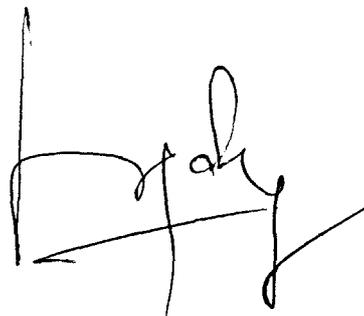


МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(Государственный технический университет)

61 07-5/5499

На правах рукописи

Зыонг Куок Зунг
(республика Вьетнам)



**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА
В ПРОЦЕССЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Специальность 05.02.23 – Стандартизация и управление
качеством продукции

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: к.т.н., доцент
ГОЛОВИН Дмитрий Леонидович

Москва - 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Список условных сокращений	5
Введение	7
Глава 1. Концепция технологического проектирования	22
1.1. Сущность технологического проектирования и управление технологическим проектом	22
1.2. Декомпозиция процесса технологического проектирования	27
1.3. Управление технологическим проектированием.....	29
1.4. Анализ систем поддержки принятия решений.....	31
1.5. Концепция технологического проектирования и управление технологическим проектом в условиях CALS/ИПТ техноло- гий	32
1.5.1. Управление коммуникациями проекта	35
1.5.2. Концепция системы принятия решений при технологи- ческом проектировании	38
Выводы по главе 1	40
Глава 2. Модель многоуровневого технологического проектиро- вания сложного изделия.....	42
2.1. Анализ автоматизированных систем формирования структур технологических процессов.....	42
2.2. Построение системы автоматизированного проектирования на основе структурированных технологических схем изготовле- ния сложного изделия	45

2.3. Модель автоматизированной системы формирования технологических структур изготовления сложного изделия.....	49
2.4. Формирование множества конструктивно-технологических решений (КТР) для элементов конструкции ЛА.....	58
Выводы по главе 2.....	63
Глава 3. Формирование системы критериев для комплексной оценки качества технологических проектных предложений.....	64
3.1. Конкурентоспособность предприятия и классы критериев качества	64
3.2. Критерии качества на верхнем уровне технологического проектирования.....	69
3.3. Критерии качества на среднем и нижнем уровне технологического проектирования	77
3.4. Структурирование показателей качества технологического проекта	89
Выводы по главе 3.....	94
Глава 4. Методика экспертизы проектных технологических предложений	96
4.1. Принятие решений на этапах технологического проектирования	96
4.2. Использование метода анализа иерархий при технологическом проектировании	98
4.3. Этапы проведения экспертизы технологических предложений	105
Выводы по главе 4.....	119
Глава 5. Реализация системы обеспечения качества проектных технологических предложений.....	123

5.1. Описание программного комплекса.....	123
5.2. Пример формирования вариантов технологических процессов изготовления изделия «Рама» и их поэтапной многокритери- альной оценки	126
5.3. Анализ методов неразрушающего контроля сварного со- единения	133
Выводы по главе 5.....	158
Заключение	160
Список литературы.....	165

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ABS	: Account Breakdown Structure.
CPM	: Concentric project management (Концентрическое управление проектами).
ERP	: Система управления ресурсами предприятия.
SWOT	: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats — преимущества, слабые стороны, возможности, угрозы.
БД	: База данных.
БРЭО	: Бортовое радиоэлектронное оборудование.
ВП	: Выходные параметры.
ВУК (TQM)	: Всеобщее управление качеством (Total quality management).
ДТП	: Директивные технологические процессы.
ЕИП	: Единое информационное пространство.
ЕСКД	: Единая система конструкторской документации.
ЖЦ	: Жизненный цикл.
ИИС	: Интегрированная информационная среда.
ИС	: Индекс согласованности.
ИСР (RBS)	: Иерархическая структура ресурсов (Resource Breakdown Structure).
ИЭТР	: Интерактивное электронное техническое руководство.
КД	: Конструкторская документация.
КИМ	: Координатно-измерительная машина.
КТР	: Конструктивно-технологическое решение.
КТЭ	: Конструкторско-технологический элемент.
ММ	: Математическая модель.
ПО	: Программное обеспечение.
РТП	: Рабочие технологические процессы.
САПР ТП	: Система автоматизированного проектирования

технологических процессов.

- СИ : Свойства изделия.
- СМК : Система менеджмента качества.
- СО : Отношение согласованности.
- СП : Сборочное приспособление.
- СРР (WBS) : Структура разбиения работ (Work breakdown structure).
- ССО (OBS) : Структурная схема организации – Организационная структура предприятия (Organization Breakdown Structure).
- СУБД : Система управления базами данных.
- ТСП : Типовое сочетание поверхности.
- ТЭМ : Технологический электронный макет.
- ЧПУ : Числовое программное управление.
- ЭМ : Электронный макет.
- ЭЧ : Электронный чертеж.

ВВЕДЕНИЕ.

Практика мирового авиастроения показывает, что успешная работа производителя авиационной техники на рынке требует постоянного совершенствования деятельности, связанной с непрерывным улучшением качества выпускаемой продукции. Решение данной проблемы в первую очередь связано с эффективностью принимаемых конструкторских и технологических решений, совершенствованием производственных процессов и технологии изготовления. Осуществление перечисленных мероприятий требует больших капиталовложений и временных ресурсов. Это увеличивает экономический риск производителя авиатехники, связанный с опасностью понести большие убытки, если продукция не будет пользоваться достаточным спросом.

Наиболее перспективным решением для снижения указанного риска является обеспечение качества продукции на начальных этапах жизненного цикла (на этапах конструкторско-технологического проектирования). Анализ качества и его обеспечения целесообразно производить уже при разработке технического задания, что предусмотрено нормативной документацией, устанавливающей порядок разработки и постановки продукции на производство. На данном этапе рассматривается, как правило, ряд схемных вариантов и выполняется отбор допустимых конструктивно-технологических решений. В настоящее время такой анализ проводит сам разработчик авиатехники, принимая окончательные решения, исходя из собственного опыта, используя различные средства моделирования, функционального анализа, данные испытаний и др. В соответствии с требованиями международных стандартов ИСО 9001:2000 года при анализе проекта должны быть учтены требования и пожелания всех заинтересованных сторон. Таким образом, актуальной задачей является разработка новых методов оценки и обеспечения качества продукции на стадии технологического проектирования, позволяющих производителю принимать эффективные конструкторско-технологические решения.

При создании новых самолетов необходимо опираться на долговременные прогнозы конъюнктуры рынка и финансовой ситуации, реальную производственную ситуацию, мировой опыт в области авиастроения и др. Конструкция самолета должна быть рациональной, высокотехнологичной и позволять создавать технологический проект его материализации, обеспечивая при этом высокое качество и в конечном итоге высокую конкурентоспособность авиационного предприятия. С появлением новых информационных технологий появляется возможность на ранних стадиях создания технологического проекта обеспечить его качество. Для этого должны быть внедрены системы автоматизации проектирования технологических процессов, в значительной степени улучшены процессы принятия решений по выбору конкретных технологий из альтернатив на основе обоснованных критериев качества, улучшены коммуникационные связи для учета мнения экспертов при принятии конечных технологических решений.

Для успешного решения этих проблем процесс создания технологического проекта рассматривается как сложная система подпроцессов, с различными уровнями иерархии, объединенными функциональными и структурными связями для реализации инновационных технологий.

В рассматриваемой области исследования и близких к ней областях известны работы целого ряда иностранных и отечественных ученых, среди которых работы Адлера Ю.П., Азарова В.Н., Азгальдова Г.Г., Белобрагина В.Я., Бойцова В.В., Бойцова Б.В., Версана В.Г., Гличева А.В., Глудкина О.П., Дубицкого Л.Т., Комарова Д.М., Круглова М.И., Крянева Ю.В., Лapidуса В.А., Огвоздина В.Ю., Окрепилова В.В. и др., а также Э.Деминга, Д.Джурана, К.Исикавы, Ф.Кросби, Г.Тагути, А.Фейгенбаума, Х.Д. Харрингтона, В. Шухарта и др.

Однако в рамках существующих теоретических исследований по управлению качеством процессов технологического проектирования авиационной техники не решены задачи разработки научно-методического обеспечения оценки технологических решений по этапам технологического проек-

та. Необходим единый методологический подход с привлечением современных средств математического моделирования и информационных технологий, позволяющих:

- во-первых, наиболее полно, всесторонне формировать варианты технологических стадий изготовления изделия;
- во-вторых, выбрать оптимальный вариант технологий изготовления с учетом многих критериев.

Необходимость минимизации затрат времени и средств на проектирование, производство и эксплуатацию при многообразии и неоднозначности принятия конструкторско-технологических решений, а также необходимость обеспечения качества технологического проекта, подтверждает актуальность выбранного направления исследования.

Важность решения указанных задач существенно возрастает в рамках активно развивающихся процессов интеграции предприятий по профилю продукции в условиях CALS/ИПИ технологий.

Все это подтверждает актуальность избранной темы диссертации и обуславливает целесообразность проведения диссертационного исследования.

Опыт лидеров мировой промышленности показывает, что ключевыми факторами достижения эффективной и производительной организации труда являются реорганизация схемы прохождения информационных потоков, оптимизация организационной структуры предприятий и схемы управления производственными процессами. При этом формируется единое информационное пространство, в котором создается и поддерживается информационная модель изделия на протяжении его жизненного цикла.

Чтобы выйти на мировой рынок продукция и ее производство должны пройти международную сертификацию, подтверждающую ее качество и высокие характеристики. При этом сертификации подвергается не только само изделие, но и методы его проектирования, изготовления, способы и формы передачи информации об изделии и т.д. Требования к представлению необ-

ходимой информации увязываются с современными стандартами на техническую документацию, для которой основной средой создания, хранения и обмена становится электронное пространство.

Одним из условий реализации этих требований является создание системы менеджмента качества (СМК), обеспечивающей выполнение современных требований международных стандартов при разработке продукта, подготовительных и производственных процессов и сертификации предприятий по этим стандартам.

Подготовка серийного производства должна осуществляться на основе полного электронного описания конструкции изделия.

Система технологического проектирования должна обеспечивать:

- возможность параллельного конструкторско-технологического проектирования изделий в цифровой информационной среде в условиях перехода на бесплазмовую подготовку производства и организацию электронного документооборота;

- использование электронной конструкторской модели изделия в качестве исходных данных для проектирования технологических процессов и средств технологического оснащения;

- формирование технологических электронных моделей изделий и их использование для моделирования и визуализации технологических процессов;

- анализ рабочих зон сборочных единиц с использованием электронных макетов сборочной оснастки и антропометрических макетов исполнителей;

- формирование комплекта технологической документации;

- формирование и ведение информационной среды сборочных работ.

Внедрение таких систем приводит к снижению трудоемкости проектирования технологических процессов в 3-5 раз.

В области CALS/ИПИИ технологий исследования и близких к ней областях известны работы целого ряда иностранных и отечественных ученых, среди которых работы Судова Е.В, Пичева С.В., Левина Б.Н., Иванова В.Ю.,

Бойцова Б.В., Куприкова М.Ю, Яцкевича А.И., Бакаева В.В., Цыrkова А.В. и др. ученых.

Следующим этапом развития систем технологической подготовки производства является их интеграция с системами автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) и экспертными системами для оценки и принятия более обоснованных решений на основе многокритериальной оптимизации проектно-технологических решений.

САПР ТП являются важным фактором ускорения процессов технологического проектирования и улучшения их качества на основе преемственности типовых технологических решений.

Известны многие работы в этой области отечественных ученых, среди которых работы Горанского Г.К., Цветкова В.Д., Чударева П.Ф., Павлова В.В, Головина Д.Л., Комарова Ю.Ю., Капустина Н.М. и др. ученых.

Известны также и промышленные образцы системы автоматизации проектирования технологических процессов такие как «Вертикаль», «Темп» и др.

К сожалению, большинство существующих систем носят узко ориентированный характер и не предполагают анализ альтернативных вариантов технологических решений на основе многокритериальной экспертизы в интегрированной системе проектирования.

Вопросы принятия решений в интегрированных системах обеспечения качества проектных технологических решений считаются ключевыми.

Так А.В. Гличев в своей основополагающей работе «Основы управления качеством продукции» пишет – «Качество принимаемых решений предопределяет эффективность системы качества».

Вопросам многокритериальности и выбору альтернативы в технике посвящены работы отечественных и зарубежных ученых: Т.Р. Брахман, Саати К., Кернс К., Волченков А.В., Швецов А.Н., Деткова Н.М., Голубев И.С., Парафесь С.Г., Евланов Л.Г., Солодов В.М. , Козлов М.К., Федюкин В.К., Дурнев В.Д., Ларичев И.О. и др.

Одной из важнейших стадий жизненного цикла сложных наукоемких изделий является стадия его разработки – стадия, когда закладывается качество будущего изделия. Для управления качеством проектируемого изделия очень важно иметь инструментарий, позволяющий измерять качество изделия, прежде всего на проектной стадии его жизненного цикла.

В настоящее время оценка качества – одна из важнейших задач экспертизы технических систем.

Экспертиза проектных решений играет важную роль в управлении качеством процесса разработки новой техники, главной задачей которого является обеспечение конкурентоспособности новой техники. Если создание новой техники ориентировано на использование достижений научно-технического прогресса и при этом решения, принимаемые на каждой стадии жизненного цикла технической системы, достаточно обоснованы, то высокое качество такой технической системы можно считать обеспеченным. В соответствии с этим задача управления качеством состоит, прежде всего, в проверке обоснованности принимаемых решений.

Несовершенный проект, ни при каких обстоятельствах, не обеспечит высокое качество продукции. Анализ и оценка обоснованности проектных решений возлагаются на экспертизу проектов.

Сущность экспертизы как научного метода заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой результатов. Обобщенное мнение группы экспертов принимается как решение проблемы. Все многообразие решаемых экспертами задач сводится к двум типам: системный анализ проектного предложения и параметрический анализ. Системный анализ имеет целью подтвердить целесообразность (или нецелесообразность) создания нового образца техники, оценить его технический уровень и экономическую эффективность с учетом требований и возможностей технической системы более высокого уровня. Параметрический анализ проектного предложения состоит

в обосновании достоверности проектных параметров и характеристик технической системы, их реализуемости, важности целевых задач.

Настоящая работа посвящена разработке методологического и программного обеспечения формирования и экспертизе проектных технологических предложений для материализации сложных технических систем.

Объектом исследования в диссертационной работе является система технологического проектирования сложного наукоемкого изделия.

Предметом исследования являются процессы формирования технологического проекта и процессы обеспечения его качества.

Целью диссертационного исследования является исследование и разработка методики и инструментария для оценки и обеспечения качества технологического проекта сложного технического объекта типа самолет.

Данное исследование ориентировано, прежде всего, на проектную стадию жизненного цикла технической системы, когда закладывается качество проектируемой системы.

Для достижения указанной цели требуется решить следующие задачи:

1. Выполнить системный анализ информационных стратегий обеспечения качества при технологическом проектировании и создании технологического проекта.
2. Дать анализ существующих подходов к формированию проектных технологических решений и разработать математическую модель формирования технологических решений, которую можно использовать для создания автоматизированной системы технологического проектирования.
3. Выполнить системный анализ системы критериев, используемых на этапах технологического проектирования и предложить модель их использования.
4. Разработать методику и модель многокритериального, поэтапного оценивания технологических решений с учетом неполной и нестрогой системы предпочтений.

5. Разработать алгоритмы и программы формирования и оценки эффективности принимаемых технологических решений.
6. Осуществить апробацию предлагаемого метода обеспечения качества проектных технологических решений с получением результатов, иллюстрирующих его преимущества.

Методы исследования. В качестве методов исследования приняты методы анализа, синтеза и оптимизации сложных технических систем, математические и информационные модели состояния и динамики качества объектов. Использован подход, основанный на математической модели оптимизации в теоретико-множественной постановке. При декомпозиции задачи, разработке моделей и алгоритмов использовались принципы системного подхода. Математически задача обеспечения качества технологического проекта сформулирована как задача многокритериальной, поэтапной оптимизации принимаемых технологических решений. Также использованы методы концепций Всеобщего управления качеством (TQM), методы системного анализа и теория сложных систем. При проведении исследований использованы достижения и разработки в области методологических основ технологического проектирования и основ обеспечения качества технологического проекта, изложенных в работах отечественных ученых и специалистов Абибова А.Л., Бирюкова Н.М., Бойцова В.В., Григорьева В.П., Зернова И.А., Чударева П.Ф., Ярковца А.И., Беянина П.Н., Балакшина Б.С., Крысина В.Н., Горбунова М.Н., Лысова М.И., Моисеева Ю.А., Чельшева С.В., Вигдорчика С.А., Дальского А.М., Подзея А.В., Амирова Ю.А., Бабушкина А.И. и др.

Научная повизна проводимых исследований состоит в разработке методологического подхода к комплексному обеспечению качества сложных технических систем (каким является технологический проект) в условиях внедрения CALS/ИПИ технологий. В разработке и реализации блока информационной поддержки и обеспечения качества отдельных процессов на этапах ЖЦ технологического проекта. В разработке математических моделей

системного, поэтапного формирования технологического проекта и модели многокритериальной оценки принимаемых технологических решений.

При построении системы обеспечения качества используются современные CAD/CAM/CAE/PDM/ERP системы и технологии разработки программных продуктов.

Достоверность результатов. Результаты работы подтверждаются сопоставлением полученных данных с результатами других авторов и их практической проверкой.

Практическая значимость работы заключается в создании высокоинтеллектуального инструмента обеспечения качества технологического проекта – поэтапной автоматизированной системы формирования технологического проекта и «экспертной системы», позволяющей эффективно и достоверно проводить измерение качества исследуемых технических систем и управление ими, в том числе, в условиях неполной информации об анализируемой технической системе. Результаты работы внедрены в учебный процесс кафедры «Технологическое проектирование и управление качеством» и используются в инженерном центре ОКБ имени А.И. Микояна.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных конференциях: IV международная конференция «Авиация и космонавтика – 2005» (Москва, 2005), V международная конференция «Авиация и космонавтика – 2006» (Москва, 2006), VI международная конференция «Авиация и космонавтика – 2007» (Москва, 2007), XIII международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века» (Севастополь, 2006); на научно-методических семинарах кафедры «Технологическое проектирование и управление качеством» Московского авиационного института (государственного технического университета). Основные положения диссертации опубликованы в шести работах.

В первой главе проведен системный анализ процессов технологического проектирования при создании технологического проекта. Технологиче-

ское проектирование рассматривается как процесс специальных информационных преобразований с получением результата - проекта. Рассмотрены основные задачи технологического проектирования (проектирование изделия, обладающего свойством - технологичность; проектирование процессов материализации изделия; проектирование процессов контроля и испытаний; проектирование технологического оснащения, необходимого для реализации технологических процессов). Дан анализ построения системы технологического проектирования с позиций современного менеджмента управления проектами. Рассмотрена декомпозиция процесса технологического проектирования, роль ответственных за части технологического проекта и за принятие правильных технологических решений для обеспечения качества всего проекта. Рассматривается роль и важность коммуникаций при оценивании технологических вариантов.

Рассмотрены вопросы управления технологическим проектированием, как иерархической системы имеющей нескольких контуров регулирования. Организационные подразделения при этом являются или регуляторами, или объектами регулирования либо и тем и другим одновременно.

Дан анализ существующих систем поддержки принятия решений. Целью информационной системы поддержки принятия решений является организация и управление принятием решений при разработке и реализации проектов на основе современных технологий обработки информации.

Дан краткий анализ программных продуктов поддержки принятия решений.

Рассмотрена концепция технологического проектирования и управление технологическим проектом в условиях CALS/ИПИ технологий. Отмечается, что обеспечение требуемого качества продукции является одной из целей реализации концепции CALS/ИПИ технологий, поэтому система управления качеством (в терминах стандартов серии ИСО 9001-2000) относят к базовым технологиям управления.

Отмечается, что качество технологического проекта сложного изделия существенным образом влияет на качество производимой продукции. Многочисленные ошибки и недоработки, которые имеют место при существующей методологии проектирования, а также потери времени могут быть в значительной степени сокращены, если при создании проекта будут использоваться:

1. современные автоматизированные системы синтеза и анализа создаваемого технологического проекта;
2. базы технологических знаний и экспертные системы, позволяющие оперативно снабжать проектировщиков новой и достоверной информацией о технологических достижениях;
3. автоматизированные системы принятия решений, позволяющие для каждого уровня и этапа жизненного цикла технологического проекта оптимизировать принятия технологических решений;
4. автоматизированные системы управления конфигурацией технологического проекта;
5. автоматизированные системы контроля, управления и обеспечения технологических решений и технологической документации.

Оценка и обеспечение качества – одно из важнейших направлений технологии управления качеством в процессе жизненного цикла сложных изделий.

Ключевую роль в процессе формирования технологического проекта занимают системы автоматизированного проектирования, системы принятия решений (экспертные системы), системы управления данными.

Особенностью технологии управления качеством в рамках концепции ИПИ (CALS), как было отмечено выше, является возможность использования электронных данных, созданных в ходе различных процессов предприятия, для задач управления качеством. Это относится и к проектной стадии жизненного цикла сложного наукоемкого изделия.

Система обеспечения качества технологического проекта не должна ограничиваться только управлением проекта, но должна обеспечивать и качество самого технологического проекта.

Для этих целей предлагается в систему технологического проектирования встроить подсистему, основными элементами которой будут:

1. система формирования технологических решений;
2. система оценивания технологических решений;
3. система принятия решений;
4. система обеспечения коммуникаций.

Рассмотренный комплекс вопросов проектирования технологических процессов позволяют сформулировать концепцию обеспечения качества системы технологического проектирования и выполнить проблемную постановку задачи исследования.

Во второй главе дан анализ существующих методов технологического проектирования и систем, позволяющих ускорить процесс проектирования. Отмечаются недостатки существующих подходов, заключающихся в основном в недостаточной связанности процессов проектирования, в отсутствии методов многокритериального оценивания альтернативных вариантов, как с позиций развертывания функции качества, так и с позиций реальной оценки производственных возможностей и перспектив его развития. Отмечается необходимость улучшения процессов формирования технологических структур особенно на ранних этапах проектирования (директивные, маршрутные технологии).

Рассмотрена методология построения системы автоматизированного проектирования на основе комплексного метода и структурированных технологических схем изготовления сложного изделия. Разработана модель автоматизированной системы формирования технологических структур изготовления сложного изделия на основе комплексного подхода и построения опорного пространства в виде структурированных технологических схем изготовления сложного изделия. В системе используются модели для различ-

ных уровней проектирования, в том числе и для уровня переходов и переходов при проектировании технологических процессов.

Рассмотрена задача формирования множества конструктивно-технологических решений для элементов конструкции ЛА. Его суть состоит в исследовании строения (морфологии) сколь возможно широкого множества технических решений и выявлении на этой базе новых решений. Решение морфологической задачи можно представить состоящим из двух частей: анализа и синтеза. На стадии анализа формируется морфологическое множество решений – описание всех потенциально возможных (мыслимых) решений данной задачи. Это множество может быть представлено в виде морфологической таблицы или морфологического дерева. Характерной особенностью морфологического дерева является его упорядоченность: иерархическое построение, упорядоченное перечисление элементов и их признаков, четкая взаимосвязь элементов и признаков. На этапе морфологического синтеза надо из огромного числа технических решений, содержащихся в морфологической таблице, отобрать лучшие с точки зрения условия задачи и, значит, решить оптимизационную задачу в ее общей постановке. Общего алгоритма решения таких задач пока не существует.

В третьей главе выполнен анализ состояния и развития системы критериев при оценивании процесса технологического проектирования. Рассмотрена система критериев, по которым производится оценка качества и конкурентоспособности технической системы и предприятия. Формирование системы критериев для оценивания технологического проекта является сложной, творческой задачей. Сложность эта проистекает из-за многообразия оцениваемых процессов и предметов, тесной их взаимосвязи и противоречивости требований.

Дана укрупненная схема этапов технологического проектирования (условно разделенные на верхний, средний и нижний уровень принятия решений), возможные группы критериев для оценки технологических решений и основные средства поддержки принятия технологических решений. Рассмотрено

рена система показателей качества при технологическом проектировании, которая охватывает множество процессов, этапов процессов и предметов, участвующих в них. В основе лежит стратегическое совершенствование изделия, которое в дальнейшем детализируется.

Рассмотрены вопросы квалиметрии в технологическом проектировании. В этом случае оценивается как сам процесс, так и предметы участвующие в процессе (оборудование, технологическая оснастка, средства контроля, изготавливаемое изделие и т.д.).

В четвертой главе раскрывается содержание методологического подхода к проведению экспертизы. Методика экспертного оценивания проектных предложений и рекомендации по организации и проведению самой экспертизы.

Даются рекомендации по отбору и формированию экспертной группы, выбору формы опроса и метода экспертной оценки. Рассматриваются методы обработки и анализа результатов опроса, включая построение групповой оценки объектов, оценки согласованности оценок экспертов и надежности результатов экспертизы при различных методах экспертного оценивания.

Рассматривается методика экспертизы проектных предложений сложных технических систем, разработанной на основе одного из наиболее мощных и эффективных методов экспертизы – метода анализа иерархий. Методика экспертизы предполагает сравнительный анализ проектных предложений в соответствии со сформированной системой критериев качества технической системы.

В пятой главе дается описание программного комплекса, реализующего методики экспертизы проектных предложений технических систем. Программный комплекс состоит из двух частей. Первый программный комплекс предназначен для поэтапного формирования структур технологических процессов, построения возможных вариантов технологических процессов. Второй программный комплекс предназначен для проведения поэтапной экспертизы конкурентных проектных технологических предложений. Раскрываются

назначение и область применения программных комплексов, излагается последовательность работы пользователя в среде программного комплекса.

Приводится комплексный пример экспертизы проектных предложений сложного изделия «рама».

Каждая из пяти глав диссертации завершается выводами по главе.

В **заключении** приведены выводы, вытекающие из полученных в диссертации результатов.

В списке использованных источников перечислены работы, использованные при проведении диссертационного исследования.

ГЛАВА 1

КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1. Сущность технологического проектирования и управление технологическим проектом.

Основными задачами технологического проектирования являются проектирование изделия, обладающего свойством - технологичность; проектирование процессов материализации изделия (сборочных процессов, процессов монтажа, процессов изготовления деталей); проектирование процессов контроля и испытаний; проектирование технологического оснащения, необходимого для реализации технологических процессов (рис. 1.1.1).

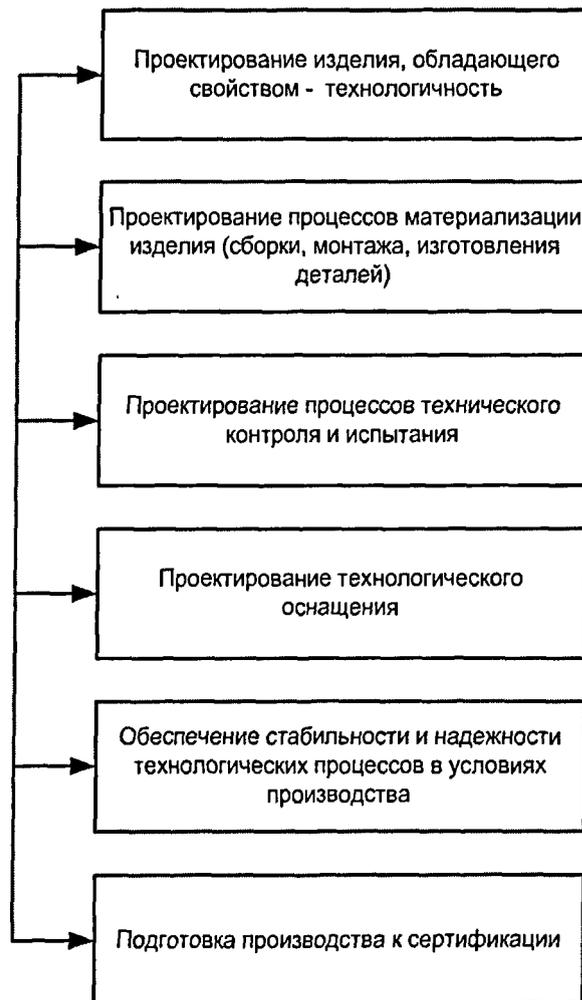


Рис. 1.1.1. Задачи технологического проектирования.

Проект — некоторая задача с определенными исходными данными и требуемыми результатами (целями), обуславливающими способ ее решения.

Проект включает в себя замысел (проблему), средства его реализации (решения проблемы) и получаемые в процессе реализации результаты.

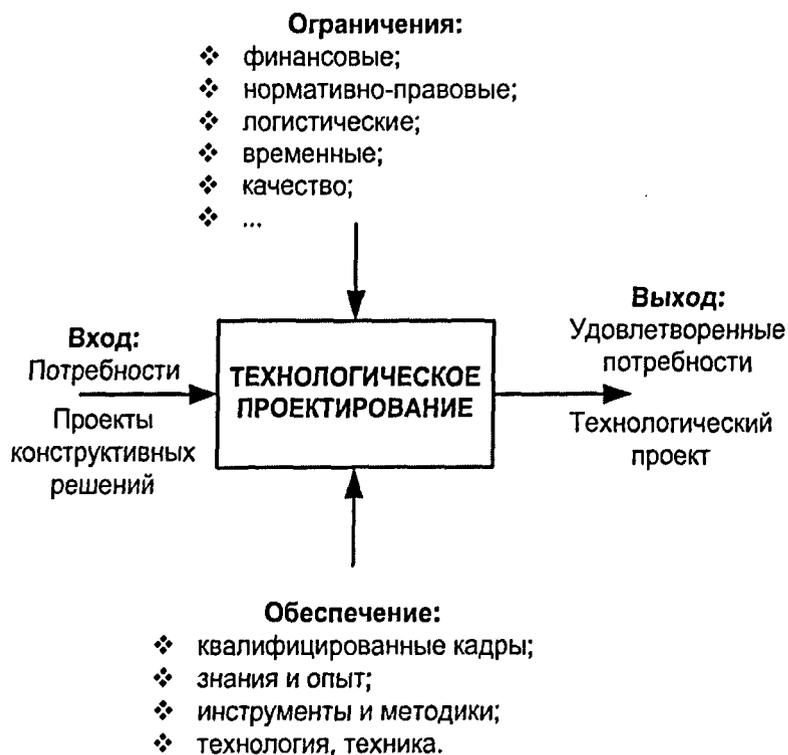


Рис. 1.1.2. Технологическое проектирование.

Управление проектом [17-21] представляет собой методологию организации, планирования, руководства, координации человеческих и материальных ресурсов на протяжении жизненного цикла проекта, направленную на эффективное достижение его целей путем применения системы современных методов, техники и технологий управления для достижения определенных в проекте результатов по составу и объему работ, стоимости, времени, качеству.

Одной из ключевых функций управления проектом наряду с таким, как управление стоимостью и временем, является управление качеством проекта.

Качество — это целостная совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные или предполагаемые потребности.

Обычно потребности формулируются с помощью характеристик на основе установленных критериев. Потребности могут включать в себя, например, эксплуатационные характеристики, функциональную пригодность, на-

дежность (ресурс, безотказность, ремонтпригодность), безопасность, воздействие на окружающую среду, экономические, эстетические требования.

Принято различать четыре ключевых аспекта качества [17] при проектировании:

1. Качество, обусловленное соответствием рыночным потребностям и ожиданиям. Этот аспект качества достигается благодаря эффективному определению и актуализации потребностей и ожиданий потребителя в целях их удовлетворения требований потребителя и точному анализу возможностей рынка.
2. Качество разработки и планирования проекта. Вторым аспектом является качество, достигаемое благодаря тщательной разработке самого проекта и его продукции.
3. Качество выполнения работ по проекту в соответствии с плановой документацией. Третьим аспектом является качество, обеспечиваемое благодаря поддержанию соответствия реализации проекта его плану и обеспечению разработанных характеристик продукции проекта и самого проекта и произведенных ценностей для потребителей и других заинтересованных лиц.
4. Качество материально-технического обеспечения проекта на протяжении всего его жизненного цикла.

Управление качеством осуществляется на протяжении всего жизненного цикла технологического проекта. При этом есть тесная взаимосвязь между этапами проекта (фазами), функциями управления и подсистемами управления проектом.

Современная концепция менеджмента качества имеет в своей основе следующие основополагающие принципы:

- качество — неотъемлемый элемент проекта в целом (а не некая самостоятельная функция управления);
- качество — это то, что говорит потребитель, а не изготовитель;
- ответственность за качество должна быть адресной;

- для реального повышения качества нужны новые технологии;
- повысить качество можно только усилиями всех работников предприятия;
- контролировать процесс всегда эффективнее, чем результат (продукцию);
- политика в области качества должна быть частью общей политики предприятия.

Эти принципы лежат в основе наиболее популярного и методологически сильного направления в управлении качеством — Всеобщего управления качеством Total Quality Management (далее - TQM) и легли в основу стандарта ИСО 9001-2000.

Управление проектом — это система методов, средств и видов деятельности, направленных на выполнение требований и ожиданий клиентов проекта к качеству самого проекта и его продукции.

Таким образом, можно выделить менеджмент качества самого проекта и менеджмент качества продукции проекта.

Управление качеством включает в себя все функции общего руководства по разработке политики в области качества, установления целей, полномочий и ответственности, а также процессы планирования, контроля и обеспечения качества, с помощью которых в рамках системы качества происходит реализация данных функций. Структура менеджмента качества изображена на рис. 1.1.3.

В результате планирования качества появляется план качества (план организационно-технических мероприятий по обеспечению системы качества проекта), который должен описывать конкретные мероприятия по реализации политики в области качества с указанием сроков выполнения.

Контроль качества — отслеживание конкретных результатов деятельности по проекту в целях определения их соответствия стандартам и требованиям по качеству и определения путей устранения причин реальных и потенциальных несоответствий.

