так и управления им.

При разработке систем автоматизации проектирования технологии машиностроения должны быть учтены условия их функционирования:

- частое отсутствие аналогов конструкции изделия, сложная форма и высокие требования к качеству изделия;
- этапность технологической подготовки производства: анализ конструкции с точки зрения ее изготовления и оптимизации технологии, получение проекта технологии, моделирование изготовления;
- изменение номенклатуры изделий;
- изменение режима выпуска изделий.

Выполнение этих условий обеспечивает их эффективную работу.

В системах автоматизации проектирования технологии машиностроительного производства должно быть предусмотрено:

- получение проекта для различных конструкторских решений;

- выполнение необходимых функций на различных этапах подготовки производства (анализ чертежей конструкции, моделирование изготовления, отработку технологических звеньев предприятия, определение правил изготовления для каждого конкретного задания на каждом рабочем месте);

- решение задач проектирования с учетом факторов, связанных с системами автоматизации решения задач организации производства и управления;

- принятие в процессе проектирования наиболее рациональных и оптимальных решений.

Таким образом, САПР должны обладать следующими свойствами: универсальность, многофункциональность, комплексность, и для них должна быть характерна общность свойств любых сложных кибернетических систем (открытость для дополнения их новыми программами, надежность работы, доступность информации, адаптивность к внешней среде, тиражируемость).

Автоматизация проектирования в машиностроительном производстве – часть комплексной проблемы автоматизации инженерного труда во всех сферах функционирования современной производственной системы. Следовательно, при создании систем автоматизации проектирования должны быть учтены ее связи в общем комплексе автоматизации инженерной деятельности в производственном цикле.

В целом автоматизация труда инженера охватывает планирование задания, конструкторско-технологическую подготовку производства, управление производственной системой.

1.3. Понятие о конструкторско-технологической подготовке производства

Производственный процесс формально представляет собой ряд процедур, между которыми существуют определенные связи. Именно наличие связей свойств материалов и размерных связей обеспечивает качество изготавливаемой продукции. При этом можно выделить два вида связей: внутри технологической системы предприятия и связи "предприятие - внешняя среда" (рис.3).