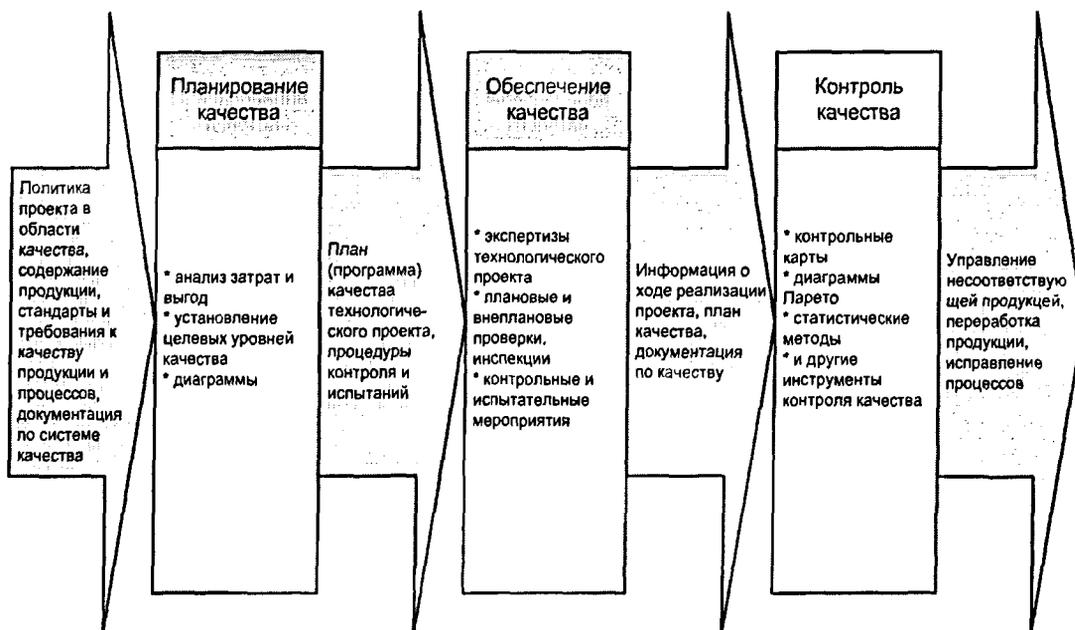


Рис. 1.1.3. Структура управления качеством технологического проекта.

Для контроля качества необходима информация о ходе реализации проекта, план качества, документация по качеству.

Организация обеспечения качества в управлении проектом по укрупненным фазам проекта представлена на рис. 1.1.4.



Рис. 1.1.4. Укрупненные фазы обеспечения качества.

Управление качеством проекта требует системного подхода, реализация которого в современной практике осуществляется в виде создания стандартизированных систем менеджмента качества, представляющих собой со-

вокупность документированных методик. Сертификация продукции является обязательным требованием со стороны государства и поэтому представляет собой важнейшую деятельность в рамках управления проектом.

1.2. Декомпозиция процесса технологического проектирования.

Для эффективного управления проектами система должна быть хорошо структурирована. Особенно это важно для технологического проекта сложного наукоемкого изделия типа самолет.

Суть *структуризации* (говорят также *декомпозиции*) сводится к разбивке проекта и системы его управления на подсистемы (процессы) и компоненты, которыми можно управлять.

Качество технологического проекта сложного изделия существенным образом влияет на качество производимой продукции. В тоже время на качество технологического проекта влияет множество факторов, которые необходимо учитывать на различных стадиях технологического проектирования.

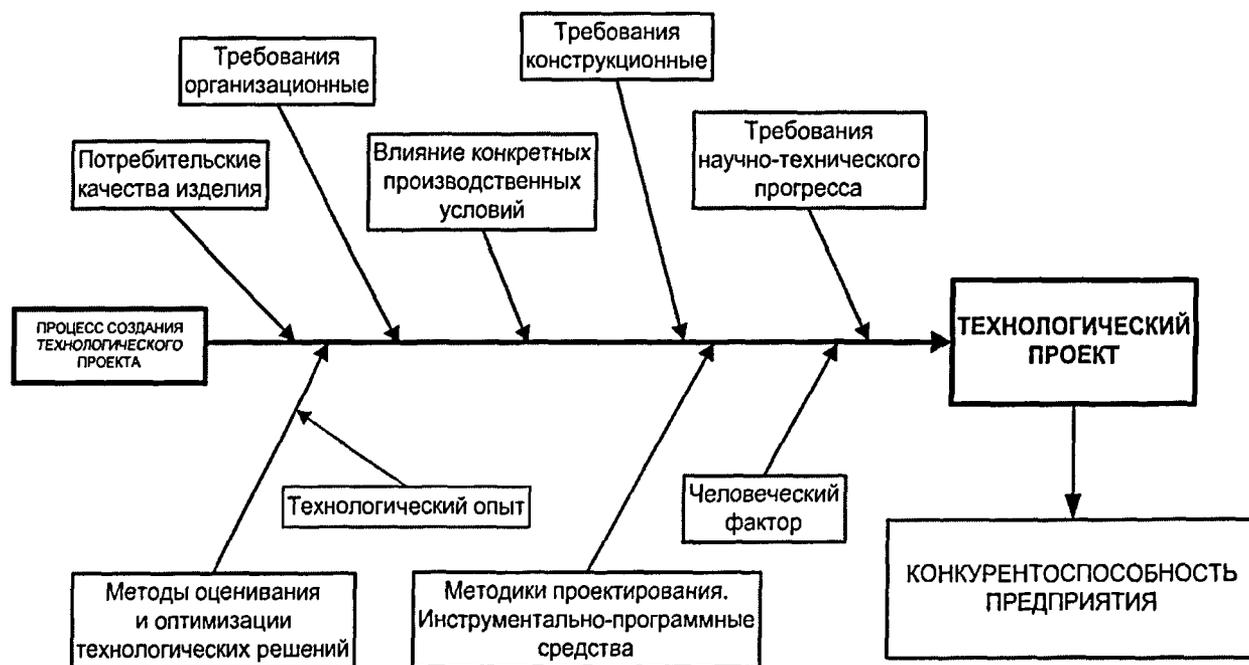


Рис.1.2.1. Основные факторы, влияющие на качество технологического проекта.

На этапе стратегического планирования технологического проекта могут быть использованы различные методы дополнительного анализа в системах управления качеством. Например, метод SWOT - анализа (Strengths,

Weaknesses, Opportunities and Threats — преимущества, слабые стороны, возможности, угрозы) часто используются для целей стратегического планирования.

Структура разбиения (декомпозиции) работ (СРР) (WBS — Work Breakdown Structure) — иерархическая структура последовательной декомпозиции проекта на подпроекты. СРР является базовым средством для создания системы управления проектом, так как позволяет решать проблемы организации работ, распределения ответственности, оценки стоимости, создания системы отчетности, эффективно поддерживать процедуры сбора информации о выполнении работ и отображать результаты в информационной управленческой системе для обобщения графиков работ, стоимости, ресурсов и дат завершения.

Уровень детализации СРР зависит от содержания проекта, квалификации и опыта команды проекта, применяемой системы управления, принципов распределения ответственности в команде проекта, существующей системы документооборота и отчетности и т.д.

Иерархическая структура проекта, создаваемая на основе СРР, позволяет применять процедуры сбора и обработки информации о ходе выполнения работ по проекту в соответствии с уровнями управления, пакетами работ, обобщать информацию по графикам работ, затратам, ресурсам и срокам.

Реализация проекта происходит в рамках организационной формы, структура которой в значительной степени влияет на сам проект.

Структурная схема организации (ССО) и матрица ответственности являются двумя инструментами, призванными помочь ответственному в создании команды, отвечающей целям и задачам проекта. ССО является описанием организационной структуры, необходимой для выполнения работ, определенных в СРР. Целью ССО является определение состава и распределение обязанностей исполнителей для работ, входящих в СРР. Использование этих структур в процессе построения матрицы ответственности можно видеть на рис. 1.2.2.

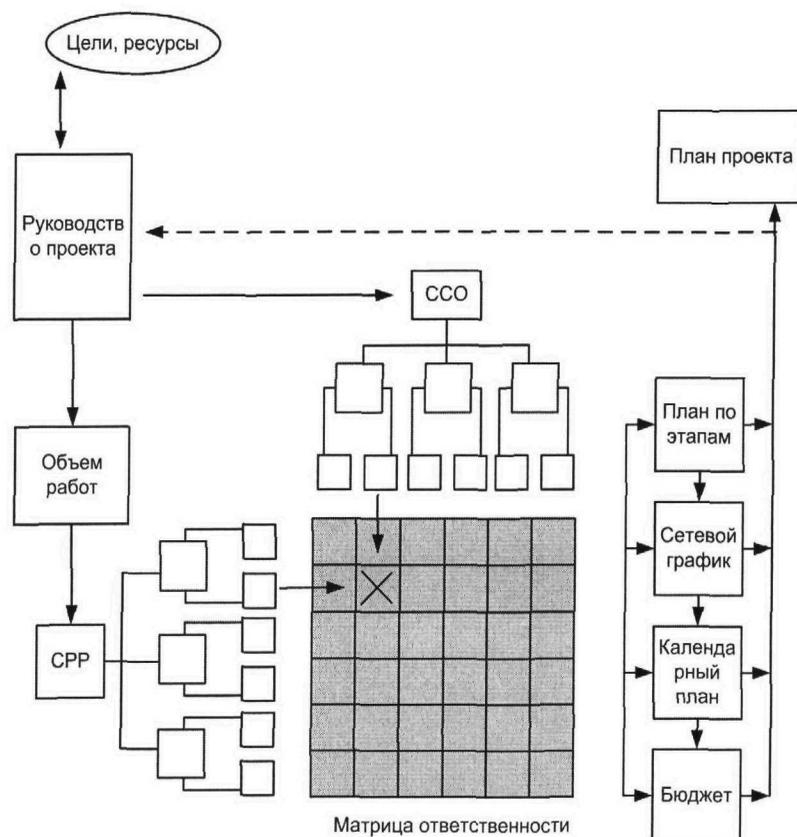


Рис. 1.2.2. Матрица ответственности по этапам проекта.

Матрица ответственности обеспечивает описание и согласование структуры ответственности за выполнение пакетов работ. Матрица содержит список пакетов работ СРО по одной оси, список подразделений и исполнителей, принимающих участие в выполнении работ, — по другой.

Для назначения ответственных надо знать семь типов ресурсов, которые они могут использовать: трудовые ресурсы, деньги, оборудование, техническая оснастка, материалы и поставщики, информация и технологии.

1.3. Управление технологическим проектированием.

С точки зрения организационной структуры проекта совокупность процессов управления представляется как иерархическая система нескольких контуров регулирования. Организационные подразделения при этом являются или регуляторами, или объектами регулирования либо и тем и другим одновременно. Без учета внешних воздействий руководитель проекта в этом случае выполняет функции регулятора, подразделения-исполнители соответствуют объектам регулирования, а находящиеся между ними промежуточные организационные подразделения, выполняющие и управленческие и испол-

нительские функции (например, подразделения, отвечающие за выполнение пакетов работ), являются одновременно и регуляторами, и объектами регулирования. Организационные подразделения связаны между собой информационными потоками, с которыми передается плановая и фактическая управленческая информация.

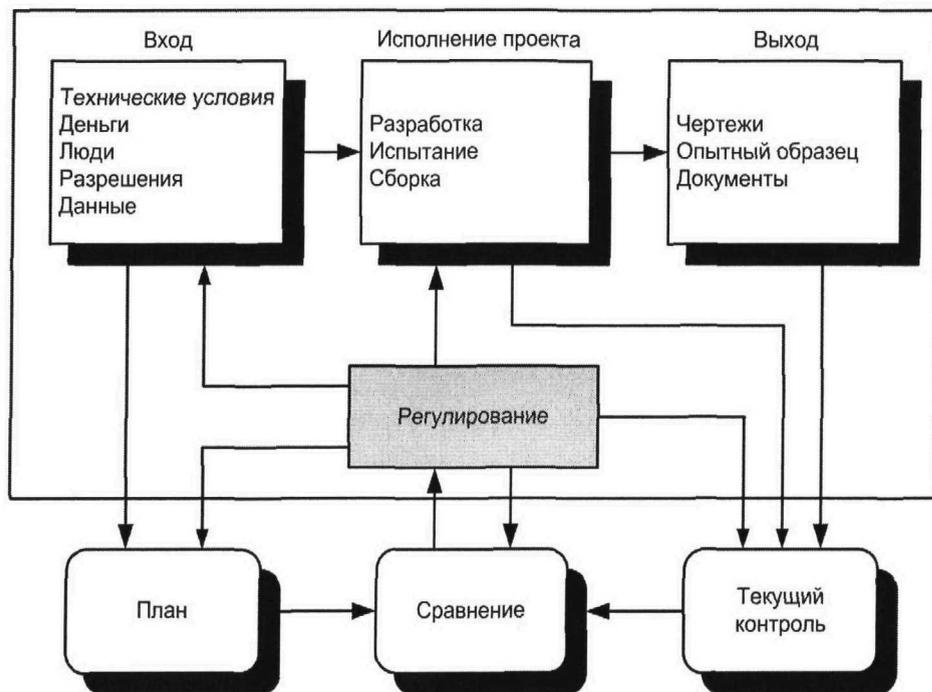


Рис. 1.3.1. Система с обратной связью.

Реальные системы управления могут включать в себя несколько контуров обратной связи, что позволяет при необходимости идентифицировать и по возможности устранять любые изменения, препятствующие достижению целей проекта. Например, проект может столкнуться с непредвиденными обстоятельствами, которые не были изначально учтены при разработке системы контроля. В этом случае в системе управления должно быть введено столько контуров, сколько типов показателей необходимо учитывать при управлении процессом, например по входным показателям, показателям самого процесса и показателям плана (система управления третьего порядка — по числу типов показателей). Пример системы с обратной связью приведен на рис. 1.3.1. Она содержит те же основные элементы, что и система с одним контуром.

1.4. Анализ систем поддержки принятия решений.

Процесс принятия решения — процесс выбора оптимального (удовлетворительного) решения среди альтернативных вариантов.

Система поддержки принятия решений — соединение комплекса программных средств, имитационных, статистических и аналитических моделей процессов и работ по проекту для подготовки решений по его реализации.

Целью информационной системы поддержки принятия решений является организация и управление принятием решений при разработке и реализации проектов на основе современных технологий обработки информации.

Структуру интегрированной информационной системы поддержки принятия решений во многом определяет структура принятых в рамках организации процессов управления. Как следствие, она может быть структурирована по:

- этапам проектного цикла;
- функциям;
- уровням управления.

На рис. 1.4.1 показан укрупненный жизненный цикл проекта и управленческие функции, связанные с различными стадиями проекта. Для поддержки различных управленческих функций используется разное информационное и программное обеспечение. На стадии выполнения проекта необходимо обеспечить сбор фактических данных о состоянии работ, оптимально представить их для анализа, обеспечить обмен информацией и взаимодействие между участниками проекта.

Важнейшим компонентом интегрированных информационных систем поддержки принятия решений являются системы управления базами данных (СУБД). Их основными функциями являются поддержка целостности, защищенности, архивации и синхронизации данных в условиях многопользовательской работы.

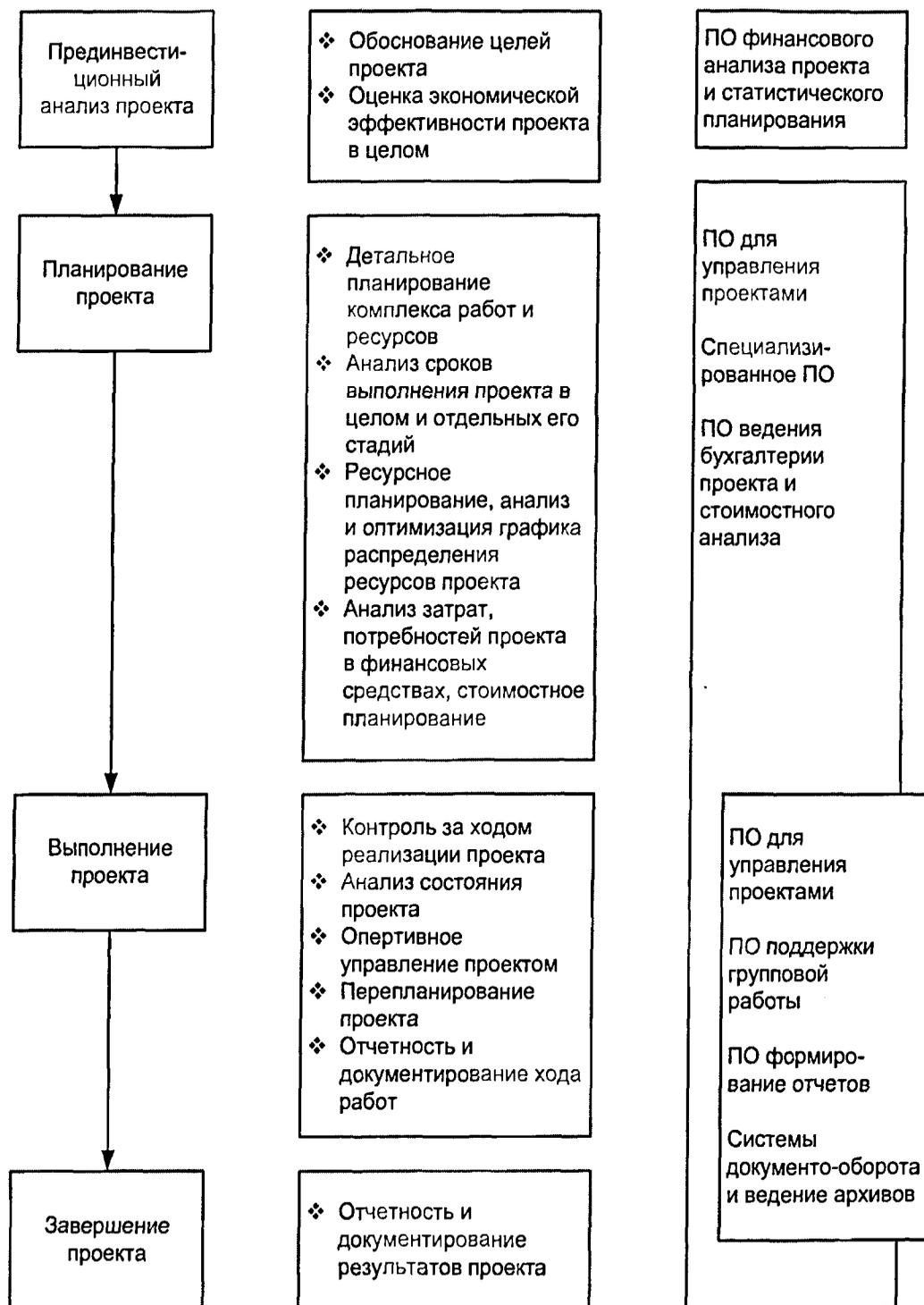


Рис. 1.4.1. Типы программного обеспечения для различных стадий проекта.

1.5. Концепция технологического проектирования и управление технологическим проектом в условиях CALS/ИПТ технологий.

Авиационная промышленность активно внедряет передовые CALS/ИПТ технологии. В контексте концепции CALS/ИПТ технологий методы управления качеством приобретают новое развитие. Применение интег-

рированной информационной среды¹ обеспечивает информационную поддержку и интеграцию процессов, а соответственно и возможность использования электронных данных, созданных в ходе различных процессов предприятия, для задач управления качеством на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) сложного наукоемкого изделия (технической системы).

Обеспечение требуемого качества продукции является одной из целей реализации концепции CALS/ИПИ технологий, поэтому система управления качеством (в терминах стандартов серии ИСО 9001-2000) относят к базовым технологиям управления.

Управление качеством в широком смысле необходимо понимать как управление процессами, направленное на обеспечение качества их результатов. Такой подход соответствует идеям всеобщего управления качеством, суть которых как раз и заключается в управлении предприятием через управление качеством.

С точки зрения системного подхода, проектирование (в том числе технологическое) может рассматриваться как процесс специальных информационных преобразований на основе некоторого проектного состояния (информационного образа) изделия в конечное - результат проект (технологический - информационный образ производства этого изделия) с помощью механизмов и при наличии ряда ограничений (рис. 1.5.1). При проектировании образуют множество моделей, отличающихся составом информационных объектов, отношениями и свойствами.

Результатами технологического проектирования является информационная модель материализации изделия.

¹ Это понятие терминологический словарь [2] определяет как «совокупность распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, обеспечивающая корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем субъектам производственно-хозяйственной деятельности, участвующим в осуществлении ЖЦ изделия, кому это необходимо и разрешено. Все сведения (данные) в интегрированной информационной среде хранятся в виде информационных объектов».

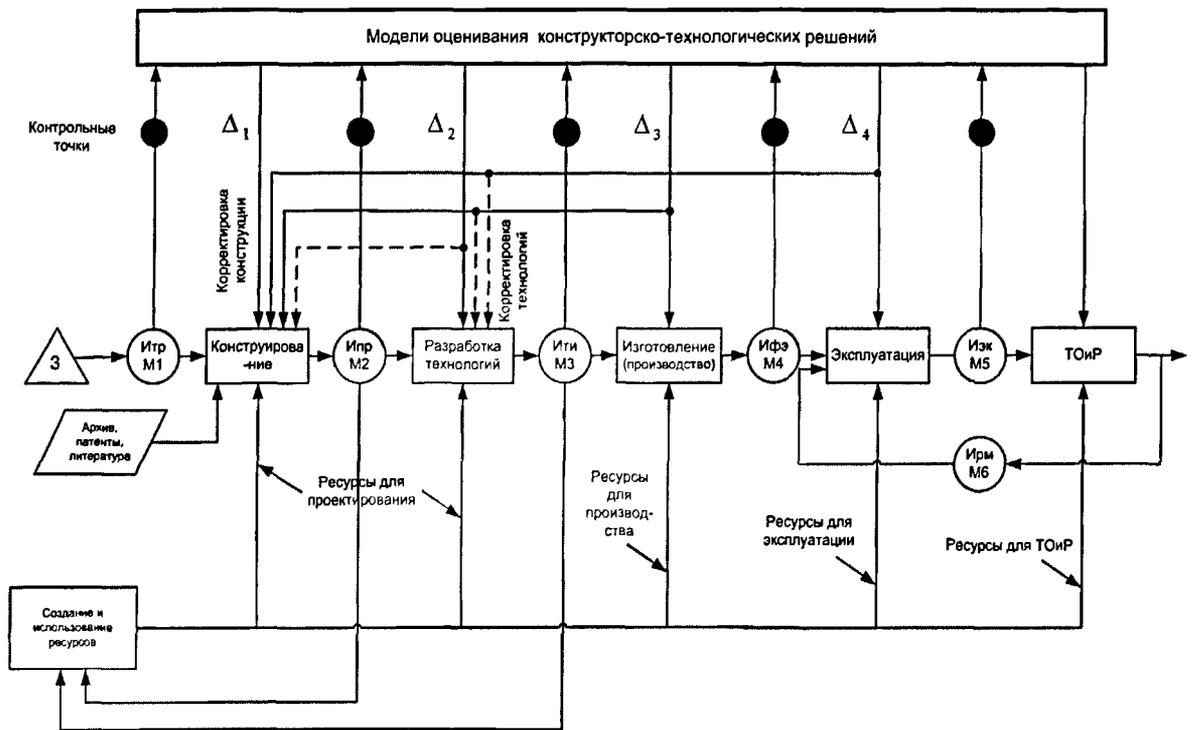


Рис. 1.5.1. Проект как процесс перехода системы
из исходного состояния в конечное

и процесс преобразования информационных моделей в ходе ЖЦ.

Где:

М1 — Итр — информационная модель требований;

М2 — Ипр — информационная модель проектная (конструкторская);

М3 — Итн — информационная модель проектная (технологическая);

М4 — Ифэ — информационная модель экземпляра (фактически изготовленного изделия);

М5 — Изк — информационная модель изделия в процессе эксплуатации;

М6 — Ирм — информационная модель изделия в процессе технического обслуживания и ремонта.

Эти модели отличаются друг от друга составом информационных объектов, отношениями и свойствами изделия (СИ). Информация о свойствах изделия передается на «верхний», управленческий уровень, где происходит сравнение свойств и их значений, сформированных на последующем этапе ЖЦ, со свойствами и значениями, зафиксированными на предыдущем этапе и являющимися требованиями для текущего этапа. Обнаруженные различия в свойствах, обозначенные на схеме символами – Δ , служат управляющими сигналами, на основе которых корректируется ход основных процессов.

Штриховыми линиями на схеме показаны воздействия на процессы проектирования, связанные с отклонениями от требований, выявленными на последующих этапах ЖЦ. Это, по сути, отображает использование накапливаемого в процессе проектирования, производства и эксплуатации изделия опыта и реализуется через систему обеспечения качества.

Штрихпунктирные линии отображают воздействие проектных (конструкторских и технологических) данных на процессы создания ресурсов.

Качество технологического проекта сложного изделия существенным образом влияет на качество производимой продукции. Многочисленные ошибки и недоработки, которые имеют место при существующей методологии проектирования, а также потери времени могут быть в значительной степени сокращены, если при создании проекта будут использоваться:

- современные автоматизированные системы синтеза и анализа создаваемого технологического проекта;

- базы технологических знаний и экспертные системы, позволяющие оперативно снабжать проектировщиков новой и достоверной информацией о технологических достижениях;

- автоматизированные системы принятия решений, позволяющие для каждого уровня и этапа жизненного цикла технологического проекта оптимизировать принятия технологических решений;

- автоматизированные системы управления конфигурацией технологического проекта;

- автоматизированные системы контроля, управления и обеспечения технологических решений и технологической документации;

- системы имитационного моделирования;

- системы управления коммуникациями проекта.

В дальнейшем такие системы и подсистемы могут быть объединены в единые информационные системы автоматизированного создания технологического проекта на основе CALS/ИПИ технологий и будут являться фактически составными частями системы обеспечения качества технологического проекта. Т.е. для создания высококачественного технологического проекта необходимо использовать более совершенные механизмы проектирования или специальный набор инструментов.

1.5.1. Управление коммуникациями проекта.

Управление коммуникациями проекта (управление взаимодействием, информационными связями) — управленческая функция, направленная на

обеспечение своевременного сбора, генерации, распределения и сохранения необходимой проектной информации.

Под *информацией* понимают собранные, обработанные и распределенные данные. Чтобы быть полезной для принятия решений, информация должна быть предоставлена своевременно, по назначению и в удобной форме. Это решается использованием современных информационных технологий в рамках системы управления проектом.

Коммуникации и сопутствующая им информация являются своего рода фундаментом для обеспечения координации действий участников проекта. Схема обмена информацией внутри организации представлена на рис. 1.5.1.1.



Рис. 1.5.1.1. Информационный обмен в организации.

В качестве основных потребителей информации проекта выступают:

- ответственный за этап проекта для анализа расхождений фактических показателей выполнения работ от запланированных и принятия решений по проекту;

- заказчик для осведомленности о ходе выполнения работ проекта;
- поставщики при возникновении потребности в материалах, оборудовании и т. п., необходимых для выполнения работ;
- проектировщики, когда необходимо внести изменения в проектную документацию;
- непосредственные исполнители работ на местах.

Управление коммуникациями обеспечивает поддержку системы связи (взаимодействий) между участниками проекта, передачу управленческой и отчетной информации, направленной на обеспечение достижения целей проекта. Каждый участник проекта должен быть подготовлен к взаимодействию в рамках проекта в соответствии с его функциональными обязанностями. Функция управления информационными связями включает в себя следующие процессы:

- планирование системы коммуникаций — определение информационных потребностей участников проекта (состав информации, сроки и способы доставки);
- сбор и распределение информации — процессы регулярного сбора и своевременной доставки необходимой информации участникам проекта;
- отчетность о ходе выполнения проекта — обработка фактических результатов состояния работ проекта, соотношение с плановыми и анализ тенденций, прогнозирование;
- документирование хода работ — сбор, обработка и организация хранения документации по проекту.

Системы сбора и распределения информации должны обеспечивать потребности различных видов коммуникаций. Для этих целей могут использоваться автоматизированные и неавтоматизированные методы сбора, обработки и передачи информации.

Автоматизированные методы предусматривают использование компьютерных технологий и современных средств связи для повышения эффек-

тивности взаимодействия: электронная почта, системы документооборота и архивирования данных.

1.5.2. Концепция системы принятия решений при технологическом проектировании.

Оценка и обеспечение качества – одно из важнейших направлений технологии управления качеством в процессе жизненного цикла сложных изделий.

Ключевую роль в процессе формирования технологического проекта занимают системы автоматизированного проектирования, системы принятия решений (экспертные системы), системы управления данными.

В целом процесс функционирования экспертной системы можно представить следующим образом. Пользователь, желающий получить необходимую информацию, через пользовательский интерфейс посылает запрос к экспертной системе; решатель, пользуясь базой знаний, генерирует и выдает пользователю подходящую рекомендацию, объясняя ход своих рассуждений при помощи подсистемы своих объяснений.

Особенностью технологии управления качеством в рамках концепции ИПИ (CALS), как было отмечено выше, является возможность использования электронных данных, созданных в ходе различных процессов предприятия, для задач управления качеством. Это относится и к проектной стадии жизненного цикла сложного наукоемкого изделия.

Наличие и постоянное пополнение информационных данных в процессе разработки технической системы и разработки технологического проекта, создают предпосылки для успешного внедрения дополнительных инструментов (баз знаний, экспертных систем, виртуальных офисов, виртуальных приборов контроля и оценки качества и пр.) для измерения качества проектных решений и обеспечения качества. В свою очередь, полученные с помощью дополнительных инструментов оценки и обеспечения качества проектов технических систем, а затем и самих технических систем, существенно повы-

шают оперативность и достоверность принимаемых решений о дальнейшей судьбе проекта или изделия.

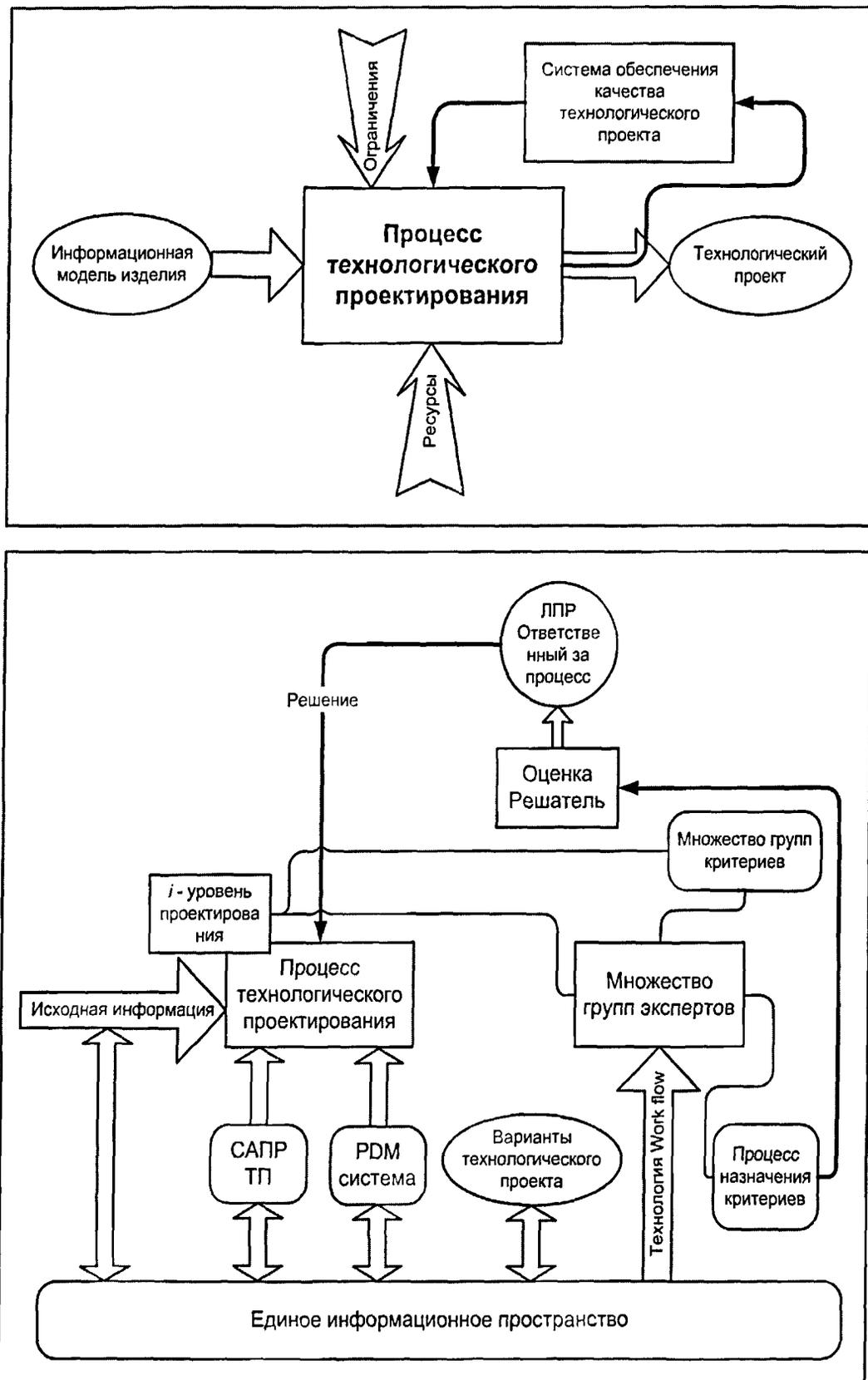


Рис. 1.5.2.1. Принципиальная схема системы обеспечения качества технологического проекта.

Как отмечалось ранее, система обеспечения качества технологического проекта не должна ограничиваться только управлением проекта, но должна обеспечивать и качество самого технологического проекта.

Для этих целей предлагается в систему проектирования встроить подсистему, основными элементами которой будут:

- система формирования технологических решений;
- система оценивания технологических решений;
- система принятия решений;
- система обеспечения коммуникаций.

На рис. 1.5.2.1 показана принципиальная схема такой системы обеспечения качества технологического проекта.

Выводы по главе 1.

1. Анализ литературных источников по системам управления качеством при создании технологического проекта показал, что все современные авиационные предприятия активно внедряют концепцию CALS/ИПИ технологий, которая позволяет потенциально значительно ускорить процессы проектирования и более эффективно осуществлять управление ими.

2. Для перехода к обеспечению качества технологического проекта в условиях CALS/ИПИ технологий необходимо осуществить разработку:

- современных автоматизированных систем синтеза и анализа создаваемого технологического проекта;
- баз технологических знаний и экспертные системы, позволяющие оперативно снабжать проектировщиков новой и достоверной информацией о технологических достижениях;
- автоматизированных систем принятия решений, позволяющие для каждого уровня и этапа жизненного цикла технологического проекта оптимизировать принятия технологических решений;
- систем автоматизированного управления конфигурацией технологического проекта;

- автоматизированных систем контроля, управления и обеспечения технологических решений и технологической документации;
- автоматизированных систем имитационного моделирования.
- системы управления коммуникациями при технологическом проектировании.

Как отмечалось ранее, система обеспечения качества технологического проекта не должна ограничиваться только управлением проекта, но должна обеспечить и качество самого технологического проекта. Поэтому в работе поставлена задача реализации подсистемы обеспечения качества при технологическом проектировании, которая позволит значительно улучшить качество самого технологического проекта. Для этих целей предлагается в системе технологического проектирования встроить подсистему обеспечения качества проекта по этапам проектирования. Основными элементами такой системы будут:

- система формирования технологических решений;
- система оценивания технологических решений;
- система принятия решений;
- система обеспечения коммуникаций.

ГЛАВА 2

МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНОГО ИЗДЕЛИЯ

2.1. Анализ автоматизированных систем формирования структур технологических процессов.

В области теории автоматизации проектирование технологических процессов известно много работ таких выдающихся ученых как Горанский Г.К., Цветков В.Д., Павлов В.В., Чударев П.Ф., Лукьянец Ю.Ф., Головин Д.Л., Власов В.В., Комаров Ю.Ю., Капустин Н.М., Новиков О.А. и др.

Однако, задачи технологического проектирования настолько сложны и разнообразны, что только с появлением современных технологий интеграции различных CAD/CAM/CAE/PDM систем появляется возможность их внедрения в авиационной промышленности.

Автоматизированные системы существенно отличаются по типу решаемых технологических задач, используемым моделям проектирования и роли проектировщика в этих системах. Наиболее успешно решаются расчетные задачи (расчет режимов резания, припусков, норм времени, размерных цепей и др.), которые являются частью процесса технологического проектирования. Задачи, связанные с формированием структур технологических процессов, чаще всего решаются на основе типизации и не всегда обеспечивают нужные и оптимальные решения. Наибольшее распространение получили системы проектирования технологий механообработки.

Известны системы: «СКАТ», «ВЕРТИКАЛЬ», «КОМПАС – Автопроект», «Темп» и др. Рассмотрим кратко некоторые новые системы.

САПР технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ — новейшая разработка компании АСКОН.

В системе реализованы следующие методы проектирования ТП:

- проектирование на основе техпроцесса-аналога;

- проектирование с использованием библиотеки часто повторяемых технологических решений;
- проектирование с использованием библиотеки КТЭ;
- заимствование технологических решений из ранее разработанных технологий;
- диалоговый режим проектирования с использованием баз данных системы.

В системе ВЕРТИКАЛЬ предусмотрена возможность работы технолога с трехмерными моделями изделий и всеми видами графических документов (чертежами, эскизами). Пользователь может подключить к технологическому процессу документы и модели, созданные на этапе конструирования, и использовать их при проектировании ТП.

Система ВЕРТИКАЛЬ - Технология позволяет пользователю оперировать конструкторско-технологическими элементами (КТЭ).

В дереве КТЭ отображается состав и иерархия поверхностей детали. Выбор определенного элемента в дереве, автоматически собирает технологические переходы по данному конструктивному элементу детали и выводит их на вкладке «План обработки».

В системе ВЕРТИКАЛЬ можно связать 3D-модель детали с деревом КТЭ. При этом в качестве графического редактора используется система КОМПАС-3D. В отдельном окне системы ВЕРТИКАЛЬ отображается 3D-модель детали, на которую разрабатывается технология.

В данном окне технологу доступен минимальный набор функций по работе с 3D-моделью: вращение, выделение граней, масштабирование, необходимые для навигации по изображению.

При выборе технологического перехода в дереве ТП активизируется элемент КТЭ и подсвечивается обрабатываемая поверхность в 3D-модели. В данном случае можно говорить о том, что 3D-модель детали является средством навигации в технологическом процессе.

Формирование комплекта технологической документации осуществляется в среде Excel. Обеспечивается автоматическая вставка операционных эскизов, сквозная нумерация технологических карт в составе комплекта. В базовую поставку входят бланки карт по ЕСКД (маршрутные и операционные карты, карты эскизов, контроля, карты технологического процесса, ведомости оснастки, комплектовочные карты).

Интеграция с системой трехмерного моделирования КОМПАС-3D позволяет организовать сквозное решение задач конструкторско-технологической подготовки производства. Разрабатывая технологический процесс, технолог непосредственно использует трехмерную модель или чертеж детали, сборочной единицы, созданные в КОМПАС-3D.

Другие участники процесса технологического проектирования могут получать технологические данные из системы ВЕРТИКАЛЬ-Технология, а справочные данные — из универсального технологического справочника и Корпоративных справочников.

Обращение к электронным справочным базам данных является неотъемлемой частью работы технолога в системах автоматизированного проектирования технологических процессов.

Универсальный технологический справочник содержит разнообразную информацию, которая требуется технологу при формировании текста технологического процесса: режущий и измерительный инструмент; станочные приспособления; вспомогательный материал; оборудование с паспортными данными и техническими характеристиками.

Система КОМПАС – Автопроект. Программный комплекс КОМПАС - Автопроект состоит из двух подсистем: КОМПАС-Автопроект-Технология и КОМПАС-Автопроект-Спецификации.

Подсистема КОМПАС - Автопроект- Технология обеспечивает:

- автоматизированное проектирование технологических процессов основных видов производств;

- автоматическое формирование стандартного комплекта технологической документации и документов произвольной формы в горизонтальном и вертикальном исполнении в формате Excel.

- интеграцию с КОМПАС - График - оперативный просмотр графики: чертежей деталей, инструментов, операционных эскизов, карт наладок и т.д.;

- интеграцию с PDM системами;

- возможность разработки сквозного технологического процесса;

- автоматическую нумерацию технологических операций и переходов;

- расчет режимов резания;

- трудовое нормирование технологических операций;

- возможность настройки образцов технологических документов;

- перевод технологий на иностранные языки;

- возможность разработки пользователем подсистем проектирования технологий для различных видов производств.

Несмотря на многие достоинства, рассмотренные системы все еще плохо приспособлены к проектированию технологий в авиационной промышленности и не позволяют формировать варианты технологических структур с последующим их анализом и многокритериальной оптимизацией.

2.2. Построение системы автоматизированного проектирования на основе структурированных технологических схем изготовления сложного изделия.

Технологические знания так же, как и любые другие, приобретаются в процессе активной научной и производственно-познавательной деятельности человека. Пройдя этап систематизации, они образуют технологическую базу знаний. Обычно, систематизацию технологической информации осуществляют в форме справочных материалов, инструкций, типовых процессов и пр. Такая информация приспособлена для неавтоматизированных процессов проектирования.

Для автоматизированных систем технологического проектирования используемых в CALS – технологиях требуется создание новых методов и

приемов систематизации технологической информации, например, в виде специальной конструкции - абстрактного технологического процесса.

Для разработки автоматизированных систем формирования технологических решений необходимо, в первую очередь, выяснить особенности изделия и процесса его изготовления как технических систем.

Для иерархического представления процесса проектирования может быть использована комплексная классификация и типизация технологических процессов, разработанная профессором Чударевым П.Ф. и развитая его учениками (Лукьянец Ю.Ф., Головин Д.Л., Власов В.В., Комаров Ю.Ю.)

В основном производстве современного предприятия авиационной промышленности, независимо от объема производства, для изготовления самолета применяют весьма большое количество разнообразных технологических процессов. Все эти процессы, как показал макроструктурный анализ самолета и процесса его материализации, делятся на три взаимосвязанных класса: заготовительно-обработочные, монтажно-сборочные и регулировочно-испытательные.

В свою очередь классы процессов делятся на подклассы и группы, а каждая группа делится на подгруппы и частные процессы, каждый из которых состоит из действий (механических, физических, химических или комбинированных).

В результате аналитической классификации определено множество (массив) частных процессов, из которых и составляются конкретные технологические процессы изготовления деталей.

Такой подход позволил произвести комплексную классификацию - определить комплексные классы, подклассы и группы частных процессов на основе наиболее существенных признаков.

Применительно к процессам изготовления деталей планера самолета основными процессами формообразования являются: холодное деформирование и удаление излишнего материала или их комбинация.

Комплексная классификация позволила все множество деталей планера самолета, множество полуфабрикатов и заготовок и множество процессов превращения исходных материалов в детали разделить на пять комплексных классов.

К первому комплексному классу относятся: обшивки, нервюры, шпангоуты, стрингеры, тяги и т.п., изготавливаемые из стандартного полуфабриката (листов, профилей, профилированных плит и тонкостенных труб). Основным процессом формообразования деталей первого класса является процесс холодного деформирования - гибка, вытяжка, обтяжка, выдавливание и т.д.

Ко второму комплексному классу относятся: штоки, валики, цилиндры, оси, рамы, уши, шпангоуты и т.п., изготавливаемые из стандартного полуфабриката - прутков различной формы в сечении и из толстостенных труб, а также из специальных заготовок - неточных штамповок и отливок. Основным процессом их формообразования является процесс удаления излишнего материала со всех поверхностей заготовки. При изготовлении деталей из стандартного полуфабриката в технологический процесс входит и процесс раскроя - разделения полуфабриката на заготовки.

К третьему комплексному классу относятся: монолитные панели, обшивки, полки и стенки фасонные и переменного сечения, изготавливаемые из стандартного полуфабриката - листов, плоских плит и полос.

Для их формообразования применяют и процесс удаления излишнего материала и процесс деформирования. В технологический процесс изготовления детали, как правило, входит процесс раскроя полуфабриката на заготовки.

К четвертому комплексному классу относятся: силовые узлы, шпангоуты, монолитные отсеки, полки лонжеронов, панели и т.п., изготавливаемые из специальных заготовок - точных штамповок, отливок и прессованных заготовок.

К пятому комплексному классу относятся: диффузоры, конусы, носки, законцовки крыльев и т.п., изготавливаемые из композиционных материалов - порошков, гранул, таблеток пластмасс, керамики и металлокерамики. Технологический процесс изготовления заготовки, по существу, будет процессом изготовления детали.

Приведенное деление комплексных классов на их подклассы конкретизирует подход к построению принципиальных структурных схем технологических процессов изготовления деталей.

Структурные схемы представляют собой не что иное, как обобщенные упорядоченные последовательности - процессов изготовления деталей самолета (типовую схему изготовления).

На рис. 2.2.1 дан пример структурной схемы изготовления деталей первого комплексного класса.

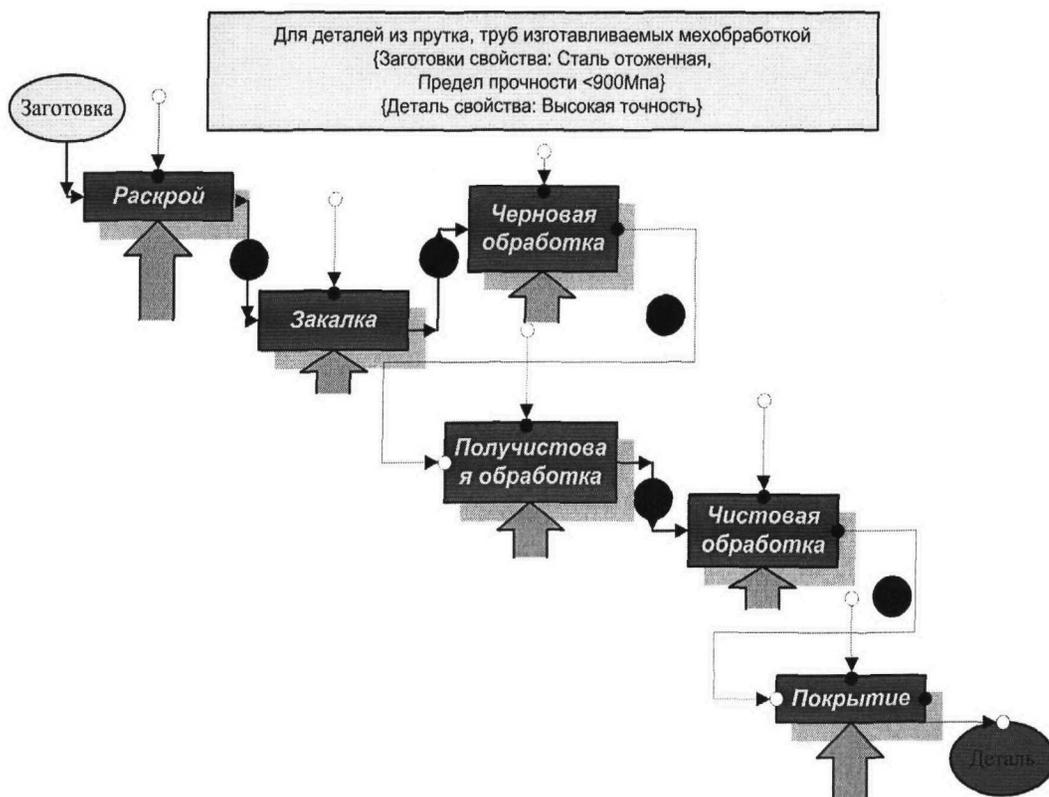


Рис. 2.2.1. Пример структурной схемы изготовления деталей первого комплексного класса.

Таким образом, на уровнях групп частных процессов эти структурные схемы являются инвариантными конкретным производственным условиям.

Это свойство структурных схем позволяет положить их в качестве исходной информации в основу разработки автоматизированных систем проектирования процессов изготовления деталей.

2.3. Модель автоматизированной системы формирования технологических структур изготовления сложного изделия.

Комплексный подход позволяет подойти к построению перспективной формы задания опорного пространства в виде структурированных технологических схем изготовления сложного изделия (рис. 2.3.1).

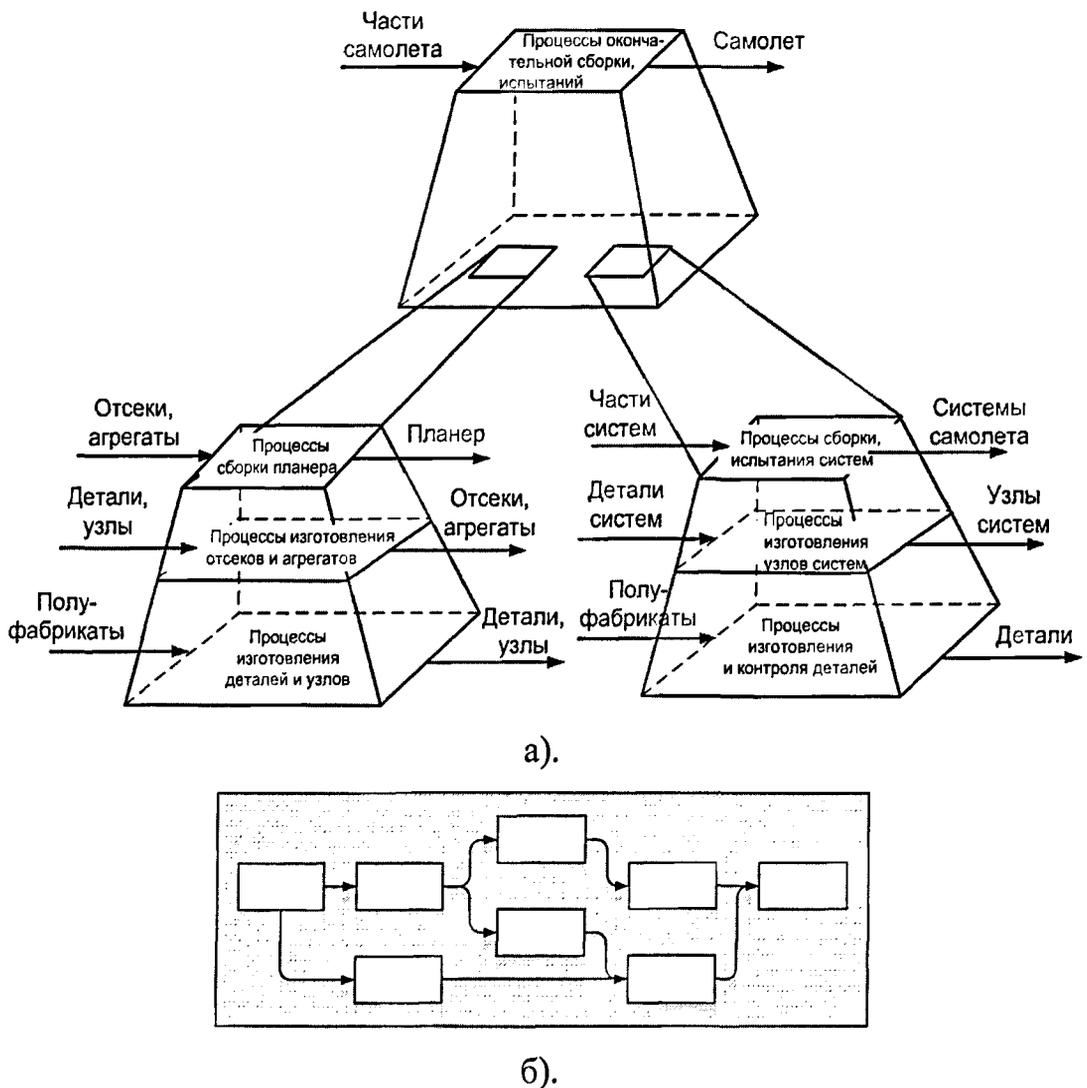


Рис. 2.3.1. а) Опорное пространство в виде структурированных, типовых технологических схем изготовления сложного изделия.
 б) Структурные схемы для каждого уровня для заданных подмножеств изделий, обладающих определенными свойствами.

Под структурированным опорным пространством технологических процессов материализации изделия понимаем специальную конструкцию, созданную на множестве процессов, используемых при производстве изделий, на котором для отдельных подмножеств процессов задано отношение порядка (строгого или нестрогого).

Конструкция опорного технологического пространства должна обладать следующими свойствами:

1. быть иерархической системой и характеризоваться: вертикальной декомпозицией на подсистемы решения технологических задач на различных уровнях абстрагирования.

2. обладать полной или частичной упорядоченностью процессов на каждом уровне.

3. допускать возможность использования систематизированных процессов для автоматизированного проектирования процессов материализации конкретного изделия.

Построение такой сложной конструкции как опорное технологическое пространство требует разрешения методологических и математических проблем - по информационному изображению предметов и процессов; анализу и синтезу процессов; синтезу компоновочных схем оборудования; машинным методам систематизации.

Конструирование опорного технологического процесса и его дальнейшее использование в автоматизированных системах проектирования требует использования математических моделей информационного изображения процессов и предметов.

Под математической моделью (ММ) физического объекта понимают конструкцию из математических объектов (чисел, переменных, векторов, поверхностей, множеств, отношений и т.п.), отражающую наиболее существенные стороны этого объекта.

По характеру отображаемых свойств объекта ММ делят на структурные и функциональные. Структурные ММ предназначены для отображения

структурных свойств объектов, и их делят на топологические и геометрические. Функциональные ММ предназначены для отображения функциональных связей, протекающих в объекте. Различают макро- и микромоделю. Макромодель характеризует состояния всех имеющихся межэлементных связей между укрупненными блоками, а микромодель - состояние отдельных блоков. По способу представления свойств объекта функциональные модели делят на аналитические и алгоритмические.

Аналитические ММ представляют собой явные выражения выходных параметров как функций входных и внутренних параметров.

Алгоритмические ММ выражают связи в форме алгоритма выходных параметров с параметрами внутренними и внешними.

Имитационная модель – алгоритмическая модель, отражающая поведение исследуемого объекта во времени (по этапам) при внешних (исходных) воздействиях на объект.

Для информационного изображения процессов и предметов и построения в конечном итоге опорного технологического процесса требуются модели особого вида – системно-множественные, так как строится не просто модель процесса, а модель множества процессов, множества структур, множества предметов и пр. При построении таких моделей на первое место выдвигаются методологические вопросы – логико-философские аспекты, принципы структуризации процессов и предметов.

Принцип структуризации процессов и предметов. Системный подход, являющийся методологией современных исследований больших систем, предполагает комплексное рассмотрение процессов и предметов: рассмотрение процесса как целостного образования; выявление составляющих частей и связей; анализ функций частей и функциональных связей между частями; обоснованно целесообразной степени информационного описания процесса или предмета.

Конечная цель системного анализа с учетом логико-философских аспектов – построение системно-множественных математических моделей для практического использования.

Принцип регулярности. Существуют регулярные структуры технологических процессов, регулярные структуры предметов технологии, регулярные отношения и функциональные взаимосвязи между процессами и предметами, которые позволяют осуществить предварительную систематизацию проектных технологических знаний.

Принцип декомпозиции процессов. Технологический процесс как сложная система, может быть подвергнут декомпозиции на подпроцессы или предметы и действия.

Другой формой декомпозиции процесса является выделение предметов, участвующих в процессе, по схеме:

Предметы => имя действия, где => отношение «предметы участвуют в процессе».

Предметы, в свою очередь, можно рассматривать как целостные образования и производить их декомпозицию на части, рассматривая при этом свойства частей, связи и отношения между частями, образующими целое. Рассмотрение предметов как целостных систем и их декомпозиция позволяет образовывать классы предметов, производить подробный анализ наличия свойств, отношений, качеств и в конечном итоге строить информационное изображение предметов или частей.

Наиболее общей формой информационного изображения процессов и предметов являются конструкции, созданные на основе использования исчисления предикатов и методов его расширения.

Для информационного изображения процессов и предметов можно использовать идеализированный объект:

$$I = \langle V, S, \Sigma, R \rangle$$

Где, V - множество элементов v^i , принадлежащих V ; $S: V \rightarrow V'$ - правило подобия; R - правило объединения элементов v^i в структуру Σ , т.е. бинарные отношения $R_i(v^i, v^j)$.

В качестве элементов v^i , принадлежащих V , используем: v^1 - имя предмета; v^2 - имя процесса; v^3 - свойство (предмета, процесса); v^4 - качество (предмета, процесса); v^5 - параметр; v^6 - решающее правило; v^7 - ограничение; v^8 - функциональная связь; v^9 - отношение.

Информационное изображение процессов и предметов представляем в виде графа $G = \langle V, R \rangle$, где v^i , принадлежащее V , - множество вершин графа; r^i , принадлежащее R - множество соединений вершин (двуместный предикат $r_i(v^i, v^j)$).

При построении идеализированных объектов используем следующие бинарные отношения:

$r_1(v^{1-2}, \lambda)$ - отношение называния, где λ - реальный предмет или процесс;

$r_2(v^1, v^2)$ - отношение использования элементов v^1 элемента v^2 ;

$r_3(v^1, v^2)$ - отношение предмет v^1 участвует в процессе v^2 ;

$r_4(v^1, v^2)$ - предмет v^1 преобразуется процессом v^2 ;

$r_5(v^{1-2}_i, v^{1-2}_j)$ - подпроцесс (предмет) v^{1-2}_i является частью процесса (предмета) v^{1-2}_j ;

$r_6(v^3, v^{1-2})$ - элемент принадлежит (характеризует) элемент v^{1-2} ;

$r_7(v^{1-2}, v^4)$ - элемент v^{1-2} оценивается элементом v^4 ;

$r_8(v^3, v^4)$ - элемент v^3 является частью элемента v^4 ;

$r_9(v^5, v^6)$ - элемент v^5 - характеристика v^6 ;

$r_{10}(v^6, v^3)$ - элемент v^6 определяет наличие v^3 ;

$r_{11}(v^5, v^6)$ - элемент v^5 (проверяется) соотносится с элементом v^6 ;

$r_{12}(v^7, v^5)$ - элемент v^7 ограничивает v^5 ;

$r_{13}(v^5, v^8)$ - элемент v^5 принадлежит v^8 ;

v^9 - отношение между элементами v^{1-2}, v^3, v^4 .

В качестве формального аппарата действий с идеализированными объектами используют алгебраическую систему:

$$\langle J, W_p, W_1 \rangle,$$

Где, J - множество носитель; W_p - множество предикатов; W_1 - множество функций.

В качестве множества W_p принимают двуместные предикаты:

R_1 - отношение следования; R_2 - отношение предшествования;

R_3 - отношение предопределения; R_4 - отношение включения;

R_5 - отношение части к целому; R_6 - отношение абстрагирования;

R_7 - отношение детализации; R_8 - отношение определения;

R_9 - отношение равенства; R_{10} - отношение превосходства;

R_{11} - отношение формирования качества; R_{12} - отношение соответствия;

R_{13} - отношение используется.

Для каждого отношения формируются свойства рефлексивности, симметричности, транзитивности и т.п.

В качестве множества W_1 используют множество функциональных зависимостей, которые считаются «значимыми» при построении модели процессов.

При оперировании с идеализированными объектами используется ряд условий.

Условие 1 (следования процессов, предметов).

Если свойства процессов (предметов) находятся в отношении предшествования, то процессы, предметы следуют друг за другом:

$$\forall v^{l-2}, \exists v_2^{l-2} \exists v_1^3 (v_1^{l-2}) \exists v_2^3 (v_2^{l-2}) [v_1^3 (v_1^{l-2}) \wedge \wedge v_2^3 (v_2^{l-2}) \wedge R_2(v_1^3, v_2^3) \rightarrow R_1(v_1^{l-2}, v_2^{l-2})]$$

Условие 2 (предопределения предметов).

Если свойства первого предмета требуют наличия свойств второго предмета, то наличие первого предмета предопределяет наличие второго предмета.

$$\forall v_1^2 \exists v_2^2 \exists v_{11}^3 \exists v_{21}^3 [v_{11}^3(v_1^2) \wedge v_{21}^3(v_{21}^2) \wedge \\ \wedge R_3(v_{11}^3, v_{21}^3) \rightarrow R_3(v_1^3, v_2^3)]$$

Система содержательных условий добавляется к обычным логическим аксиомам теории первого порядка исчисления предикатов и позволяет сформулировать ряд теорем, которые являются основой для разработки алгоритмов.

Приведенная выше модель опорного технологического пространства и математическая модель ее реализующая, позволяет, используя информационные технологии, строить систему автоматизированного проектирования.

Система автоматизированного проектирования технологических процессов нового поколения может быть реализована на качественно новом подходе к организации данных о технологических процессах, базирующихся на объектной модели представления и обработки информации. Проектируемая система автоматизированного проектирования состоит из следующих взаимосвязанных объектов (см. рис. 2.3.2).

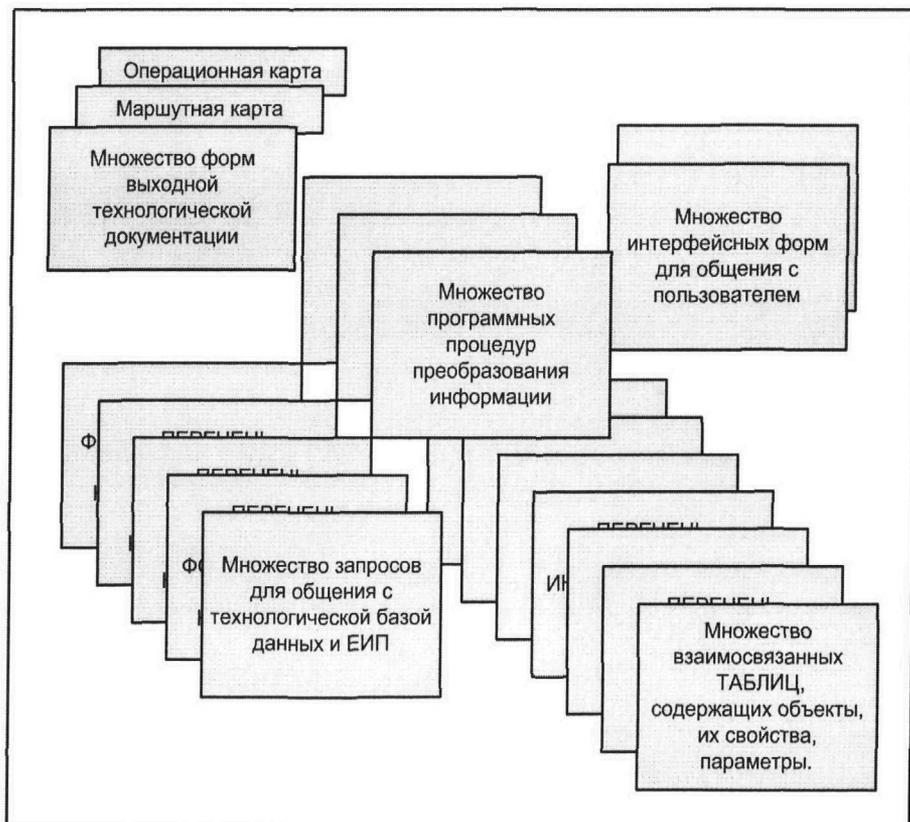


Рис. 2.3.2. Состав объектов автоматизированной, многоуровневой, многопользовательской системы технологического проектирования.

Новые задачи требуют новых подходов, прежде всего в области представления данных. Объектно-ориентированные методы организации технологических баз данных, новые интерфейсные решения, открытая архитектура в полной мере реализуются в данной системе.

На рис. 2.3.3 показана IDEF1X модель взаимосвязанных таблиц системы, используемых при формировании маршрутной технологии при проектировании техпроцессов.

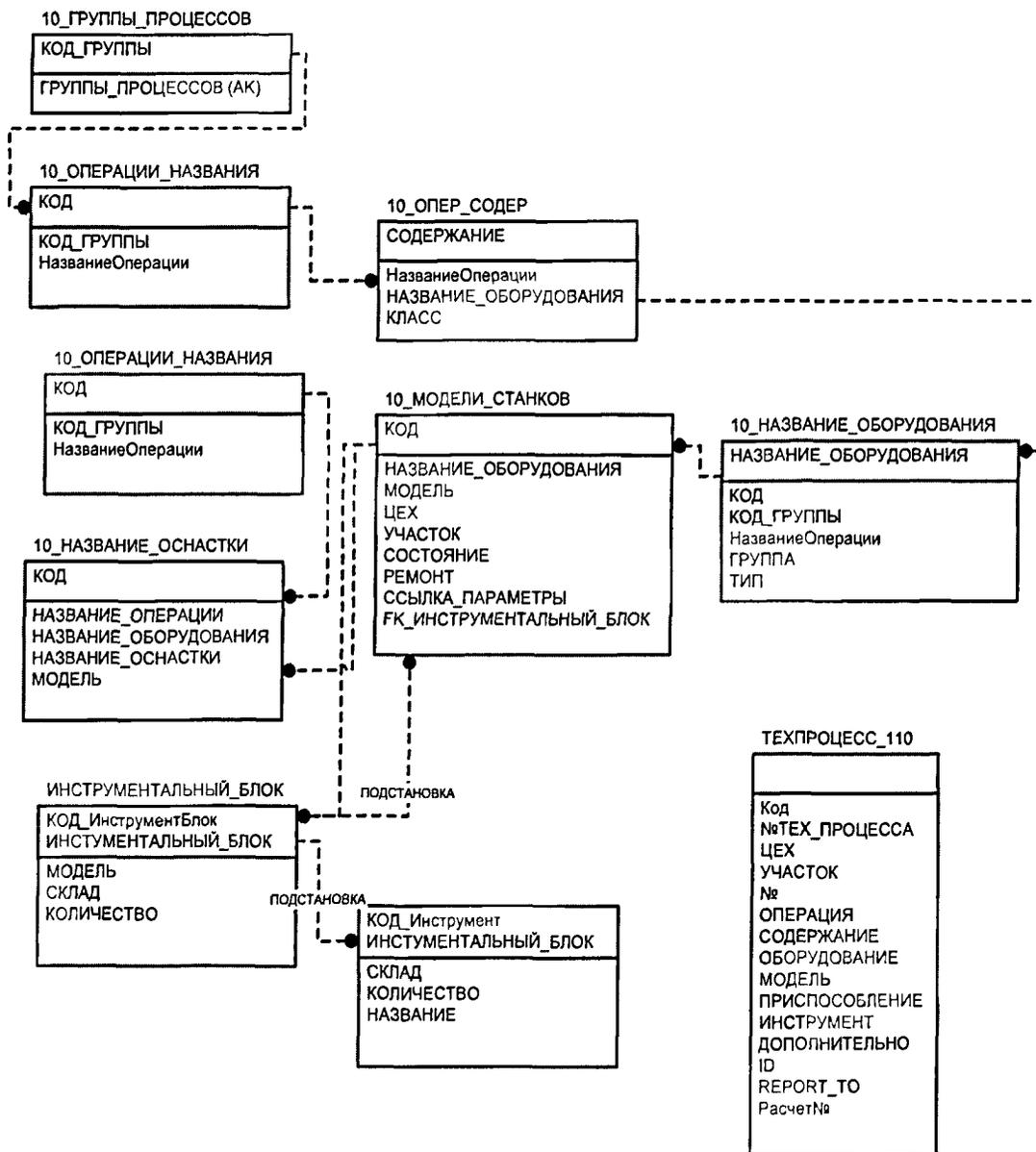
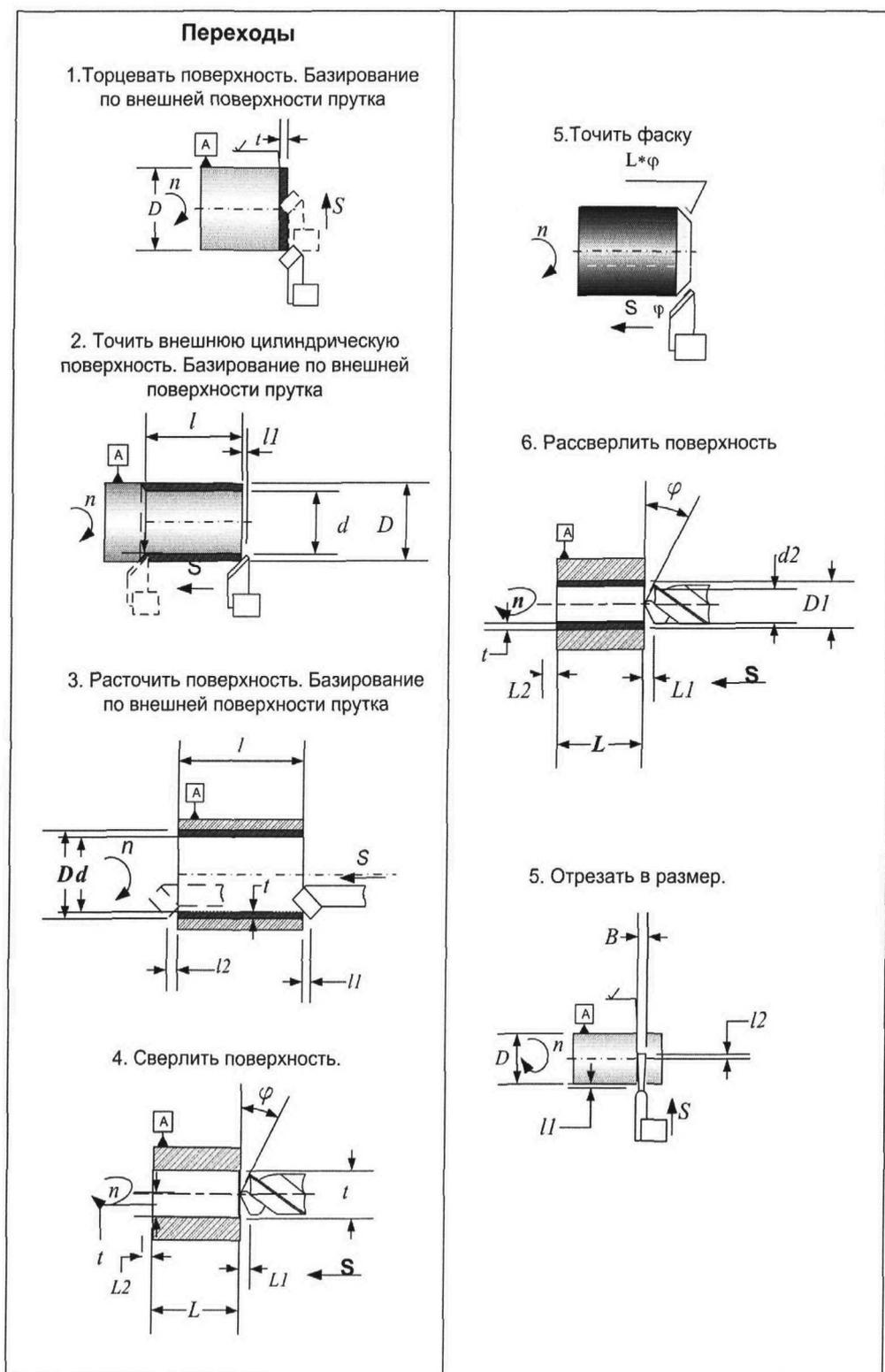


Рис. 2.3.3. Фрагмент модели IDEF1X системы проектирования технологических процессов.