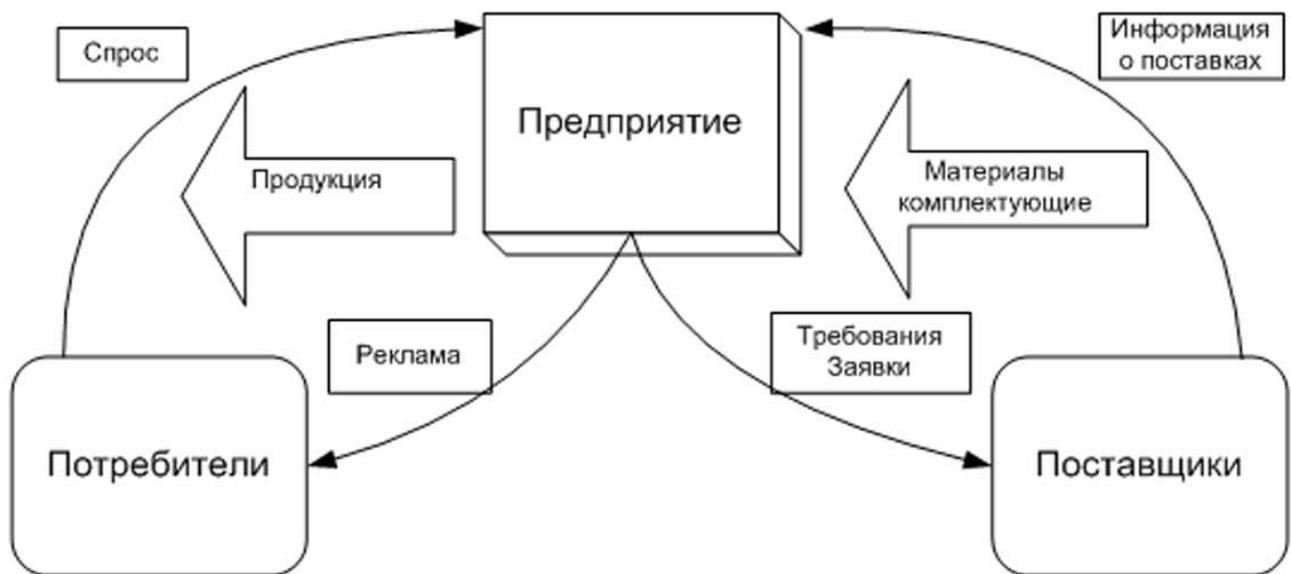


Рис. 3. Материальные и информационные связи в системе "Предприятие – внешняя среда"

Все объекты производства связаны между собой определенными связями: свойств материалов, временными, размерными, экономическими и информационными (рис.4). Связи устанавливаются на этапе технологической подготовки производства, которая, согласно ГОСТ Р 50995.3.1-96, представляет собой "...вид производственной деятельности предприятия (группы предприятий), обеспечивающий технологическую готовность производства к изготовлению изделий, отвечающих требованиям заказчика или рынка данного класса изделий".

Разработка технологии изготовления изделия представляет собой элемент конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). КТПП как проектная процедура должна решать задачи, направленные на обеспечение выпуска нового изделия установленного качества и в требуемом количестве. К ним относятся:

- 1) разработка конструкторской документации;
- 2) разработка технологических процессов;
- 3) проектирование средств технологического оснащения;
- 4) временное планирование производственного процесса.

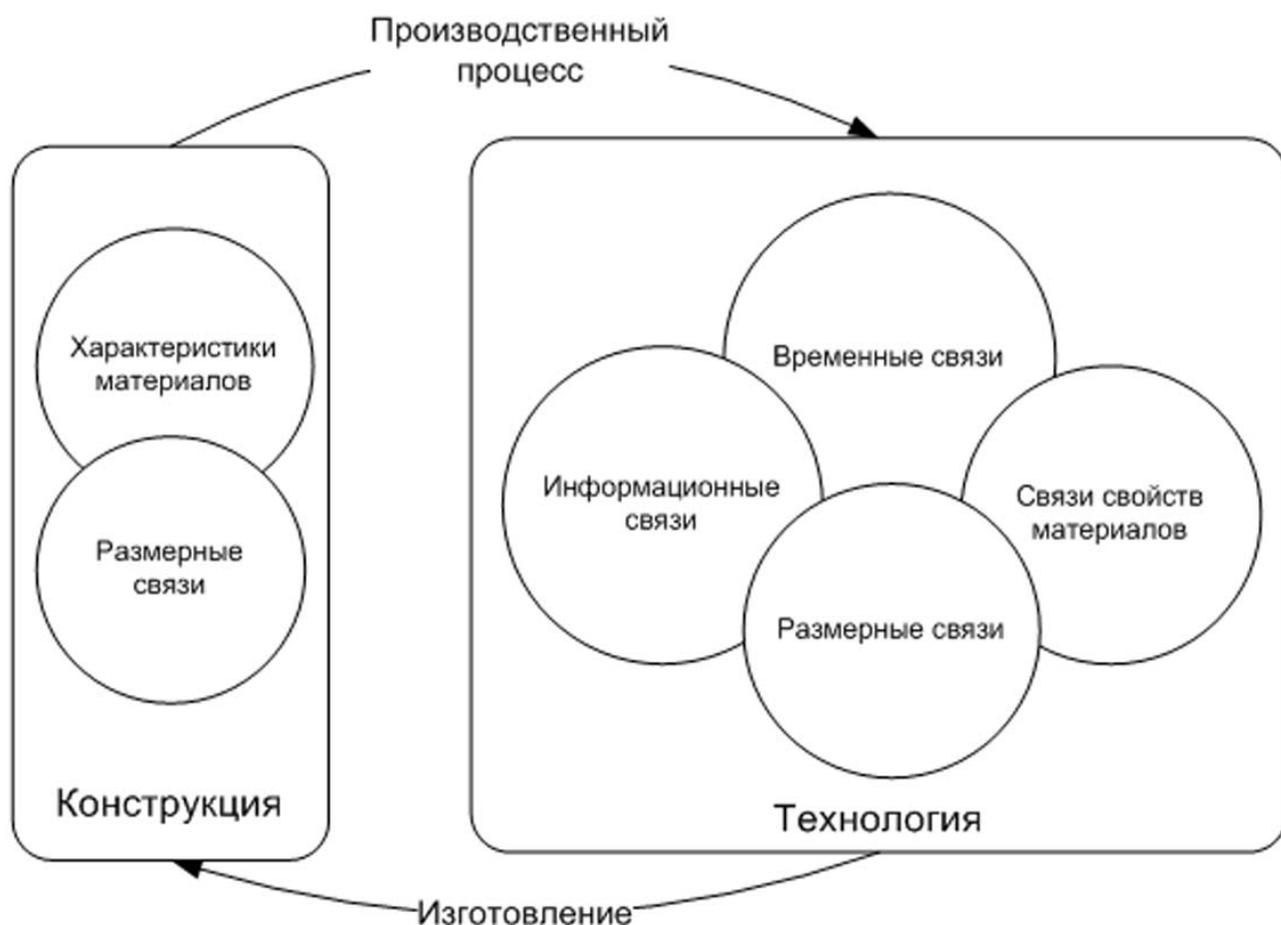


Рис. 4. Связи в производственном процессе (по И.М. Колесову)

Разработка технологических процессов содержит ряд этапов: выбор исходных заготовок, выбор технологических баз, поиск типового техпроцесса, задание последовательности операций и их нормирование и т.д.

Для выполнения каждой из проектных процедур исполнитель (конструктор, технолог) использует значительный объем информации, которую можно подразделить на три вида (табл. 1).

На рис. 5 отображена схема основных информационных потоков в процессе КТПП, наличие которых необходимо для выполнения соответствующих проектных процедур конструкторами и технологами.

На вход поступает техническое задание (ТЗ) на проектирование. ТЗ делятся на два вида: ориентированные на модификацию ранее созданного проектного решения и ориентированные на достижение заданных пользователем свойств, что предполагает создание новой конструкции. В первом случае задача значительно облегчается при

заимствовании конструкторских и технологических проектных решений из архива.

Конструктор в процессе своей деятельности создает новое изделие либо вносит изменения в модифицируемое. Затем в ряде случаев выполняется прочностной расчет методом конечных элементов. Часто в экспериментальном производстве изготавливается прототип изделия для испытаний.

Таблица 1

Виды информации, используемой при КТПП

Проектная процедура	Информация		
	1	2	3
Разработка конструкторской документации	Справочники свойств материалов; требования ЕСКД; классификаторы продукции	Каталог конструкторских проектных решений	Технические требования к проектируемому изделию
Разработка техпроцессов и проектирование оснастки	Требования ЕСТД; каталоги стандартных оборудования и оснастки; нормы времени	Каталоги типовых техпроцессов; каталоги имеющихся оборудования и оснастки	Рабочие чертежи деталей
Маршрутизация	–	Каталоги имеющегося оборудования	Техпроцессы изготовления деталей
Календарное планирование	Нормы времени	Каталоги имеющихся складов для хранения заделов	Маршруты прохождения деталей по цехам

Примечания: 1 – нормативная информация, общая для всей отрасли; 2 – информация, относящаяся к конкретному предприятию; 3– информация, относящаяся к изделию, для которого выполняется КТПП