В системе используются модели для различных уровней проектирования, в том числе и для уровня переходов и проходов при проектировании технологических процессов.

Таблица 2.3.1.

Типовые процессы обработки поверхностей при точении.



В таблице 2.3.1 показаны фрагменты типовых процессов обработки поверхностей при точении, а на рис. 2.3.4 типовая схема формирования переходов при чистовом точении.

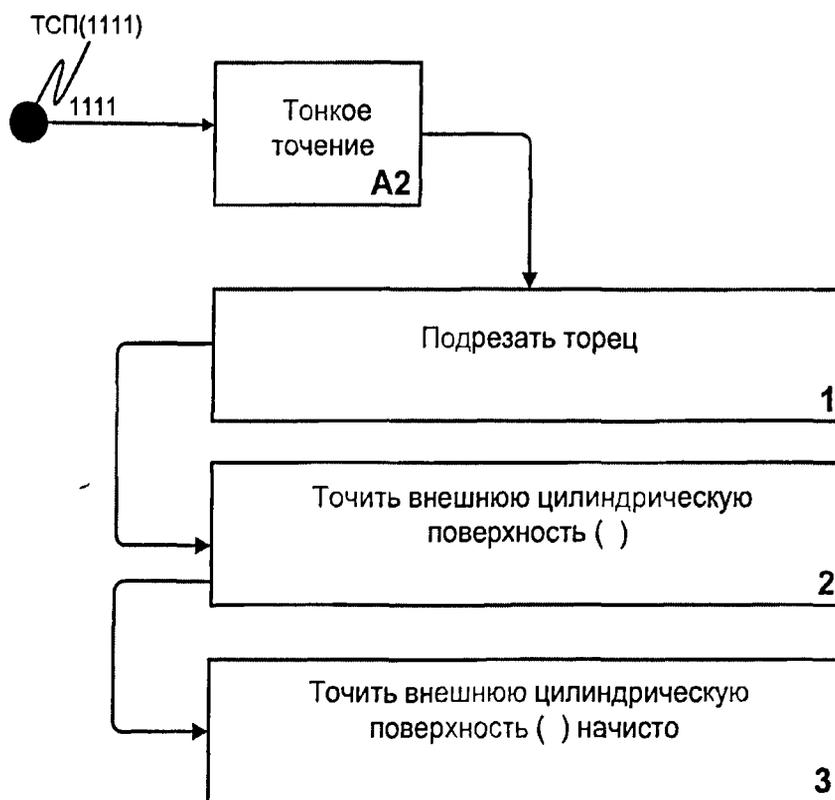


Рис. 2.3.4. Типовая схема формирования переходов при чистовой обработке.

2.4. Формирование множества конструктивно-технологических решений (КТР) для элементов конструкции ЛА.

Множество альтернативных вариантов КТР – это множество, в котором ищется решение задачи определения рациональных (оптимальных) КТР агрегатов планера ЛА. Множество альтернативных вариантов КТР должно быть по возможности более полным и содержать как традиционные, проверенные практикой решения, так и новые решения, воплощающие в себе последние достижения научно-технического прогресса. Чем полнее это множество и чем разнообразнее варианты в нем, тем выше вероятность успешного решения задачи определения рационального КТР планера ЛА в целом.

Формирование множества КТР агрегатов планера ЛА – неформальный процесс, в котором конструктор на основе своего опыта, прототипов конст-

рукций, имеющихся в его распоряжении, и собственного воображения, анализирует существующие и генерирует новые варианты КТР. Однако, несмотря на трудность формализации процесса генерации вариантов, существуют подходы, позволяющие, хотя бы отчасти решить эту проблему. На начальном этапе для генерирования возможно более полного множества альтернативных вариантов КТР, на наш взгляд, целесообразно использовать морфологический подход.

Его суть состоит в исследовании строения (морфологии) сколь возможно широкого множества технических решений и выявлении на этой базе новых решений. Решение морфологической задачи можно представить состоящим из двух частей: анализа и синтеза. На стадии анализа формируется морфологическое множество решений – описание всех потенциально возможных (мыслимых) решений данной задачи. Это множество может быть представлено в виде морфологической таблицы или морфологического дерева.

Морфологическая таблица – это классификационная таблица, каждая строка которой представляет собой классификацию множества исследуемых систем по какому-либо существенному признаку. Пусть таким признаком является признак P_i , описываемый k_i конкретными параметрами. Тогда информация о множестве вариантов может быть представлена в виде таблицы, называемой «морфологическим ящиком»

$$\begin{array}{c}
 P_1^1, P_1^2, \dots, P_1^{k_1} \\
 P_2^1, P_2^2, \dots, P_2^{k_2} \\
 \dots \\
 P_i^1, P_i^2, \dots, P_i^{k_i} \\
 \dots \\
 P_n^1, P_n^2, \dots, P_n^{k_n}.
 \end{array}$$

Эта формализация, предложенная в 1942 г. швейцарским астрофизиком Ф. Цвикки с целью анализа реактивных двигателей, положила начало современному морфологическому подходу к анализу технических решений.

Если в каждой строке таблицы зафиксировать один из элементов, то набор из них будет представлять возможный вариант решения исходной задачи. Всего таких вариантов (полное число решений) будет:

$$N = \prod_{i=1}^n k_i .$$

Очевидно, что в морфологическом ящике содержатся как работоспособные, так и неработоспособные варианты решений, поскольку не решалась задача определения функциональной совместимости элементов. Для сокращения числа неработоспособных вариантов существуют специальные приемы.

На этапе морфологического синтеза надо из огромного числа технических решений, содержащихся в морфологической таблице, отобрать лучшие с точки зрения условия задачи и, значит, решить оптимизационную задачу в ее общей постановке. Общего алгоритма решения таких задач пока не существует. Очевидным решением является полный перебор содержащихся в таблице вариантов. Однако ясно, что такой перебор можно реализовать только для морфологических таблиц с небольшим числом проектных решений, измеряемых десятками, максимум сотней вариантов.

Снижение размерности задачи, т.е. отсева плохо или совсем не функционирующих вариантов достигается обычно с помощью специальных компьютерных процедур, основанных на использовании системы эвристических критериев. Другой разновидностью описания множества технических решений является морфологическое дерево.

Морфологическое дерево – это граф, вершинами которого являются элементы технических решений и их признаки, а дуги графа показывают соподчиненность между элементами, а также между элементами и их признаками. На вершинах дерева может содержаться информация об агрегатах, механизмах, узлах, отдельных деталях, материалах и других признаках. Морфологическое дерево, по информационному содержанию, построено от об-

щего к частному в направлении от корня к вершине. Поэтому максимальное количество признаков элементов содержится на конечных вершинах дерева.

Характерной особенностью морфологического дерева является его упорядоченность: иерархическое построение, упорядоченное перечисление элементов и их признаков, четкая взаимосвязь элементов и признаков. Такая форма описания дает необходимую и достаточную информацию о техническом решении как о целостной системе.

Два различных технических решения, имеющих одно и то же назначение, как правило, имеют часть одинаковых элементов и признаков. Чем больше одинаковых элементов и признаков имеют технические решения, тем меньше они отличаются друг от друга. Соответственно деревья таких решений имеют некоторое множество одинаковых вершин и дуг. Это позволяет представить оба технических решения в виде одного дерева, содержащего кроме вершин «И» вершины «ИЛИ». Каждая вершина «ИЛИ» объединяет несколько альтернативных элементов или признаков, характеризующих индивидуальные особенности обоих решений. Описание нескольких технических решений с помощью древовидного графа с «И»/«ИЛИ» - вершинами называют морфологическим И/ИЛИ - деревом.

Сформированное на стадии морфологического анализа множество КТР, содержит самые разнообразные варианты, в том числе, и наиболее предпочтительные. Это позволяет гарантировать успешное решение задачи выбора рационального КТР. Вместе с тем, размерность такого множества велика. Сужение исходного множества до нескольких наиболее предпочтительных вариантов проводится на этапе морфологического синтеза. Однако для этого требуется достаточно полная и достоверная информации о функциональных и конструктивно-технологических свойствах анализируемых вариантов.

Конструкция планера ЛА имеет иерархическую структуру. Так планер функционально и конструктивно состоит из агрегатов (отсеков корпуса и несущих поверхностей). Агрегаты, в свою очередь, делятся на узлы – конструк-

тивные модули, а каждый из узлов состоит из технологически неделимых деталей. Детали, узлы и агрегаты составляют элементную базу конструирования. В каждом конструкторском бюро, занимающимся разработкой ЛА, существует такая база. Она содержит детали, узлы и агрегаты существующих ЛА и постоянно пополняется за счет разработки новых.

Структура элементной базы конструирования может быть различной. Как правило, элементы базы представляются графически в виде 3D - геометрических моделей. Желательно, чтобы эти модели были параметрическими, т.е. позволяли изменять при необходимости свои размеры (параметры). Желательно, также, чтобы геометрические модели элементов базы конструирования имели описания своих основных функциональных, конструктивных и технологических свойств. В таком случае на базе существующих элементов можно синтезировать новые варианты конструктивно-технологических решений. Если конструктору не достаточно имеющихся в базе элементов, он создает новые элементы. Достоинством использования элементной базы конструирования при формировании множества агрегатов планера ЛА является высокая достоверность получаемых альтернативных вариантов. Это объясняется тем, что они синтезируются (полностью или частично) из модулей, апробированных в производстве и эксплуатации. Тот факт, что эти модули имеют данные об их работоспособности, стоимости, надежности упрощает проведение экспертного анализа на заключительном этапе конструкторско-технологического проектирования – этапе выбора рационального КТР.

Морфологический подход позволяет составить широкое множество вариантов, осуществить их предварительный отбор. Суженое множество альтернативных вариантов КТР может быть материализовано с помощью элементов из элементной базы конструирования. Имеющиеся данные о функциональных, конструктивных и технологических свойствах элементов базы могут стать основой для предварительного анализа морфологического множества.

Выводы по главе 2.

1. Большинство существующих САПР ТП носят узко ориентированный характер и не предполагают анализ альтернативных вариантов технологических решений на основе многокритериальной экспертизы в интегрированной системе проектирования.

2. Для иерархического представления процесса проектирования может быть использована комплексная классификация и типизация технологических процессов, разработанная профессором Чударевым П.Ф. и развитая его учениками.

3. Разработана модель задания опорного технологического пространства в виде структурированных технологических схем изготовления сложного изделия.

4. Система автоматизированного проектирования технологических процессов нового поколения может быть реализована на качественно новом подходе к организации данных о технологических процессах, базирующаяся на объектной модели опорного технологического пространства.

5. Для формирования множества технологических решений целесообразно использовать морфологический подход. Решение морфологической задачи можно представить состоящим из анализа и синтеза. На стадии анализа формируется морфологическое множество решений – описание всех потенциально возможных (мыслимых) решений данной задачи. Это множество может быть представлено в виде морфологической таблицы или морфологического дерева.

ГЛАВА 3

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

3.1. Конкурентоспособность предприятия и классы критериев качества.

В научно-технической литературе вопросам обеспечения конкурентоспособности и качеству технических систем уделяется достаточно много внимания. Конкурентоспособность [71] предприятия (как важнейший показатель) определяется через конкурентоспособность продукции как свойство, которое определяет степень востребования данной продукции потребителем на рассматриваемом рынке сбыта при условии выгоды для производителя и потребителя при совершении на этом рынке акта продажи.

Главной задачей обеспечения конкурентоспособности является установление рыночного соответствия между ценой и техническим уровнем изделия. Модель конкурентоспособности строится по схеме «эффект – затраты».

Характеристикой эффекта считается относительный показатель качества, реализуемый за счет технического прогресса, а затраты связываются с ценой технической системы на рынке продаж. Критерием конкурентоспособности считается величина стоимости (средней цены), приходящаяся на единицу среднего технического уровня: приращение цены технической системы по отношению к стоимости пропорционально приращению технического уровня относительно его среднего для рассматриваемого рынка значения.

Разделение показателей качества продукции на группы позволяет всесторонне охарактеризовать, продукцию, в частности, выявить ее соответствие требованиям технического прогресса и нормативно-технических документов.

Номенклатура показателей качества продукции установлена государственными стандартами СССР (ГОСТ 2.116—71, ГОСТ 15.001—73, ГОСТ 22851—77). Стандартами на определенные виды продукции, регламентирующими состав показателей качества с индексом «4», а также методическими указаниями по построению, содержанию и изложению стандартов на номенклатуру показателей качества продукции, отраслевыми и межотраслевыми методиками по оценке уровня качества промышленной продукции.

Основными группами показателей качества по характеризующим ими свойствам продукции являются показатели назначения, надежности, технологичности, стандартизации и унификации, эргономичности, эстетичности, патентно-правовые, транспортабельности, экологичности и безопасности.

Качество продукции характеризуется также экономическими показателями, позволяющими оценить затраты на разработку, изготовление, эксплуатацию или потребление продукции (например, себестоимость изготовления продукции, затраты на изготовление и испытание опытных образцов, затраты на расходные материалы при эксплуатации изделий).

При помощи экономических показателей оценивают показатели технологичности, ремонтпригодности и др.

Формирование системы критериев для оценивания технологического проекта является сложной, творческой задачей. Сложность эта проистекает из-за многообразия оцениваемых процессов и предметов, тесной их взаимосвязи см. рис. 3.1.1 и противоречивости требований.

Наиболее общее требование к системе критериев-показателей, очевидно, состоит в том, чтобы оценка качества по своей сути была комплексной и системной. Совокупность показателей должна всесторонне характеризовать качество технической системы и в то же время в ней не должно быть дублирующих показателей. Как показывает опыт, такую систему целесообразно представлять в виде некоторой иерархии, в вершине которой находится обобщающий показатель качества. Второй уровень образуют комплексные показатели. Каждый из этих показателей также может рассматриваться в ви-

де пирамиды, нижний уровень которой составляют единичные показатели, отражающие основные свойства технической системы.



Рис. 3.1.1. Взаимосвязь комплексных критериев.

При формировании системы критериев качества технологического проекта необходимо учитывать особенности ЛА как объекта производства.

Базовой, основополагающей составляющей научно-технического прогресса является эффективность использования массы — так называемая, весовая эффективность. Вместе с тем следует особо подчеркнуть, что сама по себе весовая эффективность не самоцель, целевая задача состоит в получении новых прогрессивных свойств технической системы. Особенно важна весовая эффективность для летательных аппаратов.

Все свойства летательного аппарата количественно взаимосвязаны в том смысле, что при неизменной массе увеличение любого из них влечет за собой уменьшение других. Это значит, что новые свойства можно получить лишь на качественно новом уровне решения проблемы по рациональному использованию массы. Логика создания более прогрессивных летательных аппаратов не только в том, чтобы получать аппараты минимальной массы, а также и в том, чтобы создавать новую технику, обладающую более прогрессивными свойствами, получаемыми без увеличения массы. Результативность использования достижений научно-технического прогресса оценивается показателями (критериями) технического совершенства. В нашей работе под техническим совершенством понимается основная составляющая качества технической системы, которая создается только за счет прогресса науки и техники и которая проявляется в характеристиках его функционирования. Применительно для многих технических систем, и в первую очередь летательных аппаратов, прогресс науки и техники оценивается их весовой эффективностью. Уровневая характеристика технического совершенства, иначе технический уровень, определяется как относительная характеристика качества, основанная на сопоставлении значений, характеризующих техническое совершенство технической системы, с соответствующими базовыми значениями.

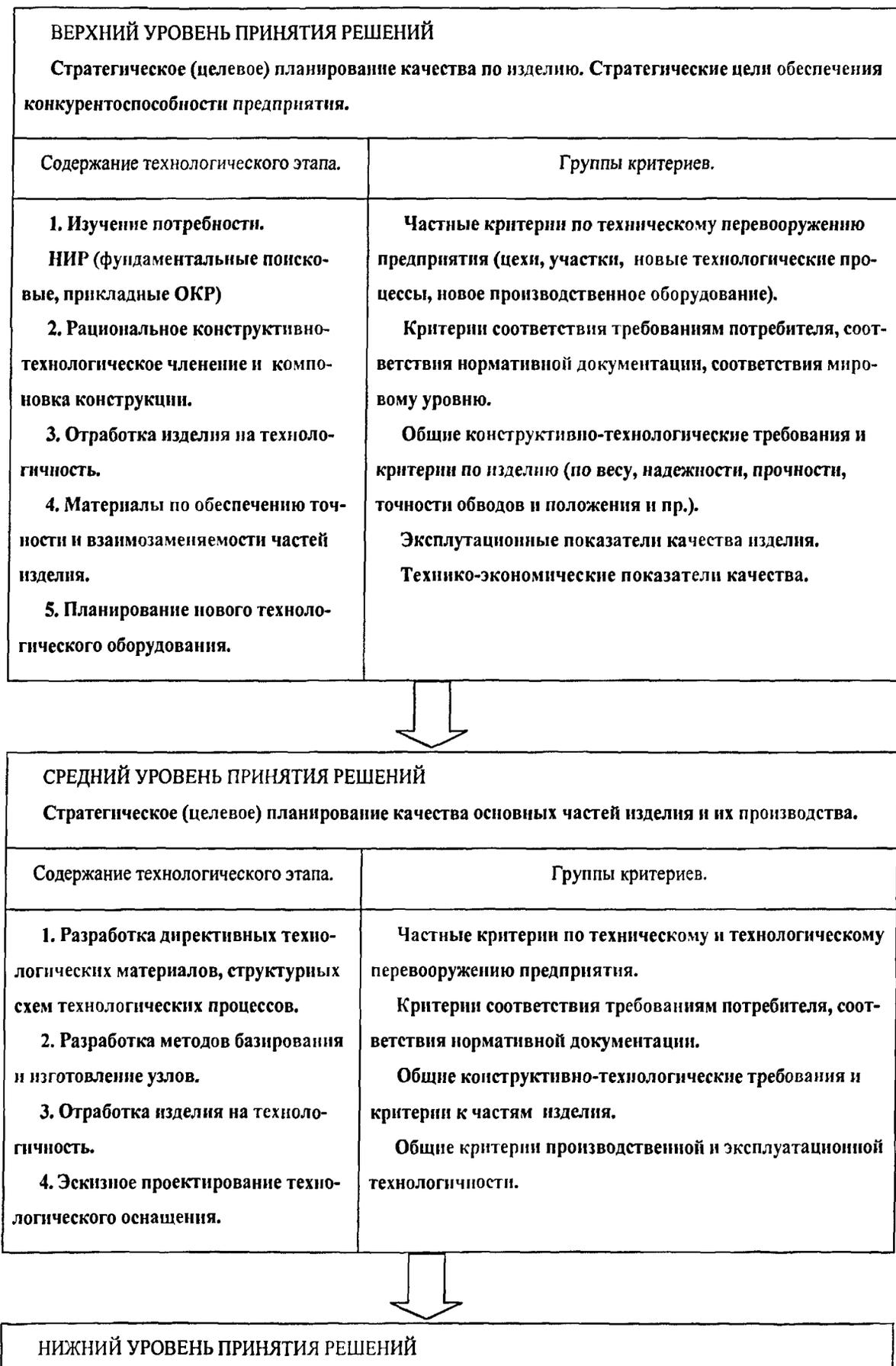
Система показателей качества при технологическом проектировании охватывает множество процессов, этапов процессов и предметов, участвующих в них.

На различных этапах технологического проектирования используют различные критерии для оценивания и различные методы оптимизации и принятия решений.

В таблице 3.1.1 дана укрупненная схема этапов технологического проектирования (условно разделенные на верхний, средний и нижний уровень принятия решений) и возможные группы критериев для оценки технологических решений.

Таблица 3.1.1.

Укрупненная схема этапов технологического проектирования.



Тактическое планирование качества основных частей изделия и их производства.	
Содержание технологического этапа.	Группы критериев.
<p>1. Разработка технологических процессов сборки и изготовления деталей.</p> <p>2. Проектирование технологического оснащения.</p> <p>3. Проектирование средств контроля и испытания узлов.</p> <p>4. Отработка технологических процессов на надежность, стабильность.</p>	<p>Критерии соответствия требованиям потребителя, соответствия нормативной документации.</p> <p>Частные конструктивно-технологические требования и критерии к частям изделия.</p> <p>Частные критерии производственной и эксплуатационной технологичности.</p> <p>Технико-экономические показатели качества - (трудоемкость, энергоемкость, технологическая себестоимость).</p> <p>Критерии оценки опытной технологии.</p>

3.2. Критерии качества на верхнем уровне технологического проектирования.

На верхнем уровне технологического проектирования в основе лежит стратегическое (рис. 3.2.1 целевое совершенствование изделия) планирование качества изделия, которое в дальнейшем детализируется.

На верхнем уровне принятия решений (стратегическом) доминируют факторы успеха технологического проекта. Известно, что важнейшими критериями успеха являются цели проекта.

В качестве критериев для классификации технологических проектов могут быть использованы совершенствование выпускаемой продукции; разработка новых видов продукции; поиск новых видов сырья; утилизация отходов; совершенствование производственного процесса; совершенствование процесса управления; маркетинговые возможности и пр.

Наиболее успешно принципы для формирования критериев оценивания технологического проекта (факторы успеха проекта) представлены в работе – «таксономическая оценка качества технологических проектов» [74].

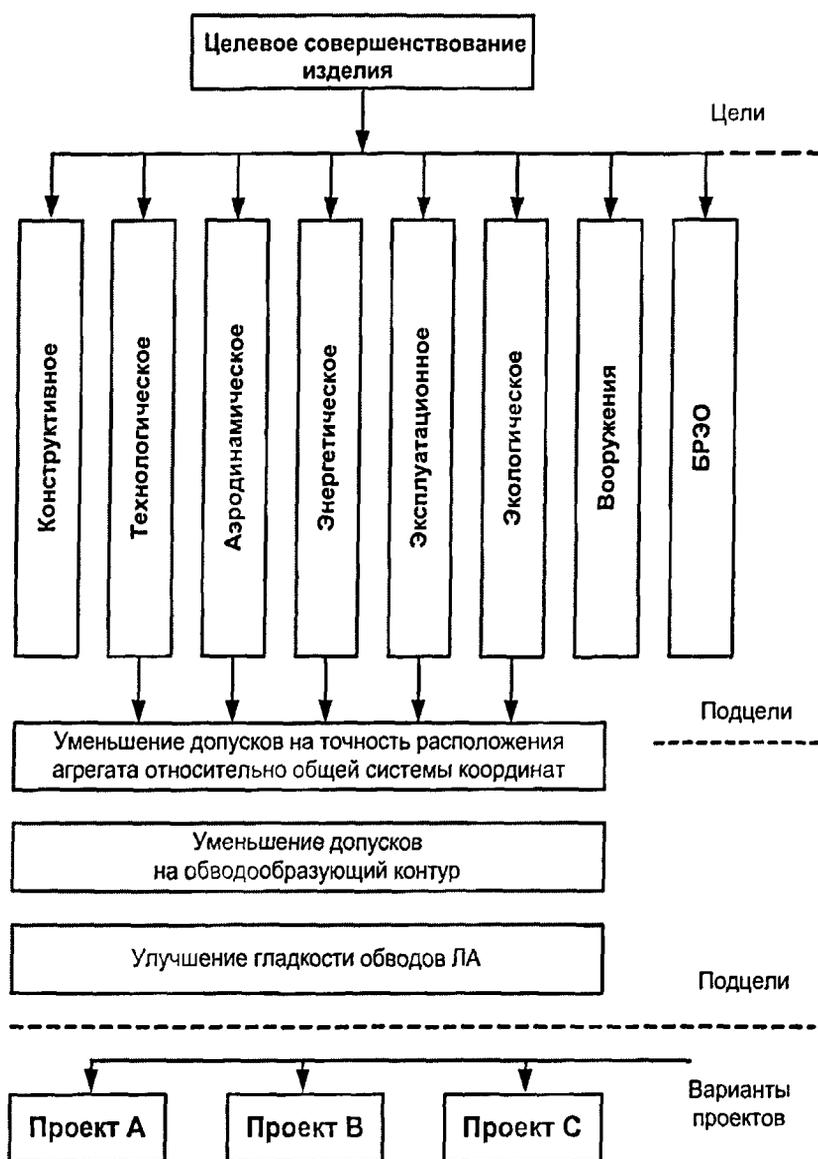


Рис. 3.2.1. Целевое совершенствование изделия.

Таксономия - наука о классификации - выявляет и применяет законы и принципы, определяющие классификацию объектов [35, 36, 37]. Таксономическая квалиметрия рассматривает методологию оценки качества различных объектов: технологий, работ, продуктов труда на основе классифицирования качеств и отнесения принадлежности их к определенным классам качеств (квалитаксонам). Теоретическая система квалиметрической таксономии включает теорию метризации пространства качеств и пространства классов, механизмы выбора классов качеств и типологию таксономических алгоритмов оценки.

Таксономия факторов успеха технологического проекта разработана [74] применительно к оценке наличия и содержания условий для успешного

выполнения проекта. Общая таксономия факторов успеха технологического проекта представлена на рисунке 3.2.2.

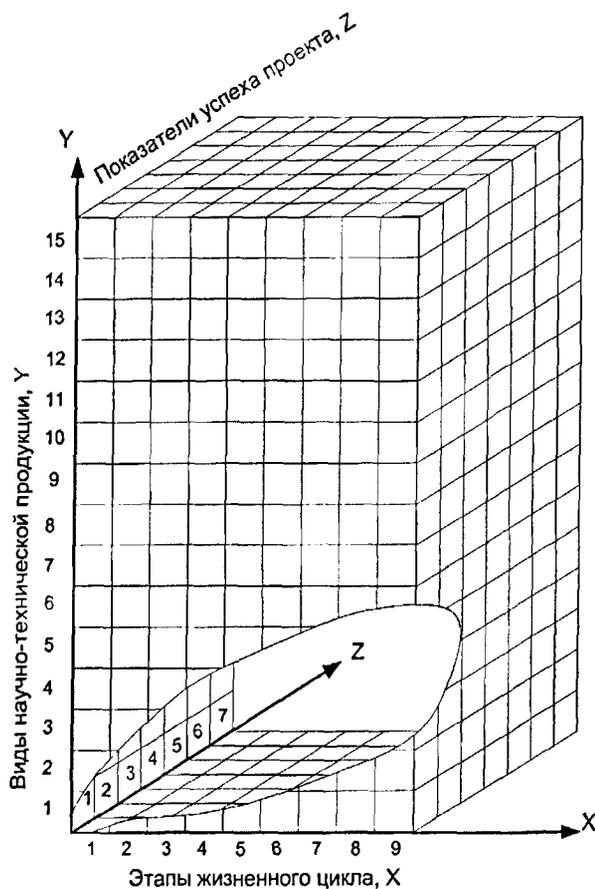


Рис. 3.2.2. Общая таксономия.

Выбрана трехмерная таксономия, где изменениями для классификации являются: по оси X - этапы жизненного цикла технологического проекта; по оси Y - вид научно-технической продукции; по оси Z - управляемые ресурсы или ресурсное обеспечение усилий по созданию условий для успеха проекта.

Каждая из ячеек определена тремя координатами, фиксирующими ее точное положение в матрице.

X(1). Этапы жизненного цикла

1. Изучение потребности
2. НИР фундаментальные
3. НИР поисковые
4. НИР прикладные
5. ОКР
6. Производство

7. Сбыт
8. Эксплуатация
9. Утилизация

У(2). Виды научно-технической продукции при технологическом проектировании

1. Новые виды сырья, топлива, энергии, материалов и изделий (потребляемых в производстве)
2. Мероприятия по совершенствованию системы управления производством и условиями труда
3. Новые производственные предприятия, цехи, участки
4. Реконструированные предприятия, цехи, участки
5. Техническое перевооружение предприятий
6. Новые технологические процессы
7. Новое производственное оборудование
8. Директивные технологические материалы
9. Маршрутные технологические процессы
10. Операционные технологические процессы
11. Проекты специальной станочной оснастки
12. Проекты сборочных приспособлений
13. Проекты разделочных станков
14. Проекты специального метрологического обеспечения
15. и т.д.

Z(3). Показатели успеха проекта технологий

1. Соответствие целям организации, целям материализации конструктивных решений
2. Обеспечение необходимого уровня качества технологического проекта
3. Полнота технологической документации
4. Эффективность управления и контроля технологическим проектом
5. Индивидуальная и коллективная ответственность.

6. Наличие творческих идей

7. Соответствие требованиям научно-технического прогресса

Имеется бесчисленное множество факторов успеха, которые могут, быть помещены внутрь каждой ячейки.

Цель данной таксономии - структурировать перспективные подходы к созданию условий для успеха проекта. Она может помочь руководителю проекта (см. рис. 3.2.3) определить конкретные ячейки, на которые обращается не достаточно внимания или для которых условия успеха не такие, какими им следовало бы быть.

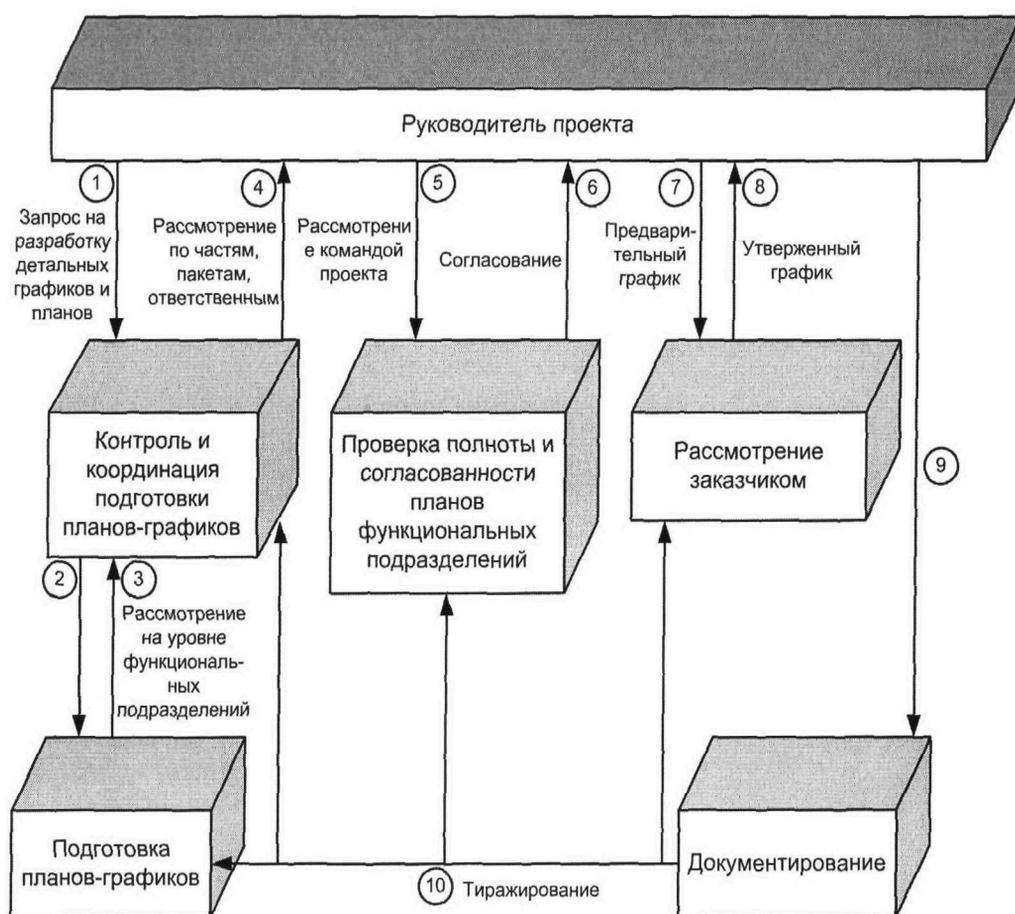


Рис. 3.2.3. Общая схема руководства проектом.