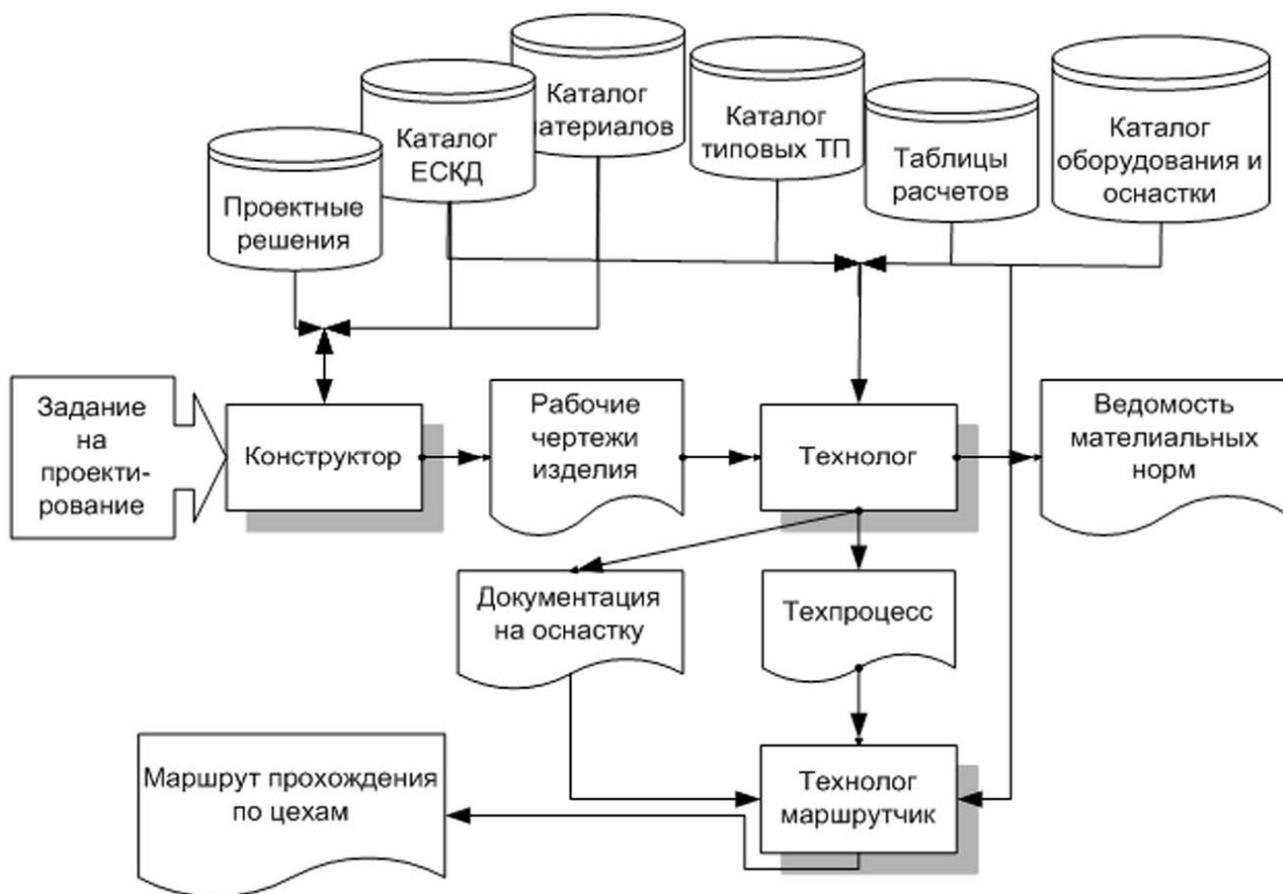


Рис. 5. Основные информационные потоки в процессе КТПП

Как видно, весь процесс КТПП довольно сложен и объемен. Трудоемкость КТПП составляет до 70 % от общей трудоемкости выпуска изделия. За последние 20 лет период нахождения изделия в производстве сократился в 2-3 раза, при этом срок подготовки производства сложных изделий составляет от 0,5 до 2 лет. Это связано с постоянным усложнением изделий машиностроения, повышением требований к себестоимости, экономичности, безопасности. Поэтому очень актуально быстрое и эффективное выполнение тех процедур КТПП, которые, во-первых, выполняются в обязательном порядке, а во-вторых, в основном определяют себестоимость изделия. Сюда следует отнести конструкторское проектирование изделия (определение материалоемкости детали) и технологические процедуры, в том числе материальное и техническое нормирование, а также оптимизацию производства и управления им (табл. 2).

От оптимальности принимаемых при выполнении данных процедур проектных решений зависит себестоимость изделия и, как следствие, сама возможность его производства. Поэтому на этапах

КТПП должны использоваться средства оперативного и точного выполнения проектных процедур, определения текущей материалоемкости изделия и влияния на нее принимаемых проектных решений, а также средства оценки проектных решений из критерия максимального повышения вероятности достижения основной цели производственного процесса - выпуска изделия в необходимом количестве в требуемые сроки с установленными показателями качества.

Таблица 2

Решение задач конструкторско-технологической подготовки производства с помощью средств информационного и программного обеспечения

Задачи конструкторско-технологической подготовки производства		Средства		
		1	2	3
Конструкторские	Конструирование (объектов производства и технологического оснащения)	+	+	—
	Художественное конструирование	+	—	+
	Внесение изменений в конструкцию	+	—	+
	Контроль движений элементов конструкции	+	—	—
	Эмуляция сборки	+	—	—
	Оформление конструкторской документации	+	—	—
	Контроль конструкторской документации	±	—	—
	Конструкторские расчеты, в том числе: расчеты размерных цепей прочностные, тепловые и т. п.	—	—	+