Ниже приведен фрагмент матрицы показателей оценки успешности проекта (пример).

Конъюнктура рынка

P8 Потенциальный спрос на разрабатываемую продукцию (вероятный объем продаж)

P7 Занимаемые позиции продукции предприятия (организации)

в конкурентной борьбе

- P6 Соответствие сроков завершения проекта оптимальной конъюнктуре рынка
- P5 Соответствие необходимому разнообразию моделей продукции
- P4 Соответствие разрабатываемой продукции существующим каналам распределения
- P3 Требуется ли интенсивный маркетинг (сервис, реклама, стимулирование сбыта, тестирование цены)
- P2 Прогнозируемый период жизненного цикла продукции (период устойчивого сбыта)
- P1 Соответствие требованиям государственного Законодательства

Финансы

- P8 Затраты на НИОКР
- P7 Затраты на освоение производства
- P6 Затраты на маркетинг (сбыт, реклама, сервис, исследование рынка)
- P5 Потенциальный годовой объем прибыли
- P4 Ожидаемая рентабельность
- P3 Эффективность капитальных вложений
- P2 Критический уровень инвестиций в НИОКР
- P1 Прогноз доходов на перспективу

Качество проекта

- P8 Актуальность и значимость
- P7 Уровень новизны
- P6 Уровень соответствия требованиям заказчика, целям проекта
- P5 Уровень применения методов исследований, проектирования
- P4 Показатели унификации
- P3 Патентно-правовые показатели

- P2 Соответствие требованиям специальных нормативных актов
- P1 Масштаб практического использования

Обеспечение проекта

- P8 Уровень квалификации и образования исполнителей
- P7 Наличие и использование требуемого профессионального опыта
- P6 Соответствие числа работников объему работ
- P5 Формирование творческого коллектива
- P4 Наличие необходимого лабораторного и испытательного оборудования
- P3 Полнота, качество и своевременность удовлетворения потребности в материалах, энергии, информации
- P2 Полнота производственно-технического и хозяйственного обеспечения, условий труда
- P1 Сбалансированность действий отдельных подразделений предприятия (в первую очередь НИОКР, производства, маркетинга)

Эффективное управление проектом и контроль

- P8 Наличие лидера, способствующего успеху проекта
- P7 Наличие единой программы осуществления проекта
- P6 Наличие и соблюдение координационных планов и сроков выполнения плановых заданий
- P5 Наличие эффективного механизма стимулирования
- P4 Использование методов и средств научной организации труда
- P3 Персональные контакты руководителей научных организаций с заказчиками (потребителями)
- P2 Высокая восприимчивость руководства к изменениям и нововведениям
- P1 Наличие системы управления качеством исследований и

проектирования в соответствии со стандартом ИСО 9001-2000

Соответствие целям организации

- P8 Совместимость проекта с генеральной целью (миссией) предприятия (организации)
- P7 Совместимость проекта со стратегией предприятия, организации
- P6 Согласованность проекта с политикой предприятия, долгосрочными планами, целями
- P5 Согласованность проекта с представлением о предприятии, его репутации
- P4 Определение изменения целей на основании потенциала проекта
- P3 Соответствие проекта отношению предприятия к нововведениям
- P2 Соответствие проекта специфическим требованиям предприятия
- P1 Соответствие проекта отношению предприятия к риску

Индивидуальная и коллективная ответственность

- P8 Единичная ответственность руководителя проекта
- P7 Единичная ответственность руководителя организации
- P6 Иерархия ответственности по уровню должностей лиц, подписавших (согласовавших) договор на выполнение проекта
- P5 Равная ответственность, подписавших (согласовавших) договор на выполнение проекта
- P4 Распределение ответственности за определенный этап проекта
- P3 Ответственность руководителя организации за качество проекта
- P2 Единоличная ответственность заказчика за техническое задание
- P1 Ответственность руководителя проекта за несвоевременное решение о прекращении работ по неудавшемуся проекту

Использование предлагаемого метода позволяет: выработать единый подход к оценке успешности проекта; увязать успешность проекта с конъюнктурой рынка, объемами финансирования, показателями эффективности и

качества работ, обеспеченностью ресурсами, эффективностью управления работами, целями организации, ответственностью исполнителей и руководства.

3.3. Критерии качества на среднем и нижнем уровне технологического проектирования.

На среднем и нижнем уровне технологического проектирования преимущественно используют показатели технологичности.

Показатели технологичности [55, 56, 57] характеризуют свойство продукции, обуславливающее оптимальное распределение затрат материалов, средств, труда и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации продукции.

Эффективность работ по обеспечению технологичности изделия определяется следующими факторами:

- выбором рационального принципа действия;
- рациональным членением и компоновкой конструкции;
- преемственностью конструктивных решений;
- ограничением номенклатуры и правильным выбором конструктивных материалов;
- соответствием конструкции условиям производства, технического обслуживания и ремонта изделия;
- соответствием конструкции составных частей изделия требованиям типовых технологических процессов.

Отработка изделия на технологичность решается на всех этапах разработки и постановки продукции на производство в соответствии с требованиями нормативно-методической документации.

Различают технологичность производственную и эксплуатационную. Показатели технологичности подразделяются на основные и дополнительные согласно ГОСТ 18831—73 «Технологичность конструкции. Термины и определения».

Основными показателями технологичности являются:

- абсолютный технико-экономический показатель трудоемкости изготовления;
- уровень технологичности конструкции по трудоемкости изготовления;
- технологическая себестоимость изделия, которая оценивается как сумма затрат на единицу изделия при осуществлении технологического процесса изготовления;
- уровень технологичности по технологической себестоимости, определяемый отношением достигнутой себестоимости изделия к базовому показателю технологической себестоимости изделия.

Дополнительные показатели технологичности характеризуют конструктивно-технологические особенности изделия:

- технические показатели расхода материала (масса изделия, удельная материалоемкость, коэффициент использования материала и др.);
- технические показатели обработки (коэффициент точности, коэффициент шероховатости поверхности);
- технические показатели состава конструкции (коэффициент сборности, коэффициент перспективного использования). Коэффициент сборности определяет удельный вес сборных единиц в общем количестве составных частей изделия. Коэффициент перспективного использования оценивает перспективность изделия для использования его в качестве составной части в других планируемых изделиях.

Показатели стандартизации и унификации. Применение в изделии стандартных и унифицированных составных частей снижает время и средства на проектирование и изготовление изделий в целом, обеспечивает высокую ремонтпригодность и гарантирует установленный в стандартах и другой нормативно-технической документации стабильный уровень качества. Следовательно, чем выше насыщение изделия стандартизованными и унифицированными составными частями, тем выше и стабильнее качество этого изделия.

Степень стандартизации и унификации изделия характеризуется следующими показателями: коэффициентами применяемости, повторяемости, взаимной унификации и унификации для группы изделий.

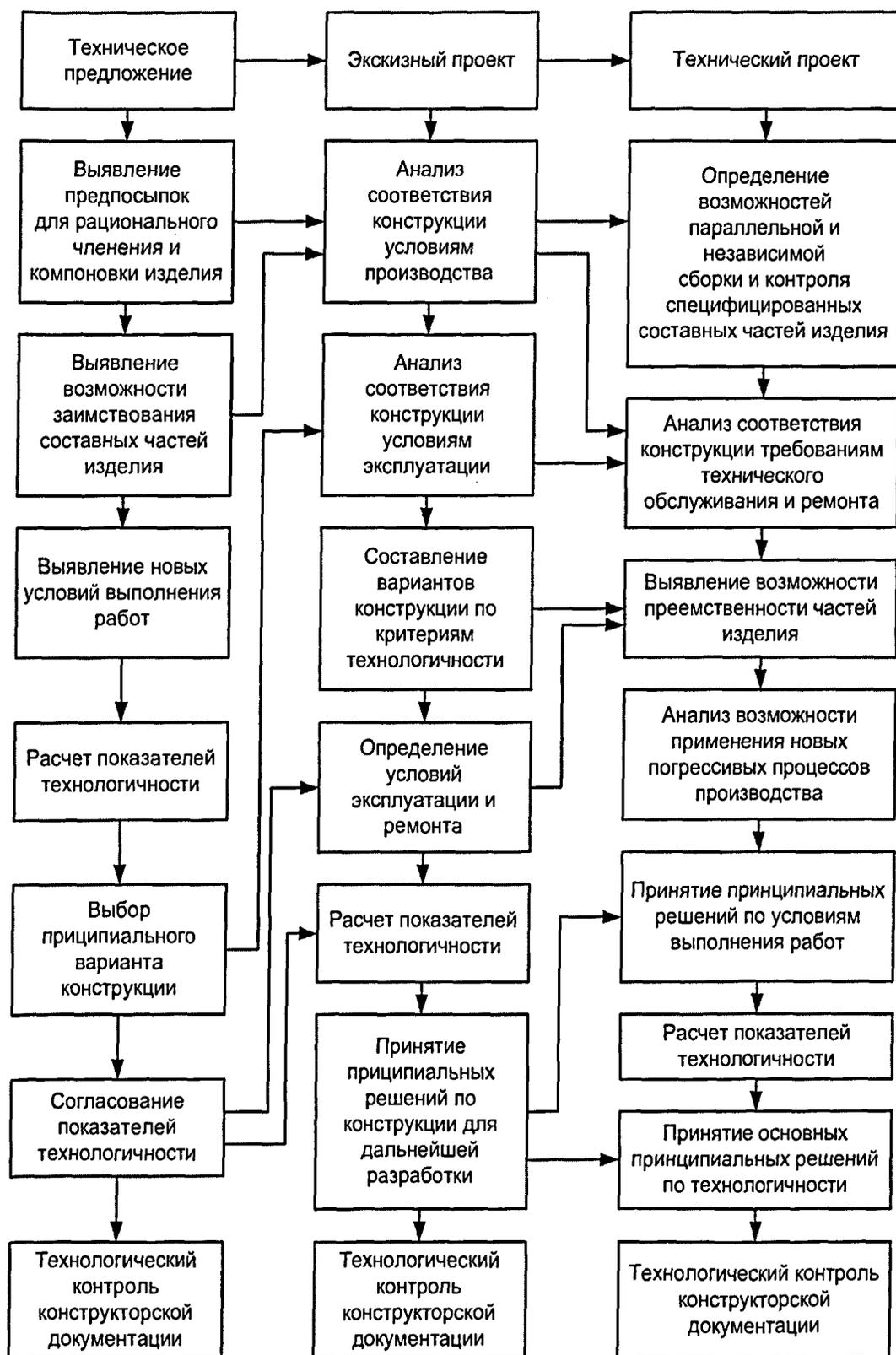


Рис. 3.3.1. Общая схема отработки изделия на технологичность.

Процедура отработки изделия на технологичность [55] фактически осуществляется на многих стадиях технологического проектирования в соответствии с укрупненной схемой (см. рис. 3.3.1).

Надежность процесса — это его свойство обеспечивать изготовление продукции в заданном объеме, сохраняя во времени установленные требования к ее качеству. До недавнего времени имело хождение другое определение: надежность процесса — это его свойство, позволяющее обеспечивать выпуск требуемого количества продукции заданного качества с заданным ритмом (производительностью) в течении требуемого промежутка времени.

В ГОСТе 27.004-85 свойство надежности представлено в более развернутом виде, но уже как понятие «работоспособное состояние технологической системы».

Работоспособное состояние — это состояние технологической системы, при котором значения параметров и (или) показателей качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

Из определения следует, что процесс будет надежным только в том случае, если его работоспособное состояние позволяет одновременно удовлетворять трем условиям (по параметрам качества продукции, производительности и затратам).

Технологический процесс и сопутствующая ему документация (инструкции, методики, карты контроля и пр.) вместе с комплектом КД являются главными техническими документами в производстве, обуславливающими качество изготовления продукции. Технологический процесс в том или ином виде содержит требования, обязательные для исполнения персоналом производства. Например, требования к температурному режиму помещений, рабочим местам, чистоте воздушной среды, условиям межцехового транс-

портирования и хранения продукции, квалификации исполнителей, аттестации приспособлений и инструмента и т.д.

Следовательно, отработка на надежность [50, 51, 52, 72], сопровождаемая совершенствованием процессов, непременно ведет к повышению технической культуры и технологической дисциплины производства.

Но главным свойством технологического процесса, определяющим технологическую надежность детали (изделия), является его собственная надежность.

Точность — это свойство технологического процесса, обуславливающее близость действительных и номинальных значений параметров по их распределению (ГОСТ 8.567-99).

Точность характеризует свойство процесса обеспечивать соответствие поля рассеивания значений показателя качества при изготовлении заданному полю допуска и его расположению.

Стабильность — свойство технологического процесса, обуславливающее постоянство распределений вероятностей контролируемых параметров процесса в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне (ГОСТ 8.567-99).

Из определений следует, что точность характеризует технологический процесс в некоторый фиксированный момент времени, в статике. Стабильность же — понятие динамическое, и точность следует рассматривать как составную часть свойства стабильности.

Изделие нельзя считать надежным, если технологические процессы его изготовления нестабильны и заданная чертежом точность параметров выдерживается неустойчиво, не постоянно от детали к детали.

Неточность и нестабильность процесса — одна из распространенных причин отказа изделия. Нестабильность процесса — следствие многих изменяющихся во времени факторов: изменение свойств материала (на разных его партиях), износ оборудования и инструмента, сезонные изменения температурно-влажностного режима, непостоянство и низкая точность режимов об-

работки, смена исполнителя и влияние других меняющихся факторов. Всё это приводит к изменению статистических характеристик распределения ВП (средней величины, среднего квадратичного отклонения) при изготовлении нескольких деталей.

Методы обеспечения точности и стабильности процессов хорошо известны в технике, всесторонне рассматриваются в технической литературе и широко применяются при отработке изделий на технологичность (особенно для обеспечения точности).

Производственный контроль (проверка соответствия изделия техническим требованиям) является одним из основных методов обеспечения качества изделия при его изготовлении. Ошибки и упущения при выборе методов и средств контроля, назначении объема контрольных операций нередко приводят к отказам изделий.

Известно, что контроль (т.е. измерение и испытание) не может изменить какое-либо свойство изделия. В этом отношении роль контроля пассивна. Но контроль всегда необходим, как один из инструментов для оценки показателей качества детали, принятия решения по результатам контроля.

Объектом производственного контроля служат: показатели качества изделия, техническая документация, средства технологического оснащения, технологическая дисциплина, технологический процесс. Все перечисленные объекты важны при отработке на надежность.

Остановимся ниже на особенностях контроля показателей качества изделия (по ГОСТ 16504-81 — это контроль качественных и (или) количественных характеристик свойств продукции) и на особенностях контроля технологических процессов (контроль режимов, характеристик и параметров процесса). Производственный контроль включает в себя **измерение** (нахождение значений физических величин опытным путем с помощью специальных технических средств) и **испытания** (экспериментальное определение количественных и качественных характеристик свойств изделия при воздействии на него).

По этапам производства производственный контроль подразделяется на виды: входной, операционный и приемочный. Особое значение имеет операционный контроль (по ГОСТ 16504-81 — это контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции).

В зависимости от стоящих задач на разных стадиях отработки изделия, производственный контроль может быть сплошным, выборочным или статистическим.

На стадии серийного производства сплошной контроль [72] почти полностью исключает проникновение на сборку дефектных деталей.

Сплошной контроль обязателен при освоении новых конструкций и отладке новых технологических процессов (для оценки точности процесса на первой партии деталей).

Выборочный контроль применяется в тех случаях, когда встречается очень высокая трудоемкость контроля, контроль связан с разрушением детали, технологический процесс хорошо отработан (стабилен).

Статистический контроль основан на применении статических методов для оценки качества изделия (процессов) и используется при управлении процессами (ГОСТ 27.202-83).

Эффективностью контроля принято считать такое качество контроля, которое отражает степень (меру) целесообразности его осуществления в некоторой заданной ситуации и оцениваемое комплексом показателей контроля. Наиболее распространенными показателями контроля являются: точность (свойство контроля, определяющее близость его результатов к истинному значению контролируемого признака), достоверность (вероятность соответствия результатов контроля действительным значениям контролируемых признаков), полнота (там же — отношение количества контролируемых признаков изделия на данной операции к общему числу (на всех операциях) контролируемых признаков в обрабатываемом изделии).

Совокупность контролируемых признаков на детали представляет собой объем контроля.

Точность и достоверность контроля зависит главным образом от выбранных методов и средств контроля (точности последних). Недостаточная точность и достоверность контроля реже приводит к отказам, чем недостаточный объем контроля или несоответствие выбранного метода контроля данному признаку детали.

Отработка точности и стабильности [72] ВП неразрывно связана с контролем (процессом измерения), который выступает в качестве одного из обязательных элементов известного цикла управления.

Применительно к отработке точности данный цикл состоит из следующих последовательных шагов:

- разработка чертежа (или процесса);
- изготовление детали по чертежу (и процессу);
- контроль детали на соответствие требованиям чертежа;
- принятие решений (мер) по результатам контроля для устранения отступлений от чертежа;
- изготовление детали с учетом принятых мер и т.д. до полного обеспечения требований чертежа.

Отработка и оценка точности и стабильности процессов (ВП) в сложных изделиях базируется главным образом на анализе результатов контроля (измерения) и применении опытно-статистических методов определения соответствующих показателей качества. Отсюда — первостепенное значение приобретает сбор необходимых данных в опытном и серийном производстве.

Полный анализ точности и стабильности процесса включает в себя следующие задачи (ГОСТ 27.202-83):

- определение точностных характеристик (параметров точности) процесса (полей рассеивания ВП, центров рассеивания и средних квадратичных отклонений);

- анализ факторов, определяющих законы распределения ВП и степень их влияния на точность с использованием методов корреляционного и регрессионного анализов и метода планирования эксперимента;
- оценка точности процесса (ГОСТ 27.202-83);
- расчет допусков на настройку автоматизированного оборудования;
- выбор метода регулирования процесса;
- определение контрольных границ для параметров процесса;
- определение или уточнение таких факторов управления процессом, как модели формирования суммарной погрешности процесса, модели изменения точности по времени, зависимости между ВП и параметрами процесса, зависимости между погрешностями обработки на различных операциях процесса, пути и средства повышения точности и стабильности.

Оценка точности и стабильности процесса (или оценка надежности процесса по параметрам точности, как формулирует ГОСТ 27.202-83) при контроле по количественному признаку производится на основе показателей точности процесса. К ним относятся следующие показатели (ГОСТ 27.202-83):

1) Коэффициент точности (K_T)

$$K_T = \frac{\omega}{\delta},$$

где

ω — поле рассеивания параметра за установленную наработку процесса, определяемое с доверительной вероятностью по выражению $\omega = l(\gamma) \cdot S$, где l — коэффициент, зависящий от закона распределения параметра и величины γ (при $\gamma = 99,73$ для нормального закона Гаусса), широко используемого в производственной практике, $\omega = 6S$, S — среднее квадратическое отклонение параметра, определяемое по приложению 2 ГОСТ 27.202-83;

δ — допуск на контролируемый параметр. Значение K_T не должно быть существенно больше единицы.

2) Коэффициент смещения (K_c)

$$K_c = \frac{\bar{X} - \Delta}{\delta},$$

где

\bar{X} — среднее значение параметра (определяемое по приложению 2 ГОСТ 27.202-83);

Δ — координата середины поля допуска.

3) Процент ожидаемого брака деталей (q) или коэффициент запаса точности (K_3). Данные показатели служат также для оценки стабильности процесса.

Процент ожидаемого брака деталей q вычисляется по формуле

$$q = 1 - \left[\Phi\left(\frac{d - \bar{X}}{S}\right) - \Phi\left(\frac{c - \bar{X}}{S}\right) \right],$$

где

$\Phi()$ — функция нормированного нормального распределения — функция Лапласа (табулированная, см. приложение ГОСТ 27.202-83);

X , S — параметры нормального распределения исследуемого параметра;

c , d — границы поля допуска ($d > c$).

Коэффициент запаса точности K_3 вычисляется по формуле

$$K_3 = 0,5 - K_c - 0,5K_r.$$

Значения указанных показателей точности процесса выдаются компьютером одновременно с изображением гистограммы и закона распределения параметра.

Оценка точности и стабильности процесса (и ВП) основана на сравнении полученных показателей точности с установленными (нормативными) критериями для данных ВП. Например, в работе [50] рекомендуются следующие критерии для операций механической обработки:

$$K_T \leq 1,05; K_C \leq 0,05; q \leq 0,6\%.$$

По другим видам обработки подобные критерии в технической литературе встречаются значительно реже и большей частью относятся к частным случаям.

Составной частью контроля являются испытания, которые проводятся, как правило, по специальным программам и служат неотъемлемым элементом отработки на надежность.

Большое значение имеют испытания, в результате которых можно получить аналитические зависимости закономерностей повреждения материала от тех или иных технологических факторов в функции времени.

Объектом измерения при испытаниях служат характеристики повреждения (величина износа, эрозии, усталостных повреждений, и т.п.), а также изменения начальных значений ВП.

В ряде случаев возникает необходимость определения значения вероятности выполнения процессом установленных требований КД. Тогда производят оценку выполнения задания по ГОСТ 27.202-83.

Данная оценка согласно ГОСТ производится для процессов (операций), оказывающих решающее влияние на качество готовой продукции, а также в том случае, если получены неудовлетворительные результаты оценок по параметрам точности $\{K_T, K_C, q\}$ и по параметрам технологической дисциплины (ГОСТ 27.202-83, раздел 2).

При оценке используются следующие показатели:

1. $P_i(t)$ — вероятность выполнения задания по одному (i -му) параметру изготавливаемой продукции (вероятность выполнения требования КД по этому параметру для единицы продукции, изготовленной в момент времени t) следующего вида:

$$P_i(t) = P\{X_{ни} \leq X_i(t) \leq X_{ви}\},$$

где $X_i(t)$, $X_{ви}$, $X_{ни}$ — соответственно, фактическое, верхнее и нижнее предельное (по КД) значение контролируемого параметра.

Значение $P_i(t)$ определяется по формуле (приложение 6 ГОСТ 27.202-83)

$$P_i(t) = \Phi\left(\frac{X_B - \bar{X}}{S}\right) - \Phi\left(\frac{X_H - \bar{X}}{S}\right),$$

2. $P_{1\dots n}(t)$ — вероятность выполнения задания по n параметрам изготавливаемой продукции (вероятность выполнения требований одновременно по n параметрам для единицы продукции, изготовленной в момент времени (t) следующего вида:

$$P_{1\dots n}(t) = P\{X_{n1} \leq X_1(t) \leq X_{B1}; \dots; X_{nn} \leq X_n(t) \leq X_{Bn}\}.$$

В данном случае оценку производят по коэффициенту выполнения задания (по нескольким параметрам):

$$K_B(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(t).$$

3. Вероятность выполнения задания для технологического процесса в целом по данному параметру качества.

Если погрешности независимы на последовательно выполняемых операциях процесса, то показатель выполнения задания в целом процессу и по данному параметру качества (K) определяется по формуле:

$$P_K(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

где i — номер операции, n — количество операций.

Если погрешности зависимы между собой на различных операциях, то вероятность выполнения задания для процесса в целом по данному параметру определяется с учетом коэффициента передачи дефекта с предшествующей операции на последующую, а также с учетом структуры формирования погрешности по операциям процесса. Расчет проводится по ГОСТ 27.202-83, приложение 7.

Существуют и другие способы оценки надежности процесса. Например, в работе [73] рекомендуется это делать с помощью показателя K , харак-

теризующего вероятность получения качественного изделия. Показатель определяется по формуле

$$K = \prod_{i=1}^m (1 - \alpha_i),$$

где α_i — вероятность получения дефекта по i -му параметру качества изделия, которая определяется из отношения N_q^i / N , где N_q^i — количество дефектных деталей в выборке, N — общее количество деталей в выборке, прошедших контроль; m — число контролируемых параметров качества в данном изделии (детали, узле).

Данный показатель позволяет сравнительно просто и комплексно оценить надежность процесса изготовления детали, но существенно затрудняет принятие адресных мер по корректировке конкретного процесса.

3.4. Структурирование показателей качества технологического проекта.

Проведенный в предыдущих параграфах системный анализ показывает, что для успешного использования критериев качества создаваемого технологического проекта, необходимо их структурировать.

Структурирование показателей качества технологического проекта может быть осуществлено по следующим направлениям:

1. От общих критериев обеспечения качества всего изделия к частным критериям качества частей изделия.

2. Целесообразно осуществить классификацию критериев по этапам технологического проектирования. Например, на самых первых этапах создания технологического проекта целесообразно использовать, рассмотренную в параграфе 3.2 таксономию факторов успеха технологического проекта.

3. На среднем и нижнем уровне принятия решений системы критериев разрабатываются с учетом особенностей рассматриваемого процесса или предмета (рис. 3.4.1), а также с учетом фактора технологической наследственности.

В этом случае оценивается как сам процесс, так и предметы участвующие в процессе (оборудование, технологическая оснастка, средства контроля, изготавливаемое изделие и т.д.).



Рис. 3.4.1. Классы критериев по процессам и предметам.

Например, критерии качества при контроле выходных параметров (ВП) изделия:

- Обеспеченность контролем качества выходных параметров;
- Степень охвата контролем всего множества выходных параметров процесса;
- Апробированность методов контроля качества в авиационной промышленности;
- Уровень автоматизации контроля ВП;
- Точность контроля отдельных ВП;
- Уровень квалификации исполнителей;

- Трудоемкость контроля;
- Удобство контроля;
- Безопасность контроля;
- Степень соответствия нормативной документации;
- Вероятность возникновения ошибки при контроле;
- Соответствие оборудования мировому уровню;
- Стоимость контрольно-измерительного оборудования;
- Сложность наладки оборудования.

Критерии качества процесса на данном этапе:

- количество ВП, обеспечиваемое процессом;
- Производительность процесса;
- Наличие технологического оборудования;
- Освоенность технологического оборудования;
- Необходимость дополнительного оборудования;
- Стабильность обеспечения выходных параметров;
- Уровень квалификации исполнителей;
- Количество исполнителей;
- Безопасность процесса;
- Степень автоматизации процесса;
- Степень соответствие лучшим мировым образцам;
- Энергоемкость оборудования.

Критерии качества основного оборудования:

- Наличие оборудования на производственной площадке;
- Энергоемкость оборудования;
- Трудоемкость наладки;
- Возможность использования при изготовлении других изделий;
- Наличие квалифицированных исполнителей;
- Наличие квалифицированных наладчиков;
- Необходимость дополнительного оборудования;

- Степень соответствие лучшим мировым образцам;
- Безопасность оборудования;
- Стоимость обслуживания;
- Стоимость дополнительных материалов;
- Трудоемкость обслуживания.

Одновременно следует классифицировать критерии по группам процессов:

- Заготовительные процессы;
- Процессы механообработки;
- Процессы холодного деформирования;
- Процессы литья;
- Процессы сварки;
- Процессы образования защитных покрытий и пр.

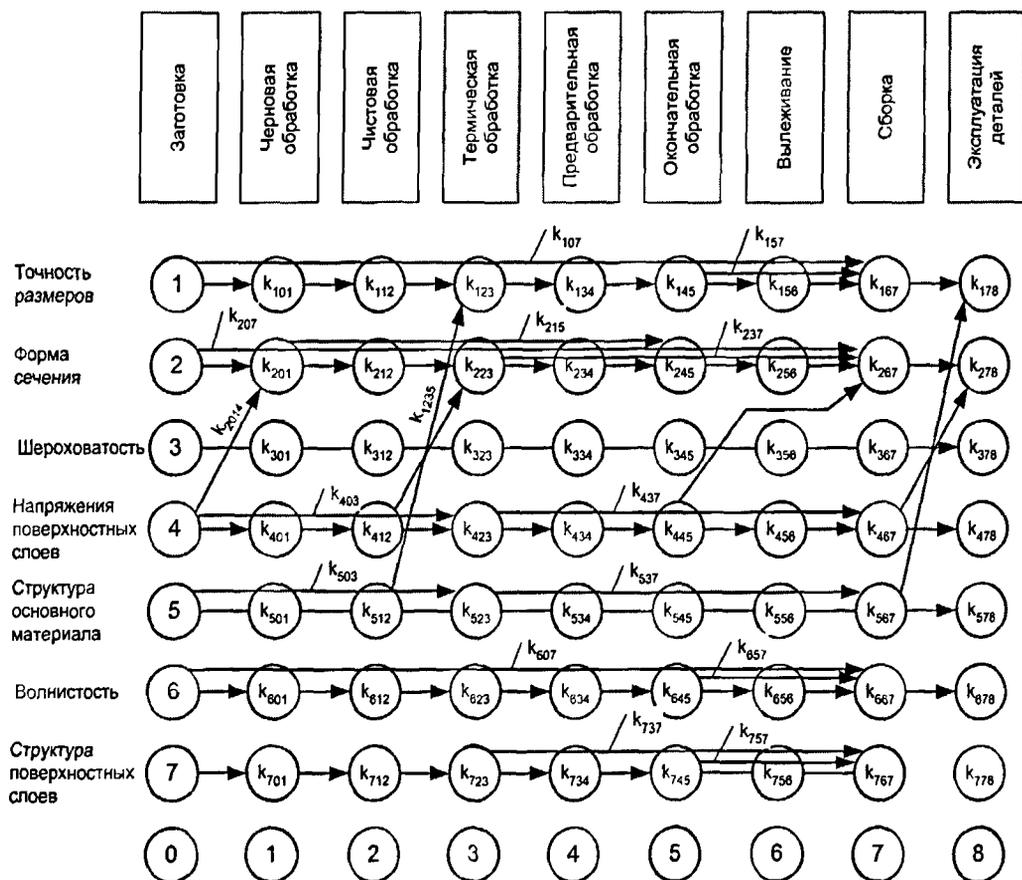


Рис. 3.4.2. Взаимосвязь и взаимовлияние отдельных этапов технологического процесса.

Как отмечалось ранее при оценивании вариантов технологических процессов необходимо вводить критерии качества, которые учитывают эффект технологической наследственности [50] (см. рис. 3.4.2).

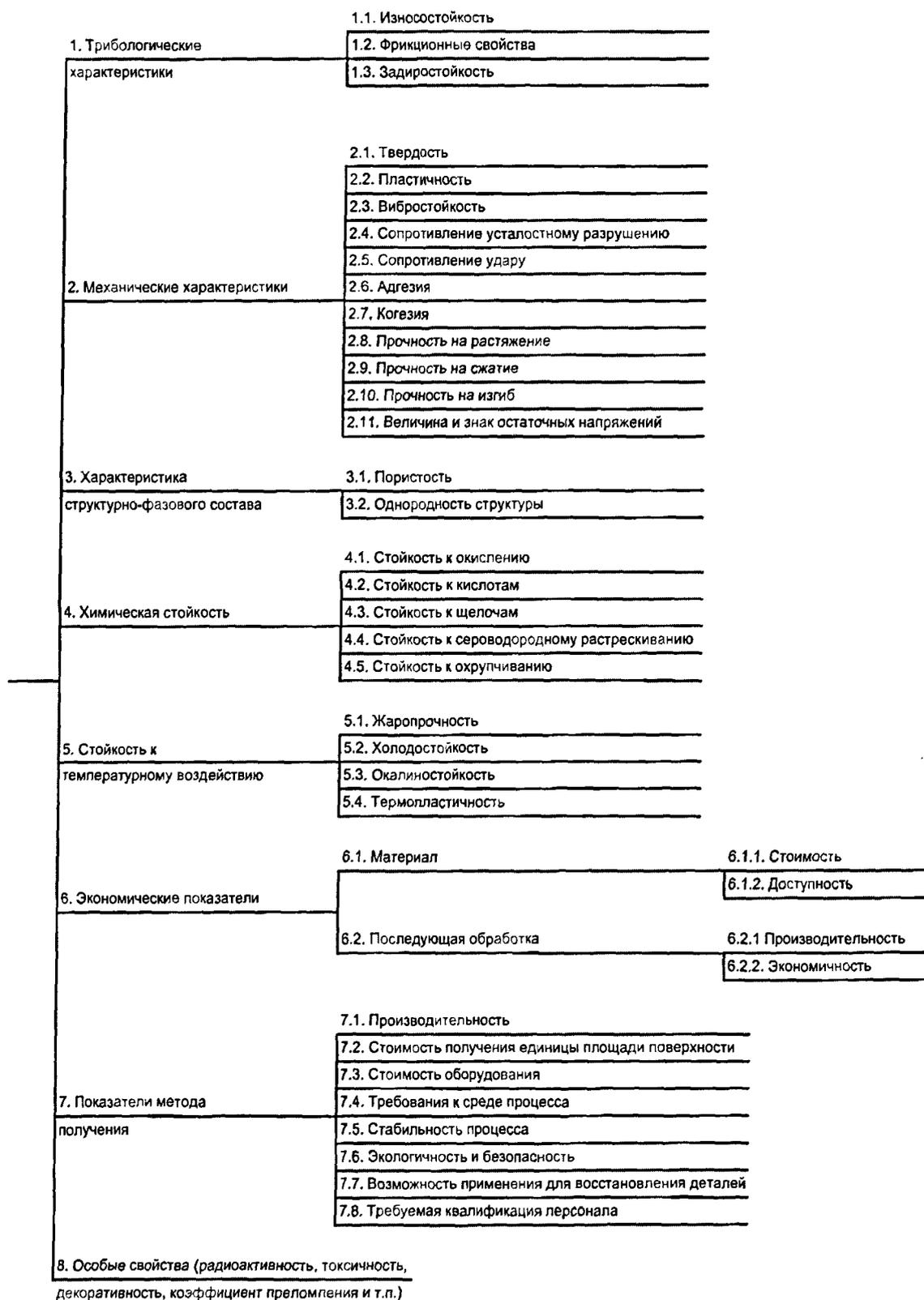


Рис. 3.4.3. Дерево критериев применительно к оцениванию качества поверхностного слоя.

В целом системы критериев удобно представлять в виде иерархической структуры, многоуровневых деревьев.

Например, для оценивания поверхностного слоя получаемого изделия система критериев может быть представлена в виде дерева (см. рис. 3.4.3).

Предполагается, что для различных этапов технологического проектирования, для различных процессов и предметов могут быть построены системы критериев в виде деревьев. Такие системы в дальнейшем могут быть использованы для назначения конкретных критериев при анализе конкретных вариантов технологических процессов.

Выводы по главе 3.

1. Оценивание проектных технологических решений осуществляется на основе комплексных, интегральных и единичных критериев и должны быть отнесены к отдельным этапам технологического проектирования, к отдельным проектируемым процессам и их частям, так и к предметам, участвующим в процессе. Формирование системы критериев для оценивания технологического проекта является сложной, творческой задачей. Сложность эта проистекает из-за многообразия оцениваемых процессов и предметов, тесной их взаимосвязи и противоречивости требований.
2. Наиболее общее требование к системе критериев-показателей, очевидно, состоит в том, чтобы оценка качества по своей сути была комплексной и системной. Совокупность показателей должна всесторонне характеризовать качество технической системы и в то же время в ней не должно быть дублирующих показателей. Как показывает опыт, такую систему целесообразно представлять в виде некоторой иерархии, в вершине которой находится обобщающий показатель качества. Второй уровень образуют комплексные показатели. Каждый из этих показателей также может рассматриваться в виде пирамиды, нижний уро-

вень которой составляют единичные показатели, отражающие основные свойства технической системы.

3. На верхнем уровне технологического проектирования целесообразно использовать критерии успеха технологического проекта. Таксонометрическая квалиметрия позволяет систематизировать критерии и представить их в виде деревьев.

4. Структурирование показателей качества технологического проекта может быть осуществлено по следующим направлениям:

- по этапам технологического проектирования;
- от общих критериев обеспечения качества всего изделия к частным критериям качества частей изделия;
- на среднем и нижнем уровне принятия решений системы критериев разрабатываются с учетом особенностей рассматриваемого процесса или предмета, а также с учетом фактора технологической наследственности.

ГЛАВА 4
МЕТОДИКА ЭКСПЕРТИЗЫ
ПРОЕКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

4.1. Принятие решений на этапах технологического проектирования.

Принятие решений на этапах технологического проектирования, связано с измерением качества проектных предложений, их сравнительной оценкой и принятием решения о выборе наилучшего проектного технологического предложения. Невершенный технологический проект, ни при каких обстоятельствах, не обеспечит высокое качество будущего изделия.

Методам принятия решений посвящено достаточно много работ [6, 48, 49, 61-67]. Выбор метода принятия решений зависит от типа задач. В работе [65] задачи делят на три основных класса:

1) хорошо структурированные или количественно сформулированные задачи, в которых существенные зависимости ясны настолько хорошо, что они могут быть выражены в числах или символах;

2) слабоструктурированные или смешанные задачи, которые содержат как качественные, так и количественные элементы, причем качественные, малоизвестные и неопределенные стороны имеют тенденцию доминировать;

3) неструктурированные или качественно выраженные задачи, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми совершенно неизвестны.

Для решения задач первого класса используют методы исследования операций. Для этих задач существуют адекватные математические модели процессов и/или устройств и данные, позволяющие априорно определить параметры моделей.

Ко второму классу относят многие смешанные задачи, использующие как эвристические предпочтения, так и аналитические модели. Им соответст-

вуют многие проблемы, связанные с экономическими и политическими решениями, проблемы медицинской диагностики и т.п.

Задачи третьего класса характеризуются: уникальностью выбора в том смысле, что каждый раз проблема является новой для ЛПР, либо обладает новыми особенностями по сравнению со встречавшейся ранее подобной; неопределенностью в оценках альтернативных вариантов решения проблемы; качественным характером оценки вариантов решения проблемы, чаще всего формируемым в словесной форме; оценкой альтернатив.

При технологическом проектировании класс задач и метод их решения зависит от этапа технологического проектирования. На верхних и средних уровнях технологического проектирования, доминируют задачи, относящиеся ко второму и третьему классу.

Системный подход к созданию и анализу новой техники подразумевает описание задач на основе формализованных моделей и неформальных описаний, в составе которых основное место занимают качественные признаки.

Новая методология подразумевает объединение математических и неформальных методов анализа. Практическая реализация новой методологии видится по нескольким направлениям. Первое направление – это дальнейшее развитие имитационных систем, их интеллектуализация. Второе направление – использование экспертов, т.е. узких специалистов по рассматриваемой проблеме.

Экспертиза как способ получения информации всегда использовалась в процессе выработки и принятия решений. Однако в научный метод анализа сложных, трудно формализуемых проблем экспертиза превратилась сравнительно недавно. Сущность экспертизы как научного метода заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой результатов. Обобщенное мнение группы экспертов принимается как решение проблемы.

Качество экспертизы зависит от выбранного метода экспертной оценки, формы опроса экспертов и метода обработки результатов опроса. Нако-

нец качество экспертизы определяется составом группы экспертов, их профессионализмом.

Метод экспертной оценки – это метод измерения характеристик важности, достоверности и предпочтительности анализируемых объектов. Существует целый ряд методов экспертной оценки, различающихся способами декомпозиции проблемы и принципами измерения (оценки) свойств технических систем. Выбор конкретного метода определяется целями экспертизы, сущностью решаемой проблемы, полнотой и достоверностью информации, временем и затратами на проведение экспертизы. Классическими методами экспертной оценки являются: ранжирование, парное сравнение, непосредственная оценка и последовательное сравнение.

4.2. Использование метода анализа иерархий при технологическом проектировании.

Метод анализа иерархий, является в настоящее время одним из самых мощных и эффективных методов экспертизы и принятия решений [46, 47]. Предложенный Томасом Саати метод анализа иерархий объединяет идею парного сравнения объектов с аналитическим подходом к формированию оценочного решения. Аналитический подход, опирающийся на алгебраическую теорию матриц, позволяет по результатам парных сравнений построить упорядоченный ряд объектов по одному или совокупности иерархически связанных показателей (признаков сравнения) и тем самым определить лучший объект.

Давая сравнительную оценку метода с другими классическими методами экспертных оценок (ранжирование, непосредственная оценка и последовательное сравнение), следует отметить, что этот метод, основанный на парном сравнении объектов по отдельным признакам, обладает одним, но очень важным достоинством: метод позволяет проводить экспертное оценивание большого числа объектов по большому числу признаков.

Метод анализа иерархий имеет [48] очень важное достоинство: этот метод ориентирован на анализ и оценку сложных иерархических структур,

каковыми и являются сложные технологические проекты. Другими преимуществами метода анализа иерархий являются:

- ориентированность на решение задач (экспертизу) с использованием качественных неформальных характеристик;
- универсальность метода по отношению к широкому классу задач;
- наличие механизмов контроля согласованности решений экспертов;
- простота проведения экспертизы любым количеством экспертов;
- легкая формализуемость метода, позволяющая строить на основе метода как самостоятельные, так и интегрированные в состав сложных программных систем подсистемы экспертных оценок.

Применение метода анализа иерархий к решению задачи экспертизы и оценки качества проектных технологических предложений включает три основных этапа [48]:

1) иерархическое представление задачи экспертизы, в которой нижний уровень иерархии представлен альтернативами (проектными предложениями технической системы), верхний уровень иерархии – целью, промежуточные уровни иерархии занимают критерии, по которым производится сравнение проектных предложений;

2) проведение парных сравнений для определения количественной оценки степени влияния элементов каждого уровня иерархии на каждый элемент соседнего с ним верхнего уровня иерархии;

3) получение приоритетов, характеризующих количественно степень влияния альтернатив через на цель – оценку качества проекта.

Раскроем содержание перечисленных этапов.

Конкретные подходы к иерархическому представлению сложных проблем во многом зависят от набора формальных и неформальных методов исследования, накопленного опыта в решении сходных проблем, возможности привлечения компетентных специалистов и т.д.

В рассматриваемой задаче экспертизы целью является сравнительная оценка проектных технологических решений с позиций качества. Цель зани-

мает верхний уровень в иерархическом представлении задачи экспертизы (далее, иерархии). Нижний уровень иерархии – уровень альтернатив.

Рассмотренная система показателей качества является методологической основой иерархического представления задачи экспертизы.

Конкретное наполнение системы показателей, т.е. выбор показателей, находящихся на нижних уровнях иерархии – является неформальной процедурой.

В методе анализа иерархий элементы задачи экспертизы (A_1, A_2, \dots, A_n) сравниваются попарно по отношению к их воздействию («весу») на общую для них характеристику (цель, критерий), см. табл. 4.2.1.

Таблица 4.2.1.

Таблица важности элементов задачи экспертизы по отношению к общей для них характеристике (цели, критерию).

Цель (критерий)	A_1	A_2	...	A_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}

Количественные суждения о парах элементов (A_i, A_j) представляются матрицей A размера $n \times n$. Элементы матрицы a_{ij} определяются по следующим правилам:

Правило 1. Если $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$.

Правило 2. Если суждения таковы, что A_i имеет одинаковую с A_j относительную важность, то $a_{ij} = a_{ji} = 1$.

Правило 3. Элементы $a_{ii} = 1$ для всех i .

Таким образом, матрица A , которая носит название матрицы парных сравнений, имеет вид:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (4.2.1)$$

После получения количественных суждений о парах (A_i, A_j) и представления их в числовом выражении через a_{ij} задача сводится к тому, чтобы n элементам A_1, A_2, \dots, A_n поставить в соответствие множество числовых весов w_1, w_2, \dots, w_n , которые отражали бы зафиксированные суждения. При этом матрица будет иметь следующий вид:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}. \quad (4.2.2)$$

Матрица A – обратносимметричная, так как $a_{ij} = 1/a_{ji}$. Если наши суждения совершенны при всех сравнениях, то $a_{ik} = a_{ij}a_{jk}$ для всех i, j, k и матрица A называется согласованной.

Очевидным для согласованной матрицы является случай, когда сравнения основаны на точных измерениях, т.е. веса w_1, w_2, \dots, w_n известны. Тогда $a_{ij} = w_i/w_j$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) и поэтому

$$a_{ij}a_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \cdot \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik};$$

$$a_{ji} = w_j/w_i = \frac{1}{w_i/w_j} = 1/a_{ij}.$$

В этом идеальном случае, когда парные сравнения основаны на точных оценках, собственные значения и вектора определяются из матричного уравнения

$$Aw = nw. \quad (4.2.3)$$

В теории матриц эта формула означает то, что w – собственный вектор матрицы A с собственным значением равным n , остальные собственные значения – нули.

Если w_1, w_2, \dots, w_n неизвестны заранее, то парные сравнения элементов производятся с использованием субъективных суждений экспертов, численно оцениваемых по некоторой шкале. В этом случае субъективные оценки экспертов a_{ij} будут отклоняться от «идеальных» отношений w_i/w_j . Поэтому уравнение (4.2.3) более не будет иметь места.

В случае субъективных оценок вместо уравнения (4.2.3) будем иметь следующее уравнение для определения собственных значений

$$Aw = \lambda_{\max} w, \quad (4.2.4)$$

где

λ_{\max} – наибольшее собственное значение несогласованной матрицы A ;

w – собственный вектор, соответствующий этому собственному значению.

При этом числовые веса w_i, w_j будут связаны соотношением:

$$w_i = \frac{1}{\lambda_{\max}} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (4.2.5)$$

Так как желательно иметь нормализованное значение, заменим w на $(1/\alpha)w$, где $\alpha = \sum_{i=1}^n w_i$. Это обеспечивает единственность решения, а также то,

что $\sum_{i=1}^n (1/\alpha)w_i = 1$.

Для проведения субъективных парных сравнений разработана шкала (таблица 4.2.2). Прежде чем представить шкалу, следует отметить, что по соглашению сравнивается относительная важность левых элементов таблицы 4.2.1 с элементами наверху. Поэтому если элемент слева важнее, чем элемент наверху, то в клетку заносится положительное целое (от 1 до 9); в противном случае обратное число (дробь). Относительная важность любого элемента, сравниваемого с самим собой, равна 1; поэтому диагональ матрицы содержит

только единицы. Наконец обратными величинами заполняются симметричные клетки таблицы 4.2.1.

Таблица 4.2.2.
Шкала относительной важности.

Интенсивность относительной важности	Определение	Объяснение
1	Равная важность.	Равный вклад двух критериев (альтернатив) в цель (критерий).
3	Умеренное превосходство одного над другим.	Опыт и суждения дают легкое превосходство одному критерию (альтернативе) над другим критерием (альтернативой).
5	Существенное или сильное превосходство.	Опыт и суждения дают сильное превосходство одному критерию (альтернативе) над другим критерием (альтернативой).
7	Значительное превосходство.	Одному критерию (альтернативе) дается настолько сильное превосходство, что оно становится практически значимым.
9	Очень сильное превосходство.	Очевидность превосходства одного критерия (альтернативы) над другим подтверждается наиболее сильно.
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями.	Применяется в компромиссном случае.
Обратные величины приведенных чисел.	Если при сравнении одного критерия (альтернативы) с другим получено одно из указанных чисел, то при сравнении второго критерия (альтернативы) с первым, получим обратную величину.	

Заметим, так как малые изменения в элементах a_{ij} несогласованной матрицы A вызывают малое изменение λ_{\max} , отклонение последнего от n (наибольшего собственного значения в случае согласованной матрицы) является мерой согласованности. Оно позволяет оценить близость полученной шкалы к основной шкале отношений. В качестве индекса согласованности (ИС) принимается

$$(\lambda_{\max} - n)/(n - 1). \quad (4.2.6)$$

Индекс согласованности сгенерированной случайным образом по шкале от 1 до 9 обратносимметричной матрицы с соответствующими обратными величинами элементов, назовем случайным индексом (СИ). Параметр СИ зависит от размера n матрицы парных сравнений и определяется из табл. 4.2.3.

Таблица 4.2.3.

Случайный индекс в зависимости от размера матрицы парных сравнений.

Размер матрицы n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средний СИ	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54

Отношение ИС к среднему СИ для матрицы того же порядка называется отношением согласованности (ОС).

Матрица парных сравнений считается приемлемо согласованной, если выполняется условие:

$$ОС \leq 0,1. \quad (4.2.7)$$

Проведение парных сравнений и составление на их основе матрицы парных сравнений начинается с сопоставления относительной важности критериев на втором уровне иерархии по отношению к общей цели, составляющей первый уровень иерархии. Далее строится группа матриц парных сравнений для сопоставления относительной важности критериев второго уровня. Подобные группы матрицы должны быть построены для парного сравнения каждого критерия следующего уровня иерархии (если он существует) по отношению к критериям на текущем уровне иерархии. На последнем уровне

иерархии строятся матрицы парных сравнений для сопоставления относительной важности альтернатив к каждому из критериев предпоследнего уровня иерархии.

Элементы матриц парных сравнений определяются на основании экспертных оценок в соответствии со шкалой, представленной в таблице 4.2.2.

Целью построения каждой матрицы парных сравнений A является получение вектора приоритетов X , компоненты которого X_1, X_2, \dots, X_n выражают относительное влияние множества элементов задачи на элемент (критерий) примыкающего сверху уровня. Для определения вектора приоритетов необходимо вычислить собственные вектора матрицы, а затем нормировать результат к единице. Полученный таким образом вектор приоритетов называется локальным вектором приоритетов. Он должен быть найден для каждой матрицы парных сравнений.

После построения матриц парных сравнений и определения локальных приоритетов осуществляется синтез приоритетов. Это дает составной (обобщенный) или глобальный приоритет того элемента, который затем используется для взвешивания локальных приоритетов элементов, сравниваемых по отношению к нему как к критерию и расположенных уровнем ниже. Процедура продолжается до самого нижнего уровня.

4.3. Этапы проведения экспертизы технологических предложений.

Проведение экспертизы включает несколько этапов: отбор и формирование экспертной группы; проведение опроса; обработку и анализ результатов опроса.

Широта решаемой проблемы определяет необходимость привлечения к экспертизе специалистов различного профиля. Следовательно, минимальное число экспертов определяется количеством различных аспектов, направлений, которые необходимо учесть при решении проблемы.

Достоверность результатов экспертизы зависит от уровня знаний (компетенции) отдельных экспертов и количества членов группы. Если предположить, что эксперты являются достаточно точными измерителями, то с уве-

личением числа экспертов достоверность экспертизы всей группы возрастает. Характеристики группы экспертов, определяющие в конечном итоге качество экспертизы, находятся на основе индивидуальных оценок экспертов, наиважнейшей из которых является *компетентность*. Компетентность может быть определена на основе анализа деятельности специалиста в соответствующей области знания, уровня и широты знакомства с достижениями мировой науки и техники, понимания проблем и перспектив развития.

Для количественной оценки степени компетентности используют коэффициент компетентности. Оценка коэффициента компетентности может производиться до проведения экспертизы на основе самооценки или взаимной оценки со стороны других экспертов, и после экспертизы на основе обработки ее результатов.

Существует несколько подходов к определению коэффициента компетентности эксперта. Наиболее простым является метод оценки относительных коэффициентов компетентности по результатам высказывания специалистов о составе экспертной группы. Сущность метода заключается в следующем. Ряду специалистов предлагается высказать суждение о включении лиц в экспертную группу для решения определенной проблемы. По результатам проведенного опроса составляется матрица Z , элементами которой является переменная z :

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й эксперт назвал } i\text{-го эксперта;} \\ 0, & \text{если } j\text{-й эксперт не назвал } i\text{-го эксперта.} \end{cases} \quad (4.3.1)$$

По данным матрицы вычисляются коэффициенты компетенции как относительные веса экспертов по формуле:

$$\mu_i = \frac{\sum_{j=1}^n z_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4.3.2)$$

где μ_i – коэффициент компетентности i -го эксперта; n – количество экспертов (размерность матрицы Z).

Коэффициенты компетентности нормированы так, что их сумма равна единице.

Другим возможным подходом к оценке компетентности эксперта является анализ оценок каждого эксперта, высказанных в процессе экспертизы. Суть такого подхода состоит в сравнении индивидуальных оценок экспертов с групповыми оценками. Коэффициент компетенции тем выше, чем ближе оценки конкретного эксперта к групповым оценкам.

Другими важными характеристиками эксперта являются:

- креативность – способность решать творческие задачи;
- конформизм – подверженность влиянию авторитетов. Желательно привлекать к экспертизе специалистов, умеющих отстаивать свое мнение и способных не примыкать к чьему-либо мнению без внутренней уверенности в его правильности;
- отношение к экспертизе. Негативное или пассивное отношение специалиста к решению проблемы, большая занятость отрицательно сказываются на выполнении экспертами своих функций;
- конструктивность мышления. Эксперт должен давать решения, обладающие свойством практичности;
- самокритичность.

Перечисленные характеристики эксперта достаточно полно описывают качества, которые влияют на результаты экспертизы. Однако их анализ требует очень кропотливой и трудоемкой работы по сбору информации, а также ее изучению. Кроме того, как правило, часть характеристик эксперта оценивается положительно, а часть – отрицательно. Возникает проблема согласования характеристик и выбора экспертов с учетом противоречивости их качеств. В качестве обобщенной характеристики эксперта принимают достоверность оценок эксперта, которая определяет его как «измерительный прибор». Достоверность оценок эксперта количественно оценивают по формуле:

$$\mu_i = \frac{N_i}{N} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4.3.3)$$

где

N_i – число случаев, когда i -й эксперт дал решение, приемлемость которого подтвердилась практикой;

N – общее число случаев участия i -го эксперта в решении проблемы;

n – число экспертов в группе.

Следующий этап экспертизы – опрос экспертов – центральный этап экспертизы.

Опрос экспертов представляет собой заслушивание и фиксацию в содержательной или количественной форме суждений экспертов по решаемой проблеме. Основными формами опроса являются: анкетирование, интервьюирование, метод Дельфы, мозговой штурм, дискуссия [62].

Анкетирование представляет собой опрос экспертов в письменной форме с помощью анкет. В анкете содержатся: объективные данные об эксперте (возраст, образование, должность, специальность, стаж работы, научные интересы и т.п.); основные вопросы по сути анализируемой проблемы; дополнительные вопросы, позволяющие выяснить источники информации, аргументацию ответов, самооценку компетентности эксперта и т.п.

Основные вопросы классифицируются на открытые, закрытые и с веером ответов. Открытые вопросы предполагают ответ в произвольной форме. Их целесообразно применять в случае большой неопределенности проблемы. Этот тип вопросов позволяет широко охватить рассматриваемую проблему, выявить спектр мнений. Недостатком открытых вопросов является возможное большое разнообразие и произвольная форма ответов, что существенно затрудняет обработку анкет.

Закрытые вопросы предполагают ответ в виде «да», «нет», «не знаю». Они применяются в случае оценки двух альтернативных проектных решений с целью выбора лучшего. Обработка закрытых вопросов не вызывает каких-либо затруднений.

Вопросы с веером ответов целесообразно использовать при оценке нескольких достаточно четко определенных альтернативных решений. Вопросы с веером ответов предполагают выбор экспертами одного из совокупности предлагаемых ответов. Ответы, могут быть представлены в виде оценок в порядковой или балльной шкале.

Интервьюирование – это устный опрос, проводимый в форме беседы-интервью. Интервьюер – специалист-аналитик, проводящий опрос, должен хорошо знать анализируемую проблему, уметь четко формулировать вопросы, создавать непринужденную обстановку и уметь слушать. Характерной особенностью вопросов в интервью является возможность быстрого ответа на них экспертом, поскольку время на обдумывание вопросов ограничено.

Достоинством интервью является живой непрерывный контакт опрашиваемого с экспертом, что позволяет быстро получить необходимую информацию путем прямых и уточняющих вопросов в зависимости от ответов эксперта. Недостатками интервью является возможность сильного влияния интервьюера на ответы эксперта, отсутствие времени для глубокого осмысления ответов и большие затраты времени на опрос всего состава экспертов.

Метод Дельфы представляет собой многотуровую процедуру анкетирования с обработкой и сообщением результатов каждого тура независимым экспертам. Название метода происходит от Дельфийского оракула. Суть метода Дельфы состоит в следующем.

В первом туре опроса экспертам предлагаются вопросы, на которые они дают ответ без аргументирования. Полученные от экспертов данные обрабатываются с целью выделения групповых (средних) и крайних оценок. Экспертам сообщаются результаты обработки первого тура опроса с указанием расположения оценок каждого эксперта.

Во втором туре экспертам, оценки которых сильно отличаются от оценок большинства, предлагается аргументировать свое мнение или изменить оценку. Результаты опроса обрабатываются и сообщаются экспертам.

Проведение последующих туров осуществляется по аналогичной процедуре: аргументация или корректировка оценок экспертами, чьи суждения значительно расходятся с мнением большинства; обработка и анализ результатов опроса очередного тура; доведение результатов опроса до каждого эксперта с просьбой аргументировать или изменить оценку в случае сильного отклонения личных оценок эксперта от групповых оценок. Практика показывает, что после трех-четырех туров оценки экспертов стабилизируются, что и служит критерием прекращения дальнейшего опроса.

Интерактивная процедура опроса с сообщением результатов обработки после каждого тура обеспечивает лучшее согласование мнений экспертов, поскольку эксперты, давшие сильно отклоняющиеся оценки, вынуждены критически осмыслить свои суждения и обстоятельно их аргументировать. Однако это не означает, что целью экспертизы является получение полной согласованности мнений экспертов. Конечным результатом может оказаться выявление двух или более групп мнений. Получение такого результата является также полезным, поскольку позволяет выяснить наличие различных точек зрения и поставить задачу на проведение дальнейших исследований в данной области.

Мозговой штурм представляет собой групповое обсуждение с целью получения новых идей, вариантов решений проблемы. Мозговой штурм часто называют также мозговой атакой, методом генерации идей. Характерной особенностью этого вида экспертизы является активный творческий поиск принципиально новых решений в трудных тупиковых ситуациях, когда известные пути и способы решения оказываются непригодными. Для поддержания активности и творческой фантазии экспертов категорически запрещается критика их высказываний.

Для проведения сеанса назначается ведущий, основной задачей которого является управление ходом обсуждения для решения поставленной проблемы. Ведущий начинает с объяснения содержания и актуальности проблемы, правил ее обсуждения и предлагает для рассмотрения одну-две идеи.

Далее поочередно выступают эксперты с короткими выступлениями, длительностью две-три минуты. В своих выступлениях эксперты должны стремиться выдвинуть как можно больше новых идей или развивать ранее высказанные идеи, дополняя и углубляя их. Важным требованием к выступлениям является конструктивный характер идей и предложений. Они должны быть направлены на решение проблемы. Ведущий и все члены группы должны своими действиями и высказываниями способствовать созданию всеобщей синхронно работающей коллективной мысли, возбуждению мыслительных процессов, что существенно влияет на результативность обсуждения.

Выступления экспертов фиксируются и после окончания сеанса подвергаются анализу, который заключается в группировании и классификации высказанных идей и решений по различным признакам, оценке степени полезности и возможности реализации. Эксперименты показывают, что если в процессе сеанса была создана хорошая творческая атмосфера с активным участием в работе всех экспертов, то после окончания обсуждения в мозге человека продолжается процесс генерации и анализа своих и других предложений, который протекает не только осознанно, но и подсознательно. В результате сопоставления высказываний, проведения аналогий и обобщения часто, примерно через сутки, эксперты формулируют наиболее ценные идеи и предложения. Эта информация также собирается и анализируется организаторами сеанса мозгового штурма.

Дискуссия представляет собой открытое коллективное всестороннее обсуждение проблемы, путей ее решения, анализа различных факторов, положительных и отрицательных последствий и т.п. Проведение этого вида экспертизы осуществляется примерно по той же схеме, что и проведение мозгового штурма. Различия состоят в том, что дискуссия длится, как правило, несколько часов и в ходе дискуссии разрешается критика высказываний экспертов.

Рассмотренные виды опроса дополняют друг друга и в определенной степени являются взаимозаменяемыми. Для генерации новых объектов (идей,

событий, проблем, решений) целесообразно применять мозговой штурм, дискуссии, анкетирование. Всесторонний критический анализ имеющегося перечня объектов эффективно может быть проведен форме дискуссии. Для количественной и качественной оценки свойств и характеристик объектов применяются анкетирование и метод Дельфы. Интервьюирование целесообразно использовать для уточнения результатов, полученных другими видами экспертизы.

После проведения опроса группы экспертов осуществляется обработка результатов и их анализ. Исходной информацией для обработки результатов являются числовые данные, выражающие предпочтения экспертов и содержательное обоснование этих предпочтений. Целью обработки является получение обобщенных данных и новой информации, содержащейся в скрытой форме в экспертных оценках. На основе результатов обработки формируется решение проблемы.

В зависимости от целей экспертного оценивания обработка и анализ результатов опроса включает:

- построение обобщенной (групповой) оценки объектов;
- определение согласованности мнений экспертов;
- оценка надежности результатов экспертизы.

Задача построения обобщенной оценки объектов по индивидуальным оценкам экспертов возникает при групповом экспертном оценивании. Если эксперты производили оценку объектов в количественной шкале, то задача построения групповой оценки заключается в определении среднего значения или медианы оценки. При измерении в порядковой шкале методом ранжирования или парного сравнения целью обработки индивидуальных оценок экспертов является построение обобщенной упорядоченной последовательности объектов на основе осреднения оценок экспертов.

Пусть n экспертов произвели оценку m объектов по l показателям. Результаты оценивания представлены в виде величин x_{ij}^k (i – номер объекта, j – номер эксперта; k – номер показателя сравнения). Если оценка объектов про-

изведена методом ранжирования, то величины x_{ij}^k представляют собой ранги. Когда оценивание объектов выполнено методами непосредственной оценки, последовательного сравнения или анализа иерархий, то величины x_{ij}^k представляют собой числа или баллы. Обработка результатов экспертного оценивания существенно зависит от методов измерения.

Рассмотрим вначале случай, когда эксперты производят измерение объектов методами непосредственной оценки (нормирования) или последовательного сравнения. Групповая оценка объектов в этом случае представляет собой среднее значение индивидуальных оценок экспертов:

$$x_i = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n q_k \mu_j x_{ij}^k, \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (4.3.4)$$

где

q_k – коэффициенты весов показателей сравнения объектов;

μ_j – коэффициенты компетентности экспертов.

Коэффициенты весов показателей так же как коэффициенты компетентности экспертов являются нормированными величинами $\sum_{k=1}^l q_k = 1$. Ко-

эффициенты весов показателей могут быть определены экспертным путем.

Если q_{kj} – коэффициент веса k -го показателя, присваиваемым j -м экспертом, то средний коэффициент веса k -го показателя по всем экспертам

$$q_k = \sum_{j=1}^n q_{kj} \mu_j, \quad (k = 1, 2, \dots, l). \quad (4.3.5)$$

Рассмотрим теперь случай, когда эксперты производят измерение объектов в порядковой шкале методом ранжирования, так что x_{ij}^k есть ранги r_{ij}^k . Задачей обработки экспертных оценок является построение обобщенной ранжировки по индивидуальным ранжировкам экспертов. Рассмотрим случай, когда оценивание объектов производится по одному признаку (показателю), поэтому индекс k у величин x_{ij}^k (r_{ij}^k) опустим. Каждую ранжировку мож-

но представить в виде матрицы парных сравнений с элементами, определяемыми по правилу:

$$y_{is}^j = \begin{cases} 1 & \text{при } x_{ij} \leq x_{sj}; \\ 0 & \text{при } x_{ij} > x_{sj}, \end{cases} \quad (4.3.6)$$

где

x_{ij} и x_{sj} – ранги, присваиваемые j -экспертом i -му и s -му объектам.

Если оценивание объектов проводят n экспертов и каждый дает свою ранжировку, получаем n матриц парных сравнений.

Введем расстояние (метрику) между матрицами парных сравнений, которое вычисляется по формуле

$$d_{jr} = \sum_{i,s=1}^m |y_{is}^j - y_{is}^r| \quad (j, r = 1, 2, \dots, n). \quad (4.3.7)$$

Используя эту метрику, определим обобщенную ранжировку как такую матрицу парных сравнений, которая наилучшим образом согласуется с матрицами парных сравнений, получаемыми из индивидуальных ранжировок экспертов. Понятие наилучшего согласования на практике чаще всего определяют как медиану.

Медиана есть такая матрица парных сравнений Y^* , сумма расстояний от которой до всех матриц парных сравнений экспертов, является минимальной:

$$[y_{is}^*] \leftarrow \min_{y_{is}} \sum_{j,r=1}^n \sum_{i,s=1}^m |y_{is}^j - y_{is}^r|. \quad (4.3.8)$$

Можно показать [62], что построение матрицы парных сравнений, соответствующей медиане, осуществляется по принципу простого большинства голосов экспертов для каждого элемента матрицы, т.е.

$$y_{is}^* = \begin{cases} 1 & \text{при } a_{is} \geq \frac{n}{2}; \\ 0 & \text{при } a_{is} < \frac{n}{2}. \end{cases} \quad (4.3.9)$$

где

$$a_{is} = \sum_{j=1}^n y_{is}^j. \quad (4.3.10)$$

Величины a_{is} в соответствии с (4.3.10) представляют собой количество голосов, поданных экспертами за предпочтение i -го объекта s -му объекту; n – число экспертов. Другими словами, is -му элементу обобщенной матрицы парных сравнений присваивается единица, т.е. принимается, что i -ый объект предпочтителен или эквивалентен s -му объекту, если не меньше половины экспертов высказались за это предпочтение, нуль – в противном случае.

В рассмотренном алгоритме построения обобщенной матрицы парных сравнений можно учесть компетентность экспертов путем введения коэффициентов компетентности μ_j в соотношение (4.3.8)

$$[y_{is}^*] \leftarrow \min_{y_{is}} \sum_{j,r=1}^n \sum_{i,s=1}^m \mu_j |y_{is}^j - y_{is}^r|. \quad (4.3.11)$$

Элементы обобщенной матрицы парных сравнений Y^* будут находиться последующему правилу:

$$y_{is}^* = \begin{cases} 1 & \text{при } b_{is} \geq \frac{1}{2}; \\ 0 & \text{при } b_{is} < \frac{1}{2}, \end{cases} \quad (4.3.12)$$

где

$$b_{is} = \sum_{j=1}^n \mu_j y_{is}^j \quad (i, s = 1, 2, \dots, m). \quad (4.3.13)$$

Величина порога в соотношении (4.3.12) стала равной $1/2$ вследствие того, что b_{is} можно рассматривать как вероятность того, что i -й объект предпочтается s -му объекту.

Правило (4.3.12) определяет групповую оценку по методу парных сравнений. Для получения обобщенной ранжировки по матрице парных сравнений применяется последовательное выделение недоминируемых объектов. Для этого производится операция транзитивного замыкания обобщенной

матрицы парных сравнений и ранжирование объектов по этой матрице на основе подсчета количества единиц в каждом столбце матрицы. Объект, имеющий в своем столбце наименьшее количество единиц, получает первый ранг; второй ранг получает объект, у которого в своем столбце больше единиц, чем у первого объекта, но меньше, чем у всех остальных и т.д.

Операция транзитивного замыкания заключается в последовательном умножении обобщенной матрицы парных сравнений саму на себя до тех пор, пока полученное произведение не будет отличаться от предыдущего шага умножения.

При оценке объектов эксперты обычно расходятся во мнениях по решаемой проблеме. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки степени согласия экспертов. Получение количественной меры согласованности позволяет более обоснованно интерпретировать причины расхождения мнений.

Оценка согласованности суждений экспертов основывается на использовании понятия компактности, наглядное представление о котором дает геометрическая интерпретация результатов экспертизы. Оценка каждого эксперта представляется как точка в некотором пространстве, в котором имеется понятие расстояния. Если точки, характеризующие оценки всех экспертов, расположены на небольшом расстоянии друг от друга (т.е. образуют компактную группу), то, очевидно, можно это интерпретировать как хорошую согласованность мнений экспертов. Если же точки в пространстве разбросаны на значительные расстояния, то согласованность мнений экспертов невысокая. Возможно, что точки – оценки экспертов – расположены в пространстве так, что образуют две или несколько компактных групп. Это означает, что в экспертной группе сложились две или несколько существенно отличающихся точек зрения на оценку объектов.