		+	+	—
	Оптимизация конструкций	±	±	+
	Принятие решений	—	—	+
Использование баз данных конструкций и их элементов	+	—	+	
Технологические	Определение последовательности обработки	—	—	+
	Выбор технологических баз	—	—	+
	Расчет припусков	—	—	+
	Расчеты технологических размерных цепей	—	—	+
	Выбор режущих инструментов и определение их параметров	±	—	+
	Определение режимов обработки	—	—	+
	Оформление технологической документации	+	—	+
	Изменение технологической документации	+	—	+

Задачи конструкторско-технологической подготовки производства		Средства		
		1	2	3
Технологические	Подготовка управляющих программ для изготовления и контроля на оборудовании с ЧПУ	+	—	—
	Контроль обработки	+	—	+
	Выбор средств контроля и определение их параметров	—	—	+
	Принятие решений	—	—	+
	Использование баз данных производственной системы	+	—	—
	Нормирование технологического процесса	—	—	+
Организационно-управленческие	Организация взаимодействия специалистов	+	—	+
	Документооборот	+	—	+
	Защита информации	±	—	+
	Диспетчирование, планирование	—	—	+

Примечания: 1 – системы CAD/CAM/CAE; 2 – системы конечноэлементного анализа при расчете конструкции; 3 – специализированные программные средства; "+" – достаточно полное решение задачи данными средствами; "—" – задача данными средствами не решается; "±" – задача данными средствами решается не в полной мере.

1.4. Анализ системы ТПП как объекта проектирования

Технологическая подготовка производства, являясь составной частью технической подготовки производства, представляет собой сложный комплекс организационно-технических мероприятий и инженерно-технических работ, направленных на подготовку изготовления новых изделий. При этом главной задачей ТПП является обеспечение выпуска нового изделия в короткие сроки и с наименьшими затратами.

Содержание, объем и организация технологической подготовки производства во многом зависят от типа и масштаба производства. В единичном и мелкосерийном производстве технологическая подготовка составляет 25 %, в серийном - до 50 %, в крупносерийном и массовом - до 70 % от всего объема работ по технической подготовке производства новых изделий.