При использовании количественных шкал измерения (методы непосредственной оценки и последовательного сравнения) в случае оценки всего одного параметра объекта все мнения экспертов представляются как точки на

числовой оси. Центр группировки точек можно определить как математическое ожидание (среднее значение) или как медиану случайной величины, а разброс количественно оценивать дисперсией случайной величины (дисперсией экспертных оценок):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \left(x_j - \bar{x} \right)^2, \quad (4.3.14)$$

где

x_j – оценка определенного параметра (признака) объекта j -экспертом;

\bar{x} – среднее значение оценки;

n – число экспертов.

Мерой согласованности оценок экспертов, т.е. компактности расположения точек на числовой оси, может служить

$$\beta = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (4.3.15)$$

называемая вариацией.

Если объект оценивается несколькими числовыми параметрами, то мнение каждого эксперта представляется как точка в пространстве параметров. Центр группировки точек опять определяется как математическое ожидание вектора параметров, а разброс точек – дисперсией вектора параметров. Мерой согласованности суждений экспертов может служить в этом случае сумма расстояний оценок от среднего значения, отнесенная к расстоянию математического ожидания от начала координат.

При измерении объектов в порядковой шкале методами ранжирования или парного сравнения согласованность оценок экспертов также основывается на понятии компактности.

При экспертном оценивании объектов методом ранжирования в качестве меры согласованности мнений группы экспертов используется дисперсионный коэффициент конкордации (коэффициент согласия), который определяется [60] формулой для ранжировок без связанных рангов:

$$W = \frac{12A}{n^2 m(m^2 - 1)}, \quad (4.3.16)$$

или для ранжировок, в которых имеются связанные ранги:

$$W = \frac{12A}{n^2 m(m^2 - 1) - nB}, \quad (4.3.17)$$

В формулах (4.3.16), (4.3.17):

n – число экспертов;

m – число сравниваемых по некоторому признаку объектов;

$$A = \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^n r_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} \right]^2; \quad B = \sum_{j=1}^n S_j, \quad (4.3.18)$$

где

r_{ij} – ранг, присваиваемый j -м экспертом i -му объекту.

Величина S_j определяется для ранжировок каждого эксперта по числу данных им одинаковых оценок (связанных рангов) при экспертном оценивании объектов

$$S_j = \sum_{q=1}^{H_j} (h_q^3 - h_q), \quad (4.3.19)$$

где

H_j – число групп связанных рангов в j -ой ранжировке;

h_q – число равных рангов в q -й группе связанных рангов при ранжировке j -м экспертом;

q – номер группы связанных рангов.

Коэффициент конкордации W лежит в пределах от 0 (когда ранжировки всех экспертов различны) до 1 (если все ранжировки одинаковы).

Групповые оценки объектов, получаемые в результате обработки данных экспертизы, представляют собой случайные величины. Индивидуальные экспертные оценки также носят на себе печать случайности: на суждения эксперта влияют не только такие стабильные факторы, как его знания и опыт, но и множество случайных факторов (настроение, самочувствие, обстановка

и т.п.). Поэтому одной из важных задач является определение достоверности экспертных оценок, т.е. оценка надежности проведенной экспертизы.

В качестве меры надежности экспертизы часто принимают величину β , называемую вариацией и вычисляемую по формуле (4.3.15). Надежность экспертизы тем выше, чем меньшую долю от величины групповой оценки составляет среднеквадратический разброс индивидуальных оценок экспертов. Иногда надежность проведенной экспертизы характеризуют коэффициентом конкордации W (формулы (4.3.16), (4.3.17)).

Выводы по главе 4.

1. Метод, основанный на парном сравнении объектов по отдельным признакам, позволяет проводить экспертное оценивание большого числа объектов по большому числу признаков. В отличие от других методов экспертных оценок для метода парного сравнения характерно то обстоятельство, что значительное увеличение размерности решаемой задачи не приводит к катастрофическому результату.
2. Вне зависимости от количества объектов и признаков сравнения, перед экспертом при парном сравнении всегда ставится ясная и конкретная задача. Если измерение производится в порядковой шкале, т.е. требуется дать лишь качественную оценку, то задача формулируется следующим образом: определить какой из двух объектов является более предпочтительным по выбранному показателю (признаку сравнения) или какой из двух показателей является более значимым, весомым. Когда измерение производится в шкале отношений, т.е. требуется дать количественную оценку, задача трактуется так: определить, во сколько раз один объект является предпочтительнее другого или во сколько раз один признак, сравнения, является более значимым (весомым), чем другой признак сравнения. Таким образом, с увеличением числа объектов и признаков сравнения растет лишь число матриц парных сравнений, построенных в соответствии с высказываниями экс-

пертов, что усложняет дальнейшую обработку результатов, а не сам процесс экспертного оценивания. В других же методах экспертных оценок (ранжирование, непосредственная оценка или последовательное сравнение) эксперту приходится сравнивать по выбранному показателю все объекты. Поэтому с ростом числа оцениваемых объектов процедура оценивания существенно усложняется. Как показывает опыт [62], при числе объектов, большем 15-20, эксперты испытывают значительные затруднения в экспертном оценивании объектов с помощью указанных методов.

3. Обладая указанным достоинством, метод парного сравнения имеет существенный недостаток – этот метод (без дополнительной обработки) не дает полного упорядочения объектов. Следовательно, при использовании метода парного сравнения невозможно построить предпочтительный ряд объектов, а значит, не представляется возможным определить: какой из множества объектов является лучшим по одному или нескольким признакам сравнения. Это, на наш взгляд, главная причина, по которой метод парного сравнения в классическом виде не получил широкого распространения в практике экспертизы проектов сложных технических систем.
4. Логическим развитием метода парного сравнения стал метод анализ иерархий, который является в настоящее время одним из самых мощных и эффективных методов экспертизы и принятия решений [46, 47]. Предложенный Томасом Саати метод анализа иерархий объединяет идею парного сравнения объектов с аналитическим подходом к формированию оценочного решения. Аналитический, опирающийся на алгебраическую теорию матриц, позволяет по результатам парных сравнений построить упорядоченный ряд объектов по одному или совокупности иерархически связанных показателей (признаков сравнения) и тем самым определить лучший объект. Сохраняя преимущество и устраняя недостаток, присущие методу парного сравне-

ния, метод анализ иерархий имеет, по нашему мнению, еще одно очень важное достоинство: этот метод ориентирован на анализ и оценку сложных иерархических структур, каковыми и являются сложные технические системы. Другими преимуществами метода анализа иерархий являются:

- ориентированность на решение задач (экспертизу) с использованием качественных, неформальных характеристик;
- универсальность метода по отношению к широкому классу задач;
- наличие механизмов контроля согласованности решений экспертов;
- простота проведения экспертизы любым количеством экспертов;
- легкая формализуемость метода, позволяющая строить на основе метода как самостоятельные, так и интегрированные в состав сложных программных систем подсистемы экспертных оценок.

5. Метод анализа иерархий является систематической процедурой для иерархического представления элементов, определяющих суть любой задачи. Метод состоит в декомпозиции задачи на все более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решение (эксперта), по парным сравнениям. В результате может быть выражена относительная степень (интенсивность) взаимодействия элементов в иерархии. Эти суждения затем выражаются численно.
6. Применение метода анализа иерархий к решению задачи экспертизы и оценки качества проектных предложений технической системы включает три основных этапа: 1) иерархическое представление задачи экспертизы, в которой нижний уровень иерархии представлен альтернативами (проектными предложениями технической системы), верхний уровень иерархии – целью (оценкой качества технической системы), промежуточные уровни иерархии занимают критерии – единичные и комплексные показатели качества, по которым производится сравнение проектных предложений технической системы; 2) проведение

парных сравнений для определения количественной оценки степени влияния элементов каждого уровня иерархии (альтернатив, критериев) на каждый элемент соседнего с ним верхнего уровня иерархии (критерий, цель); 3) получение приоритетов, характеризующих количественно степень влияния альтернатив (оцениваемых проектных предложений технической системы) через критерии (систему единичных и комплексных показателей качества технической системы) на цель – оценку качества системы.

ГЛАВА 5

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

5.1. Описание программного комплекса.

Программный комплекс состоит из двух частей. Первый программный комплекс предназначен для поэтапного формирования структур технологических процессов, построения возможных вариантов технологических процессов. Он реализован в среде Microsoft Access и Microsoft Excel в соответствии с комплексным методом проектирования и математическими моделями, приведенными в главе 2. На определенных этапах технологического проектирования предусмотрено использование программных продуктов, описание которых дано в главе 1 (см. также – рис. 2.3.1, табл. 3.1.1, рис. 3.4.3.).

Формирование вариантов технологических процессов осуществляется в диалоге. На рис. 5.1.1 – 5.1.2 показаны фрагменты процесса проектирования.

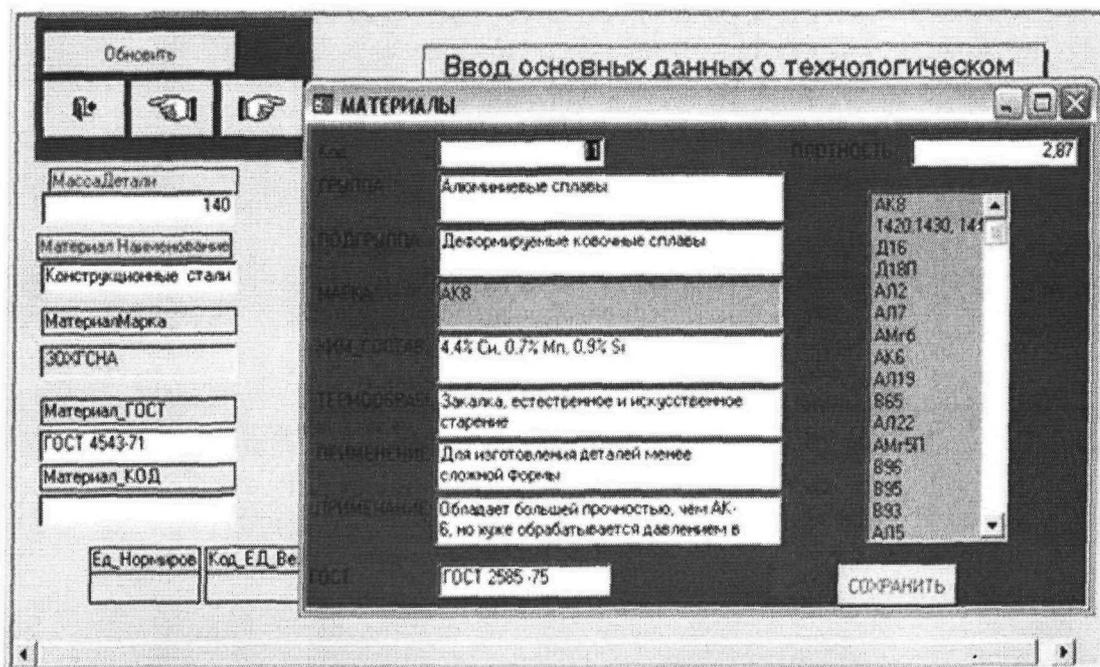


Рис. 5.1.1. Использование справочника материалов.



Рис. 5.1.2. Формирование последовательности операций.

Второй программный комплекс предназначен для проведения поэтапной экспертизы конкурентных проектных технологических предложений сложных технических систем (см. рис. 1.5.2.1). Оценка качества проектных предложений может производиться в сравнении с базовыми значениями аналога или технического задания на разработку системы. Обобщенные показатели качества могут включать в себя как показатели, имеющие количественное выражение, так и чисто качественные показатели (требования).

Благодаря использованию метода анализа иерархий в качестве метода экспертизы, программный комплекс обеспечивает:

- универсальность по отношению к широкому классу задач;
- решение задач экспертизы с использованием качественных неформальных характеристик;
- контроль согласованности решений экспертов;
- простоту проведения экспертизы любым количеством экспертов.

Программный комплекс реализует следующие расширения метода анализа иерархий:

- возможность задания n -уровневой иерархической схемы экспертизы, что позволяет также включить в качестве одного из уровней – ранжирование

самих экспертов (т.е. определения коэффициентов компетентности экспертов);

– замену любого вектора приоритетов числовыми значениями, что позволяет использовать в некоторых вариантах экспертизы сопоставимые по смыслу с вектором приоритетов количественные данные.

Программный комплекс решает следующие задачи:

1. ввод исходного множества альтернатив (в рассматриваемой задаче это проектные предложения анализируемой технической системы);
2. задание и визуализация *n*-уровневой иерархической схемы экспертизы;
3. ввод критериев – элементов иерархической схемы экспертизы в качестве узлов дерева экспертизы;
4. задание относительной важности критериев с использованием шкалы относительной важности или абсолютных числовых величин;
5. заполнение матриц парных сравнений;
6. расчет вектора приоритетов для каждого уровня иерархической схемы;
7. ввод числовых значений для вектора приоритетов;
8. расчет коэффициента согласованности матрицы парных сравнений каждого уровня иерархической схемы экспертизы;
9. расчет глобального вектора приоритетов;
10. расчет глобального коэффициента согласованности;
11. создание файлов исходных данных и файлов результатов;
12. построение диаграмм векторов приоритетов для любого уровня иерархической схемы экспертизы.

Реализация программного комплекса основана на объектно-ориентированном подходе к проектированию программных систем. В основе объектно-ориентированного проектирования лежит представление о том, что сложную систему необходимо проектировать как совокупность взаимодейст-

вующих друг с другом объектов, рассматривая каждый объект как экземпляр определенного класса, причем классы образуют иерархию.

Программный комплекс реализован на языке программирования Object Pascal в среде разработки Delphi.

Рассмотрим последовательность работы пользователя в среде программного комплекса экспертизы проектных предложений технических систем на примере решения простой задачи оценки качества трех конкурентных проектных предложений самолета. Выбор простого примера экспертизы объясняется желанием описать все основные этапы работы пользователя и в то же время исключить многочисленные повторяющиеся операции, имеющие место при решении несомненно более сложных реальных задач экспертизы проектных предложений сложных технических систем.

Этап 1. Задание иерархической схемы экспертизы.

Этап 2. Заполнение матриц относительной важности (матриц парных сравнений).

Этап 3. Вычисление вектора глобальных приоритетов.

5.2. Пример формирования вариантов технологических процессов изготовления изделия «Рама» и их поэтапной многокритериальной оценки.

В соответствии с разработанной ранее методикой поэтапного проектирования вариантов технологических процессов и их поэтапного многокритериального оценивания рассмотрим пример.

В качестве примера рассмотрим методику поэтапного проектирования и оценивания вариантов технологических процессов для изделия «РАМА». На рис. 5.2.1 показана геометрическая модель рамы (шпангоут), выполненная с использованием САД системы SolidWorks 2007. Рама выполняется из материала сталь 30ХГСА. Конструктивно рама состоит из частей (деталей), которые в дальнейшем соединяются сваркой. Каждая часть (деталь) изготавливается из заготовки, имеющей специальные технологические приливы в которых выполняются отверстия, используемых для базирования заготовок при изго-

товлении детали. Технологические приливы перед сборкой сваркой удаляются. Каждая часть (деталь) имеет фрезерованные карманы. Внешний контур рамы – теоретический контур. Так как рама является ответственной частью конструкции ЛА, то к ней предъявляются высокие требования по прочности, ресурсу, точности, массе и пр. Наличие дефектов в материале должно быть минимальным.

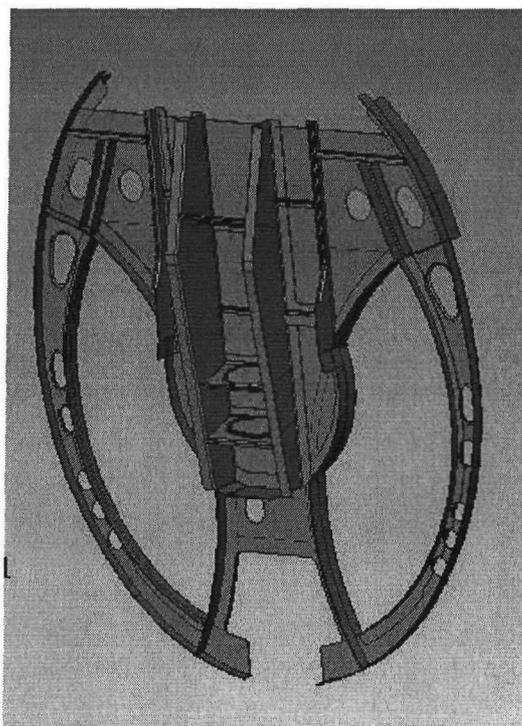


Рис. 5.2.1. Общий вид изделия «РАМА».

Типовая схема производства рамы, с учетом производственных условий и программы выпуска состоит из следующих этапов: 1. Получение специальной заготовки; 2. Механическая обработка частей рамы; 3. Сборка под сварку; 4. Сварка; 5. Контроль рамы; 6. Термическая (закалка и отпуск после сварки); 7. Механическая обработка; 8. Термическая (закалка); 9. Механическая обработка (окончательно); 10. Упрочнение поверхностей изделия; 11. Подготовка под покрытие; 12. Образование защитного покрытия.

Совокупность критериев, характеризующих эффективность функционирования отдельных технологических этапов и вариантов реализации всего объекта, определяется в ходе анализа требований, предъявляемых специали-

стами, участвующими в процессе формирования технологической структуры изготовления рамы.

В таблице 5.2.1 приведен сгенерированный экспертами перечень критериев для оценивания технологических этапов изготовления рамы. В правой части этой таблицы определены технологические этапы процесса производства рамы, в которых возможна оценка эффективности по тому или иному критерию.

Таблица 5.2.1.

Перечень критериев для оценивания технологических этапов изготовления рамы.

№ п/п	Критерий эффективности отдельных технологических этапов производства сложного изделия	Основные стадии (этапы) (подсистемы)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	К1 – себестоимость реализации этапа	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.	К2 – степень влияния на точность реализуемого технологического этапа	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
3.	К3 – энергопотребление на реализацию технологического этапа	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4.	К4 – степень влияния на долговечность ^(*) конструкции реализуемого технологического этапа	1			1	1					1		1
5.	К5 – степень влияния на выносливость ^(**) конструкции реализуемого технологического этапа	1			1	1					1		1
6.	К6 – степень влияния на ресурс ^(***)	1			1	1					1		1
7.	К7 – степень влияние на коррозионную стойкость ^(****)										1	1	1
8.	К8 – экологичность реализации технологического этапа	1		1			1	1	1			1	1

(*) Долговечность - свойство конструкции сохранять свои функциональные свойства (работоспособное состояние) на определенном интервале времени;

(**) Выносливость - способность конструкции сопротивляться действию повторных нагрузок до момента ее разрушения;

(***) Ресурс - время работы до капитального ремонта;
 (****) Коррозионная стойкость - способность того или иного коррозионного покрытия сохранять свои функциональные свойства за время эксплуатации изделия.

Для достоверного получения приведенного множества качественных критериев оценки эффективности различных альтернатив и в дальнейшем (на следующем этапе работы) оценок альтернативных вариантов по этим сформированным экспертами критериям нами обоснован количественный состав экспертной группы. Определение числа экспертов k в зависимости от меры надежности проводимой экспертизы (коэффициента вариации b), критерия Стьюдента и относительной величины доверительного интервала. В результате, для рассматриваемого случая, при формировании массива критериев и оценки значений альтернатив по приведенным критериям, количество экспертов было получено равным 10, что и было реализовано нами на практике силами ведущих специалистов. Также была проведена оценка согласованности экспертов, определяемая коэффициентом конкордации W . В результате показана удовлетворительная согласованность оценок экспертов.

Таблица 5.2.2.

*Технологические альтернативы
 по технологическим этапам изготовления рамы.*

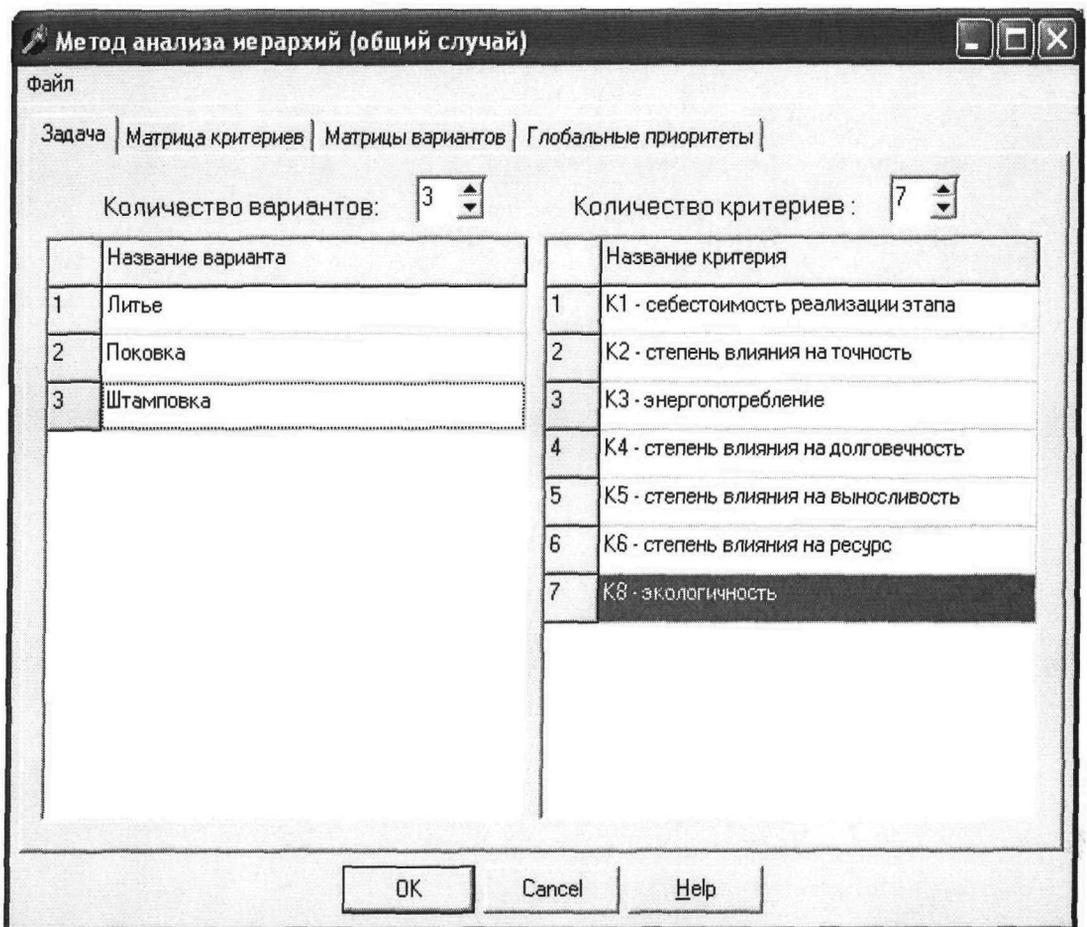
№ технологического этапа.	Морфологическая структура технологических этапов изготовления изделия «РАМА».			
	1.1. Литье	1.2. Поковка	1.3. Штамповка	
1. Получение специальной заготовки				
2. Механическая обработка частей рамы.	2.1. На универсальных токарных, сверлильных и фрезерных станках (по разметке).		2.2. На станках с ЧПУ (без разметки).	2.3. Комбинированное.
3. Сборка под сварку.	3.1. В приспособлении (с базированием по сборочным отверстиям).		3.2. В приспособлении (с базированием по внешней поверхности).	
4. Сварка.	4.1. Дуговая (автоматическая) сварка под флюсом.		4.2. Дуговая сварка в среде инертных газов.	4.3. Электрошлаковая сварка.
5. Контроль сварки.	5.1. Магнитный метод.		5.2. Акустический метод.	5.3. Радиационный метод.
6. Термическая (закалка и отпуск после	6.1. Электрическая камерная печь (с защитной атмосфе-		6.2. Шахтный агрегат.	6.3. Соленая ванна.

сварки).	рой).		
7. Механическая обработка.	7.1. На универсальных токарных, сверлильных и фрезерных станках (по разметке).	7.2. На станках с ЧПУ.	
8. Термическая (закалка).	8.1. Электрическая камерная печь (с защитной атмосферой).	8.2. Шахтный агрегат.	8.3. Соленая ванна.
9. Механическая обработка (окончательно).	9.1. На универсальных токарных, сверлильных, шлифовальных, фрезерных станках.	9.2. На станках с ЧПУ (без разметки).	
10. Упрочнение поверхностей.	10.1. Дробеструйная обработка.	10.2. Обкатка роликами.	
11. Подготовка под покрытие.	11.1. Пескоструйная обработка.	11.2. Обезжиривание.	
12. Образование защитного покрытия.	12.1. Гальваническое (оксидирование)	12.2. Лакокрасочное.	12.3. Комбинированное.

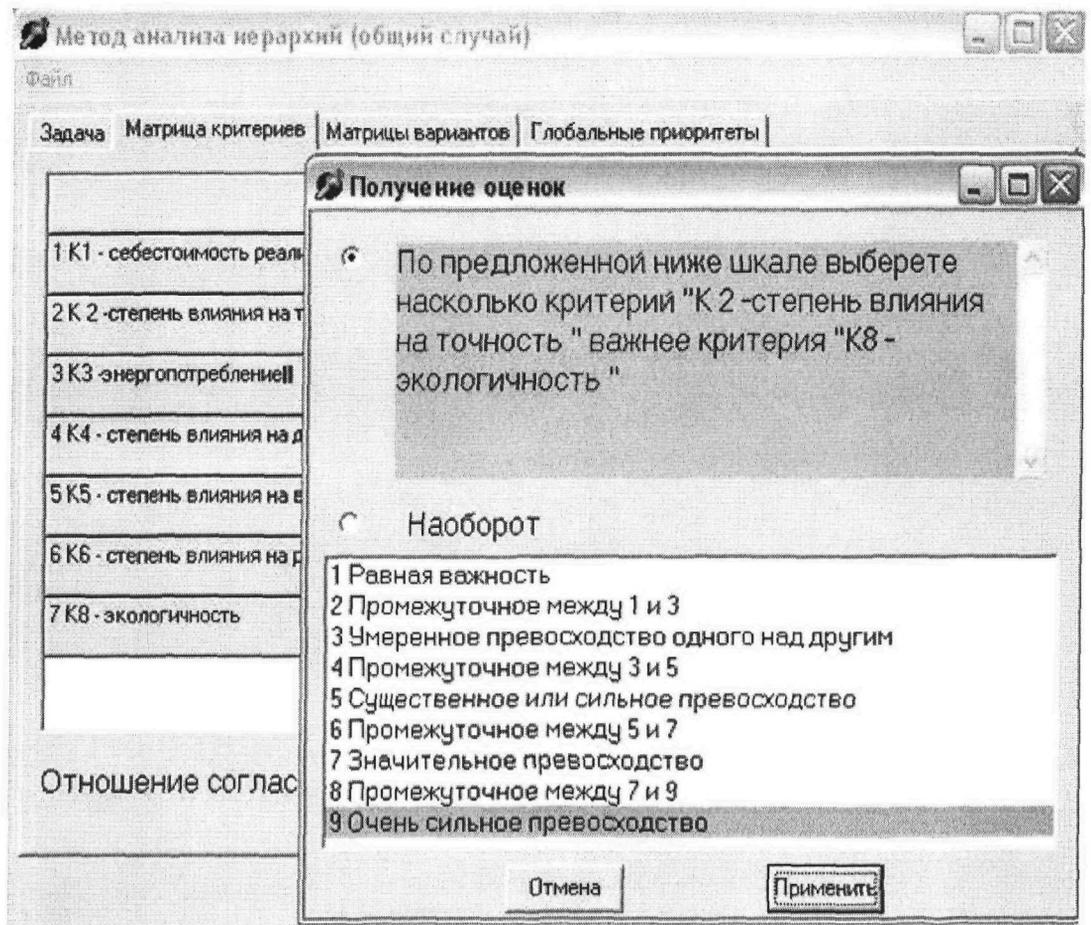
Используя первый программный комплекс формируем технологические альтернативы по технологическим этапам изготовления рамы и представляем их в виде морфологической таблицы 5.2.2.

Используя второй программный комплекс, морфологическую таблицу 5.2.2 и таблицу 5.2.1 (множества критериев) определяем приоритетный вариант технологического процесса.

Шаг 1. Для первого этапа технологического процесса определяем варианты и состав критериев.



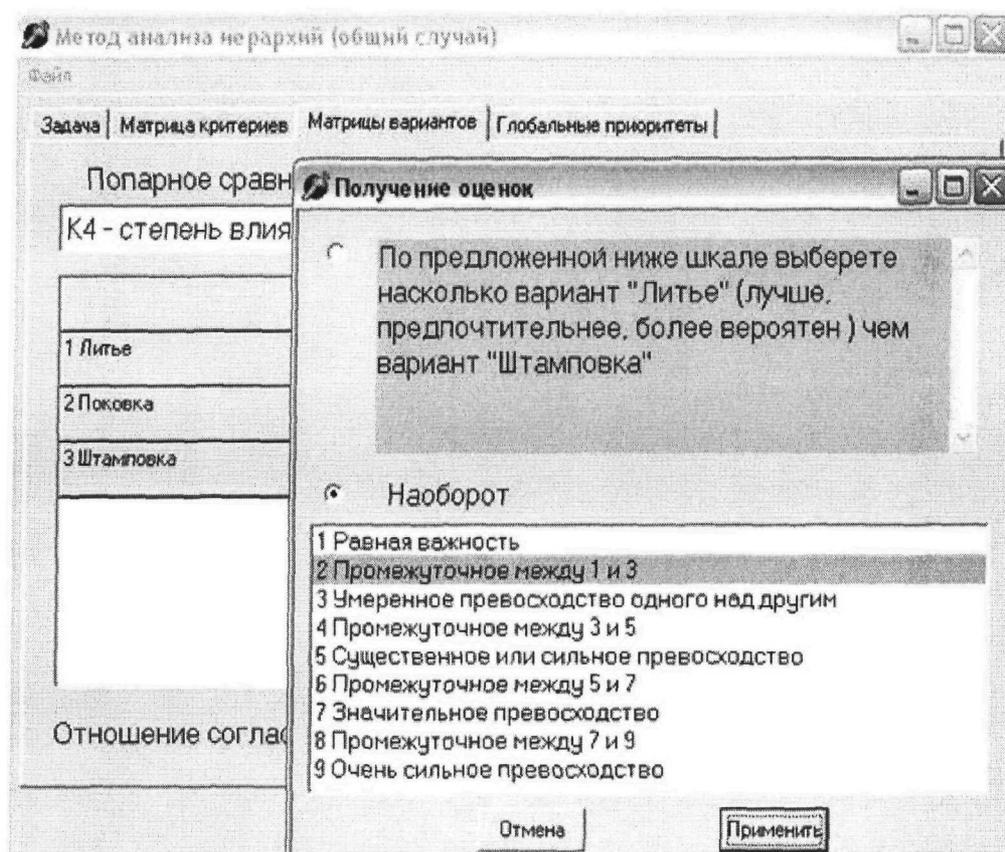
Шаг 2. Определяем приоритеты критериев.



Используем аксиоматическую оценку важности критериев, реализуемую в результате обобщения совокупности частных оценок ряда специалистов, выступающих в роли экспертов. Такое упорядочение критериев оптимальности по важности приводит к их лексикографическому отношению предпочтения, и приведенные ниже критерии расположены в порядке их значимости.

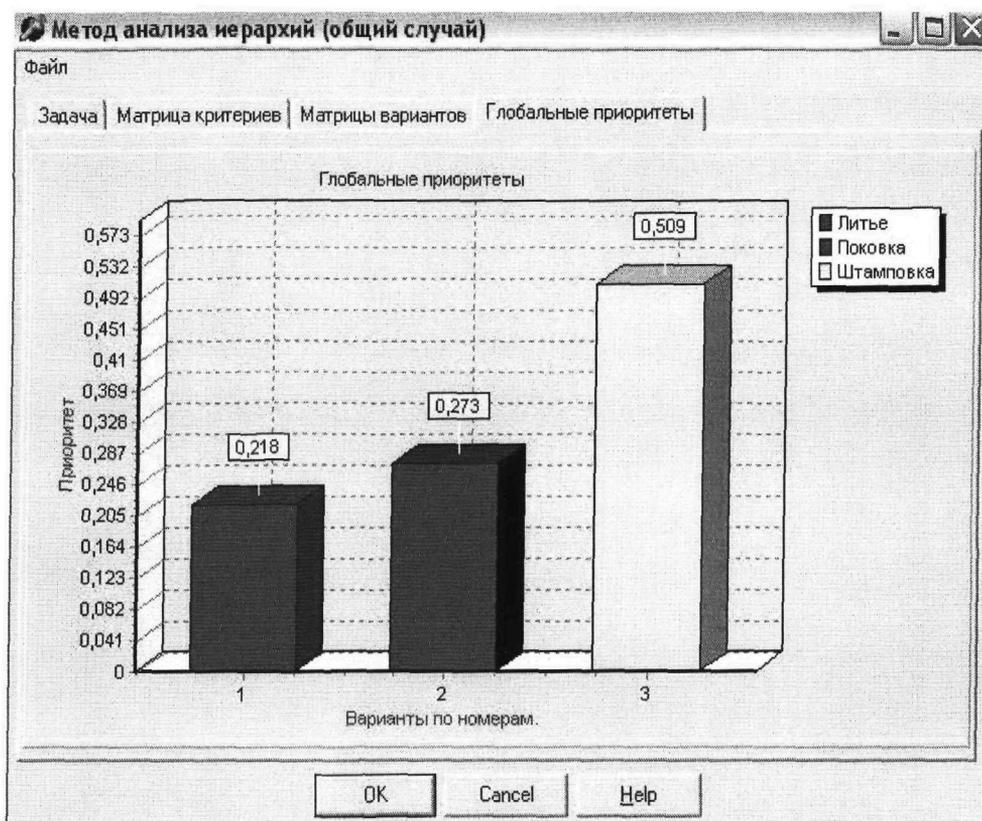
В данном примере используем следующее упорядочивание критериев: $K1=K3=K8$; $K2=K4=K5=K6$; $K2 \gg K1$.

Шаг 3. Определяем приоритеты вариантов по отношению к критериям.



Например, эксперты считают, что штамповка лучше литья и поковки с точки зрения обеспечения ресурса изделия.

Шаг 4. Определяем глобальные приоритеты вариантов по отношению к критериям.



Мы видим, что для 1 этапа - Получение специальной заготовки, назначенных критериев, и вариантов получения заготовки (литье, поковка, штамповка) предпочтение должно быть отдано штамповке.

Примечание. Альтернативный вариант – «литье» рассматривается применительно к стали 30ЛХГСА, обладающей аналогичными стали 30ХГСА по свойствами.

Аналогично осуществляем оценку вариантов для остальных этапов технологического процесса в соответствии с морфологической таблицей вариантов 5.2.2 и системой критериев (таблица 5.2.1).

На следующих этапах проектирования технологического процесса, например, при выборе метода неразрушающего контроля (НК) после сварки могут быть использованы другие критерии для оценки альтернативных вариантов. Более подробно этап выбора неразрушающего метода контроля рассматривается в параграфе 5.3.

5.3. Анализ методов неразрушающего контроля сварного соединения.

В соответствии с морфологической таблицей 5.2.2, для этапа 5 необходимо назначить метод (методы) неразрушающего контроля, обеспечивающе-

го уверенность качества изделия после сварки. Рассмотрим основные виды неразрушающего контроля, с помощью которых могут быть выявлены дефекты сварочных соединений.

Основными параметрами, которые влияют на качество сварного шва, являются: прочность, коррозионная стойкость, герметичность.

Эти свойства обуславливают эксплуатационную надежность изделия, то есть подтверждают его способность выполнять заданные функции, сохраняя свои основные характеристики в установленных пределах.

Помимо основных процессов, вызывающих образование сварных соединений, на их свойства оказывают влияние еще и сопутствующие явления, зависимость от которых приведена на [43, 45] схеме рис. 5.3.1.

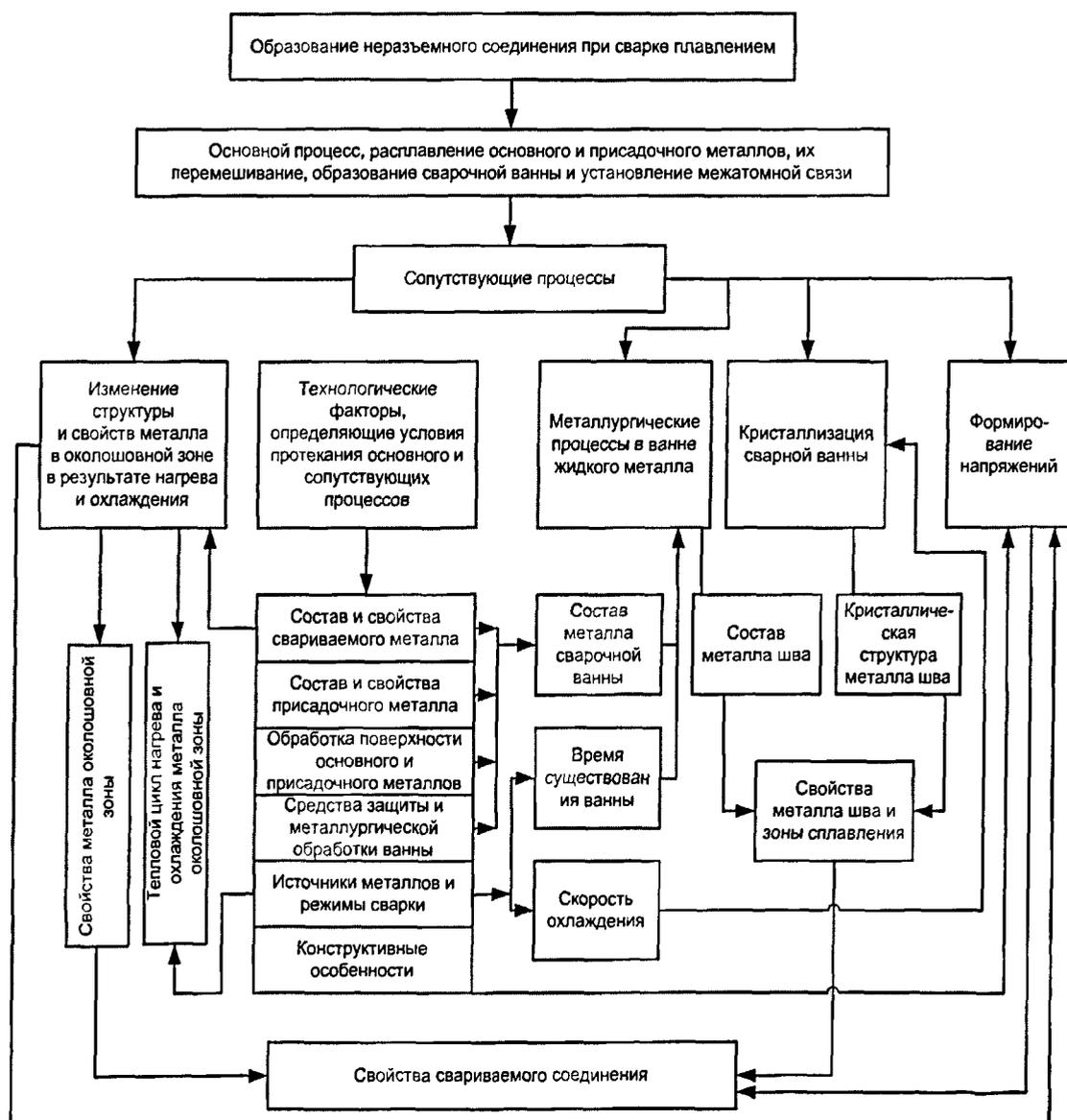


Рис. 5.3.1. Сопутствующие процессы, влияющие на качество сварного шва.

Возможные дефекты сварочных соединений [45].

1. Трещины. Причинами появления трещин являются:

- усадочные напряжения, превышающие предел прочности металла;
- жесткое закрепление свариваемых элементов;
- структурные напряжения (например, образование мартенсита);
- повышенное содержание углерода, серы и фосфора в металле;
- сварка при низкой температуре;
- сосредоточение нескольких швов на небольшом участке изделия, вызывающее повышенные местные напряжения (концентрация напряжений).

Склонность металлов к образованию трещин при сварке является одним из основных показателей их свариваемости. Она обуславливает технологическую прочность – способность материалов выдерживать без разрушения различного рода воздействия в процессе их технологической обработки. При сварке разрушения могут происходить в процессе кристаллизации (горячие трещины) и в процессе фазовых и структурных превращений в твердом состоянии (холодные и другие виды трещин). Сварка может сопровождаться образованием трещин различной протяженности в сварном шве или прилегающих к нему зоне. В качестве примера на рисунке ниже приведена фотография горячей трещины в шве из стали, выполненном аргонодуговой сваркой:

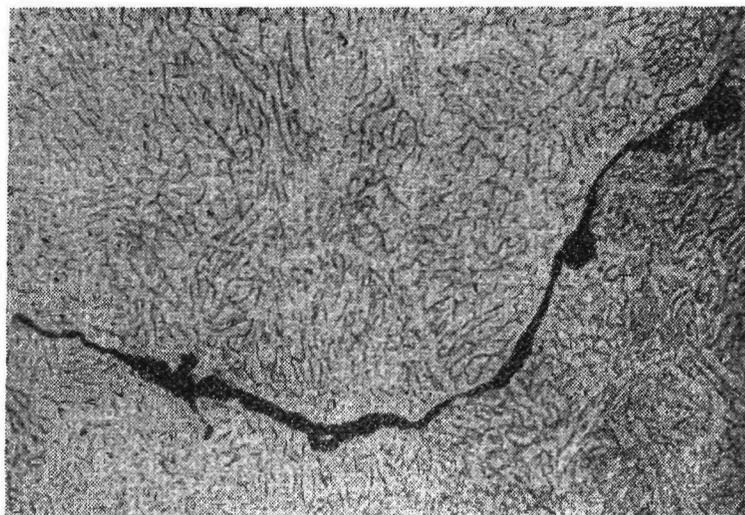


Рис. 5.3.2. Образование горячей трещины.

Холодные трещины при сварке в отличие от горячих возникают при более низкой или даже комнатной температуре. Процесс их образования носит, как правило, замедленный характер, хотя подобные трещины могут возникнуть практически сразу же после сварки. Наличие своеобразного инкубационного периода при возникновении холодных трещин делает их особо опасными. Эти трещины могут образовываться и развиваться уже после различного ряда контрольных операций, например рентгеновского просвечивания. Причины образования такого рода трещин заключается в действии ряда факторов: фазовых превращениях, связанных с изменением объема кристаллической решетки; насыщения водородом; скопления неметаллических включений в элементах полосчатой микроструктуры стали и т.п.

2. Пористость. Представляет собой газы пузырьки в металле.

В значительной мере свариваемость металла определяется его склонностью к образованию пористости, которая зависит от концентрации газа в сварочной ванне, растворимости его в твердом и жидком металлах при температурах кристаллизации, скорости кристаллизации металла, коэффициента диффузии газа в твердом и жидком металлах.

3. Непровар. Представляет собой частичное отсутствие сплавления свариваемых кромок со стороны корня шва, или частичное отсутствие сплавления наплавленного металла с основным. Возможен непровар по всей длине шва или местный, на отдельных его участках. Основными причинами непровара является:

- недостаточная мощность источника нагрева,
- большая скорость его перемещения,
- слишком длинная дуга или несоответственно большой диаметр электрода,
- неправильный выбор полярности,
- магнитное дутье (при дуговых методах сварки),
- отсутствие разделки кромок или малый угол их скоса,
- неправильно выбранная величина притупления кромок,

- смещения и перекосы свариваемых кромок,
- попадание в шов частиц окисной пленки.

4. Шлаковые включения. Это наличие в металле застрявших неметаллических веществ. Причинами возникновения шлаковых включений могут быть:

- тугоплавкость и повышенная вязкость шлаков электродных покрытий;
- высокая удельная плотность шлака;
- недостаточное раскисление металла шва;
- большое поверхностное натяжение шлака;
- плохая очистка поверхности валиков от шлака при многослойной сварке;
- затекание шлака в зазоры между свариваемыми кромками и в места подрезов;
- неравномерность плавления электродного покрытия.

5. Пережог. Представляет собой окисление по границам зерен. Причины пережога следующие:

- замедленное движение источников нагрева,
- слишком большая его мощность.

6. Прожог. Это сквозное проплавление металла, причинами которого являются:

- чрезмерная мощность источника нагрева;
- слишком медленное перемещение источника нагрева;
- малая толщина металла;
- большой зазор между свариваемыми кромками;
- малая величина притупления кромок.

7. Подрез. Представляет собой углубление основного металла в месте его перехода к поверхности шва. Причины подреза разнообразны, основными являются:

- завышенная мощность источника нагрева;

- неправильная технология сварки швов в сложных пространственных положениях;
- слишком большая скорость сварки.

Рассмотрим основные виды неразрушающего контроля, с помощью которого могут быть выявлены перечисленные выше дефекты сварочных соединений.

Номер технологического этапа	Морфологическая структура технологических этапов изготовления изделия «РАМА».		
5. Контроль сварочного шва.	5.1. Магнитный метод.	5.2. Акустический метод.	5.3. Радиационный метод.

Магнитный метод. Данный вид контроля служит для выявления дефектов типа выходящих на поверхность и залегающих близко к поверхности нарушений сплошности: волосовин, трещин (закалочных, усталостных, шлифовочных, сварочных, литейных и т.п.), расслоений, непроваров стыковых сварных соединений, флокенов, закатов, надрывов.

Основан на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом. Происходит притяжения частиц магнитного порошка в местах выхода на поверхность контролируемого изделия магнитного потока, связанного с наличием нарушения сплошности. Этот метод, как правило, применяют для контроля объектов из ферромагнитных материалов.

В намагниченных контролируемых изделиях нарушения сплошности (дефекты) вызывают перераспределение магнитного порошка, в результате чего место дефекта становится видимым за счет того, что в области дефекта происходит резкое пространственное изменение напряженности магнитного поля, возникает поле рассеяния. Изменение напряженности магнитного поля, точнее градиента напряженности, используют как первичный информативный параметр для выявления дефектов. Распределение магнитных силовых линий в случае намагничивания каким-либо образом сварных деталей изменяется в месте дефекта и может быть зафиксировано одним из следующих приведенных методов:

- магнито-порошковым,
- магнитографическим,
- магнитоферрозондовым,
- индукционным.

При магнитопорошковом методе на деталь наносится ферромагнитный порошок, предварительно смешанный с керосином, маслом. При наличии дефекта линии магнитного поля огибают его, часть из них, искривляясь, выходит на поверхность и образует магнитный полюс, над которым собирается порошок, выявляя таким образом дефект.

Более технологичен магнитографический метод, заключающийся в намагничивании предварительно размагниченной магнитной пленки, которая накладывается на контролируемый участок. На пленке фиксируется локальное нарушение магнитных силовых линий в месте дефекта, если такой имеется в шве. Записанная магнитограмма воспроизводится с помощью специального считывающего устройства на экране осциллографа.

Феррозондовый метод отличается повышенной чувствительностью, позволяет обнаружить дефекты на глубине до 8мм. Практически это предельная для магнитных методов контроля глубина обнаружения дефектов. Для феррозондовых методов может быть для крупных дефектов увеличен до 15мм. В основу рассматриваемого метода положено измерение с помощью феррозонда градиента или напряженности магнитного поля, которым преобразуется в электрический сигнал.

Индукционный метод заключается в регистрации неоднородности магнитного поля индукционной катушкой. При наличии дефектов распределение магнитного потока изменяется, что фиксируется катушкой и преобразуется затем в актовый или звуковой сигнал.

Изделия, подаваемые на магнитный контроль, должны быть очищены от покрытий, мешающих их смачиванию или намагничиванию (отслаивающая окалина, масла, грязь).

Магнитные методы контроля обладают хорошей чувствительностью, однако имеют ограничения по контролируемым толщинам (не более 15...16 мм для крупных дефектов) и не позволяют определить глубину залегания дефектов. Несмотря на перечисленные недостатки, эти надежные методы контроля применяются в авиационной промышленности довольно широко для выявления поверхностных и подповерхностных (на глубине 2...3 мм) дефектом типа трещин, непроваров, рыхлот и т. п. в сварных соединениях из ферромагнитных материалов.

Развитие магнитного вида контроля идет по пути изыскания способов отстройки от мешающих факторов, изучения особенностей магнитных полей сложной формы, содержащих дефекты; разработки новых высокочувствительных преобразователей; использования потенциальных возможностей магнитных эффектов, таких, как ядерный, электронный, магнитный резонансы, для целей контроля материалов и изделий.

Акустический метод. Это комплекс методов, основанных на использовании упругих колебаний ультразвукового и частично звукового диапазона частот (1 кГц – 10 МГц).

При этом методе контроля используется влияние неразрушения сплошности или однородности среды на условия или режим колебания контролируемого объекта. С его помощью выявляются многие внутренние дефекты: трещины, пустоты, поры, непровары, расслоения и так далее. Акустический метод основан на изменении характера распространения волн (звуковых и ультразвуковых) в сварных швах. Чаще всего здесь используют упругие волны ультразвукового диапазона (с частотой колебаний выше 20 кГц), этот метод называют ультразвуковым. Здесь, в отличие от магнитного вида контроля, применяют и регистрируют не электромагнитные, а упругие волны, параметры которых тесно связаны с такими свойствами материалов, как упругость, плотность, анизотропия (неравномерность свойств по различным направлениям) и др. Акустические свойства твердых материалов и воздуха

настолько сильно отличаются, что акустические волны отражаются от тончайших зазоров (трещин, непроваров) шириной $10^{-6} - 10^{-4}$ мм.

По характеру взаимодействия с объектом различают пассивный и активный методы. Пассивный акустический метод предусматривает регистрацию упругих волн, возникающих в самом объекте. Перестройка структуры материала, вызываемая движением групп дислокаций, возникновением и развитием трещин, аллотропическими превращениями в кристаллической решетке, сопровождается появлением упругих волн ультразвукового диапазона. Используя такие информативные параметры, как количество сигналов в единицу времени, их частота, амплитудное распределение, локация места возникновения упругих волн, судят о состоянии материала, происходящих в нем изменениях, прогнозируют работоспособность конструкции.

Активные ультразвуковые методы разнообразнее по схемам применения и получили гораздо более широкое распространение. Для контроля используют стоячие волны (вынужденные или свободные колебания объекта контроля или его части), бегущие волны по схемам прохождения и отражения. Методы колебаний используют для измерения толщин при одностороннем доступе и контроля свойств материалов (модуля упругости, коэффициента затухания). Информативным параметром служат частоты свободных или вынужденных колебаний и их амплитуды.

Акустический вид неразрушающего контроля позволяет:

- обнаруживать дефекты, находящиеся как на поверхности, так и не выходящие на поверхность;
- определять координаты и размеры дефектов.

Сварные соединения подготавливают к ультразвуковому контролю при отсутствии в шве наружных дефектов. Форма и размеры околошовной зоны должны позволять перемещать ультразвуковой преобразователь в пределах, обеспечивающих прозвучивание сечения шва, подлежащего контролю.

Раднационный (рентгеновский) метод. Этот метод относится к самым распространенным в самолетостроении.

Выявление дефектов основано на различном поглощении лучей при их распространении на одинаковое расстояние в различных средах. Поглощение возрастает с увеличением плотности среды и возрастании атомного номера элемента. Регистрируя специальными индикаторами распределения интенсивности лучей на выходной поверхности просвечиваемого изделия, можно определить наличие и расположение различных неоднородностей материала. В качестве источника подобных излучений могут применяться устройства, где происходит торможение частиц, вызывающих рентгеновские аппараты, позволяющие получить тормозное (рентгеновское) излучение, различного типа ускорители (ускорители электронов, бетатроны). Наибольшая чувствительность к выявлению дефектов (1...2% от толщины металла) обеспечивается рентгеновскими аппаратами с острофокусными трубками.

Для сварных соединений можно выявить следующие виды дефектов:

- трещины;
- поры;
- включения металлические и неметаллические;
- раковины;
- смещение кромок;
- непровары;
- подрезы;
- проплавы;
- прожоги;
- утяжки.

Трещины лучше всего обнаруживаются, когда плоскость разрыва металла совпадает с направлением радиационных лучей или составляет с ним угол не более 10-15 градусов.

При проведении радиационного контроля возможны три основных метода выявления дефектов:

1. *Радиографический* с фиксацией изображения на пленке или бумаге.

Его преимущество – возможность сохранения документального свидетельства результатов просвечивания и простота контроля. Он служит для обнаружения пор, шлаковых включений, непроваров и трещин.

2. Радиоскопический (радиационная интроскопия).

Дефект в этом случае наблюдается на флюороскопическом экране, экране электронно-оптического преобразователя, рентген-видикона и т.п. Изображение может быть передано на расстояние, его можно рассматривать с нескольких позиций, в стереоскопическом варианте, что повышает надежность определения вида дефекта. В то же время чувствительность радиоскопии несколько ниже, чем радиографии.

3. Радиометрический. Ионизирующее излучение, проникающее сквозь контролируемый участок, преобразуется с помощью сцинтилляционных кристаллов или газоразрядных счетчиков в электрические сигналы, которые позволяют судить о наличии или отсутствии дефекта в соединении. Безынертность системы дает возможность установить обратную связь между процессом сварки и контролем.

По характеру взаимодействия с контролируемым объектом основным способом радиационного контроля является метод прохождения. Он основан на разном поглощении излучения материалом изделия и дефектом. Таким образом, информативным параметром здесь является плотность потока излучения так как в местах утолщения и дефектов плотность прошедшего потока возрастает. Чем больше толщина изделия, тем более высокочастотное (более жесткое) излучение применяют для контроля: рентгеновское, гамма (от распада ядер атомов), жесткое тормозное (от ускорителя электронов: бетатрона, микротрона, линейного ускорителя).

Существуют некоторые ограничения к данному методу:

- путь (ход) радиационных лучей не должен перекрываться другими элементами конструкций;
- затруднительно рентгеновское просвечивание конструкций, покрытых герметиком.

Пример выбора оптимального метода неразрушающего контроля с использованием программного комплекса.

Вид неразрушающего контроля указывается на одной из первых стадий жизненного цикла продукции – уже при проектировании изделия в технических требованиях чертежа.

На любом предприятии для неразъемных, в том числе сварных соединений, вид неразрушающего контроля назначает конструктор и согласует его с отделом по неразрушающим методам контроля. При выборе конструктор исходит из возможностей метода, особенностей соединения, допустимого уровня дефектности и т.д. Предпочтение тому или иному методу отдается в соответствии с поставленными требованиями к соединению. Ведь в одном случае необходимо проверить конструкцию на герметичность или прочность; в другом – на наличие трещин, пор или непроваров; в третьем – есть ограничения по размеру или глубине дефектов.

Проводить сопоставление методов неразрушающего контроля между собой следует с учетом следующего обстоятельства. Как отмечалось выше в описании способов, каждый из них применим для выявления только определенных типов дефектов. Поэтому сравнивать и выбирать среди магнитного, акустического и рентгеновского методов можно только тогда, когда дефекты, подлежащие контролю, могут быть определены каждым из них.

Схематически это можно представить в виде пересечения областей, где:

А – множество дефектов, выявляемых акустическим методом неразрушающего контроля,

М – множество дефектов, выявляемых магнитным методом неразрушающего контроля,

Р – множество дефектов, выявляемых рентгеновским методом неразрушающего контроля,

О – множество общих дефектов, выявляемых всеми тремя методами.

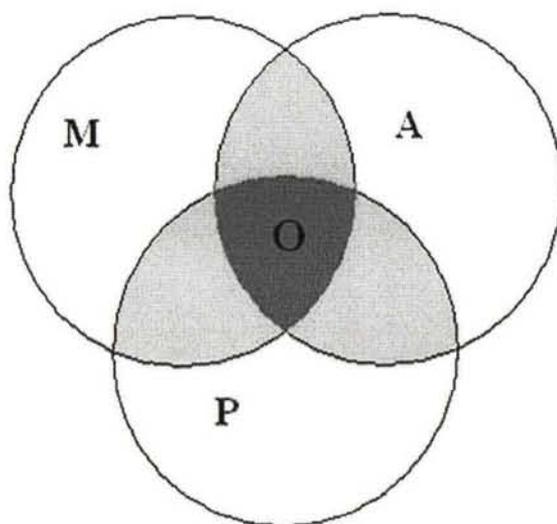


Рис. 5.3.3. Пересечение множеств дефектов, выявляемых методами неразрушающего контроля.

В таблице 5.3.2 представлен перечень дефектов, которые могут быть выявлены каждым из трех сравниваемых методов неразрушающего контроля:

Таблица 5.3.2.

Перечень дефектов, выявленных методами неразрушающего контроля.

Магнитный метод	Акустический метод	Радиационный метод
<ul style="list-style-type: none"> - волосовины, - трещины, - расслоения, - непровары, - флокены, - закаты, - надрывы, - поры 	<ul style="list-style-type: none"> - трещины, - пустоты, - поры, - непровары, - расслоения 	<ul style="list-style-type: none"> - трещины, - поры, - металлические и неметаллические включения, - раковины, - смещение кромок, - непровары, - подрезы, - проплавы, - прожоги,

		- утяжки, - расслоения
--	--	---------------------------

Как видно из таблицы производить сравнение методов между собой справедливо в случае необходимости контроля конструкции на наличие трещин, расслоений, пор или непроваров. Эти виды дефектов и являются самыми опасными для агрегатов летательных аппаратов.

Параметры сравнения.

Сопоставление и выявление наиболее оптимального для нас метода неразрушающего контроля будем производить с учетом следующих дополнительных характеристик:

1. Затраты на контроль (Z)

Этот фактор имеет немаловажное значение. Здесь учитывается:

- стоимость оборудования, необходимого для проведения контроля;
- затраты на создание нужных условий;
- капитальные затраты на помещение;
- затраты на обработку результатов контроля.

Помимо всего этого на стоимость контроля влияет длительность и количество проводимых операций, численность и квалификация контролеров.

Самым дорогим из всех известных способов является рентгеновский метод.

2. Длительность проведения контроля (T)

Здесь учитывается время на:

- подготовку к контролю;
- контроль непосредственно;
- обработку результатов контроля.

Естественно, наиболее предпочтительным является метод, требующий минимальных временных затрат.

3. Возможность автоматизации (A)

Это один из самых значимых факторов. Возможность автоматизации метода актуальна при сегодняшней политике авиационных предприятий, направленной на внедрение CALS технологий в процессы производства и контроля. Преимуществом автоматизации является отсутствие необходимости прямого контакта преобразователя с изделием и представлением информации о дефектах в виде показаний приборов.

4. Глубина выявляемых дефектов (D)

Сопоставление можно производить также по глубине расположения дефектов, которые этими методами выявляются. Магнитные методы, например, позволяют обнаруживать только поверхностные и подповерхностные дефекты; радиационные и акустические помогают выявить как поверхностные, так и внутренние, находящиеся на достаточно большой глубине.

Для рентгеновского метода:

Тип выявляемого дефекта	Толщина материала, мм		
	До 2,5	2,5 - 5	10-20
	Глубина дефекта, мм		
Трещины и не- провары с шири- ной раскрытия 0,025 мм	0,1	0,2	0,3
Неметаллические включения, вклю- чения вольфрама, газовые поры	0,25	0,3	0,5
Трещины и не- провары с шири- ной раскрытия 0,025 мм	0,2	0,3	0,4
Неметаллические включения	0,3	0,5	1,0

5. Влияние контроля на здоровье обслуживающего персонала (G)

Любой метод неразрушающего контроля требует соблюдения правил по технике безопасности, в соответствии с которыми может быть определено наличие специальной оснастки, приспособлений. С точки зрения опасности для обслуживающего персонала выделяют радиационные методы. Для магнитного и акустического методов заметного влияния на здоровье контролеров не выявлено.

б. Апробированность метода в авиационной промышленности (R)

При выборе наиболее оптимального метода этот фактор играет также немаловажную роль. Распространенность метода предполагает его надежность и точность. По апробированности рентгеновский метод в несколько раз превышает и акустический, и магнитный.

7. Дополнительные виды дефектов, которые могут быть выявлены (K)

Здесь учитывается количество дополнительных дефектов, которые можно обнаружить в ходе проведения конкретного метода (не считая общие для всех).

Для магнитного метода НК это:

- флокены,
- закаты,
- надрывы,
- волосовины.

Для акустического:

- пустоты.

Для рентгеновского:

- металлические и неметаллические включения,
- раковины,
- смещение кромок,
- подрезы,
- проплавы,
- прожоги,

- утяжки.

8. Методическое обеспечение выполнения процедур контроля (М)

Процесс контроля должен быть строго стандартизован. Требования к его проведению указываются в инструкциях, технических процессах, стандартах предприятия, отраслевых стандартах. На данный момент каждый из рассматриваемых методов методически обеспечен.

Конкретные числовые данные для каждого из перечисленных выше параметров по всем трем методам НК были получены методом экспертной оценки и занесены в таблицу. Для большей наглядности были взяты для магнитного способа значения всех параметров за 100%, а для остальных двух – в сравнении с ним.

Параметры	Магнитный метод	Акустический метод	Радиационный метод
Z	100%	150%	400%
T	100%	100%	250%
A	100%	20%	300%
D	100%	200%	200%
G	100%	100%	300%
R	100%	100%	200%
K	100%	63%	140%
M	100%	100%	100%

Существует два подхода к выбору того или иного решения:

1. все критерии, по которым производится сравнение, одинаковы по важности, то есть их весовые коэффициенты равны;
2. весовые коэффициенты имеют разную важность.

Рассмотрим несколько вариантов оценивания решений в зависимости от важности критериев.

1. Все критерии одинаково важны

$$WZ=WT=WA=\dots=WM$$

2. Критерий «Z» в 9 раз превосходит все остальные

$$\begin{cases} WZ = 9WG \\ WG = WT = WA = WD = WR = WK = WM \end{cases}$$

3. Критерии «A» и «Z» в 9 раз превосходят все остальные

$$\begin{cases} WZ = WA = 9WG \\ WG = WT = WD = WR = WK = WM \end{cases}$$

4. Критерий «G» превосходит все остальные в 9 раз, но имеет одинаковые весовые коэффициенты с «A» и «Z»

$$\begin{cases} WG = WZ = WA = 9WT \\ WT = WD = WR = WK = WM \end{cases}$$

5. Критерий «K» превосходит все остальные в 9 раз, но имеет одинаковые весовые коэффициенты с «G», «A» и «Z»

$$\begin{cases} WK = WG = WZ = WA = 9WT \\ WT = WD = WR = WM \end{cases}$$

6. Критерий «D» превосходит по важности любой из остальных критериев, но выполнены условия пункта 5.

На рис. 5.3.4 – 5.3.17 показаны расчеты для шести вариантов.

Вариант 1. Все критерии одинаково важны

$$WZ=WT=WA=\dots=WM$$

Шаг 1. Определяем варианты и состав критериев

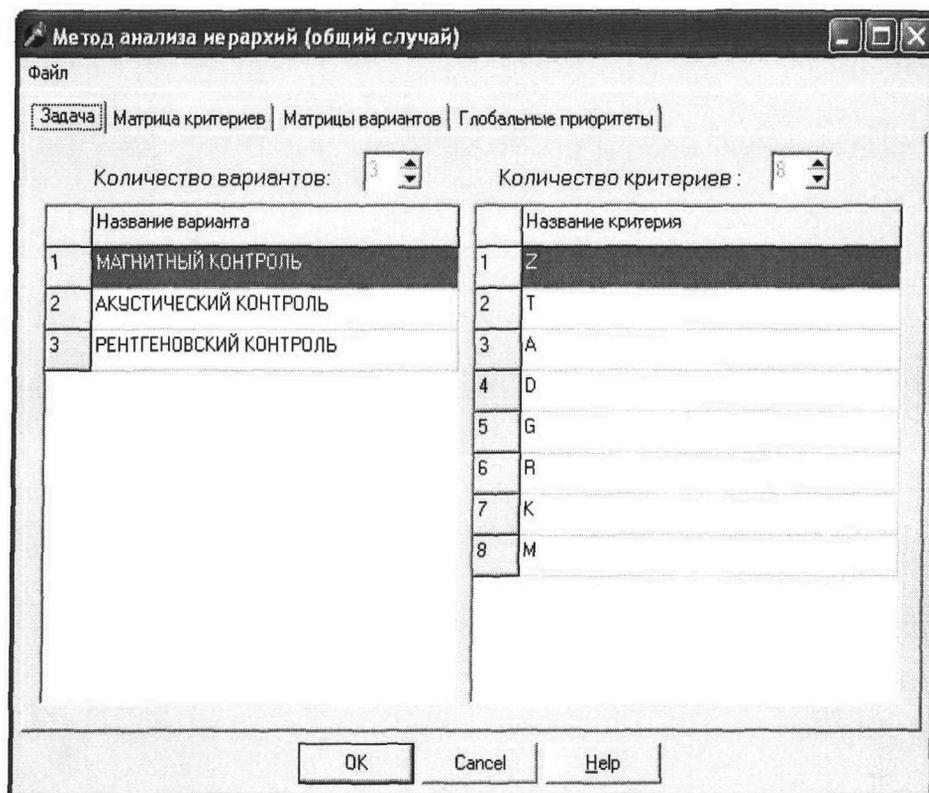


Рис. 5.3.4. Ввод данных (вариант 1).

Шаг 2. Определяем приоритеты критериев.

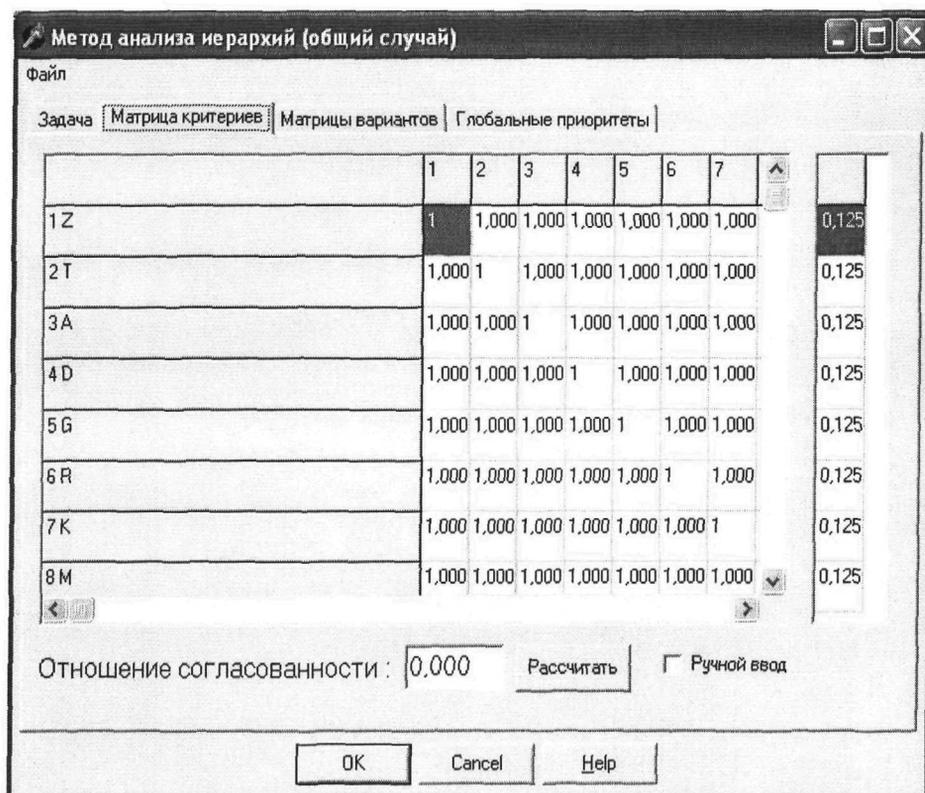


Рис. 5.3.5. Расчет приоритетов критериев (вариант 1).

Шаг 3. Определяем приоритеты вариантов по отношению к критериям.

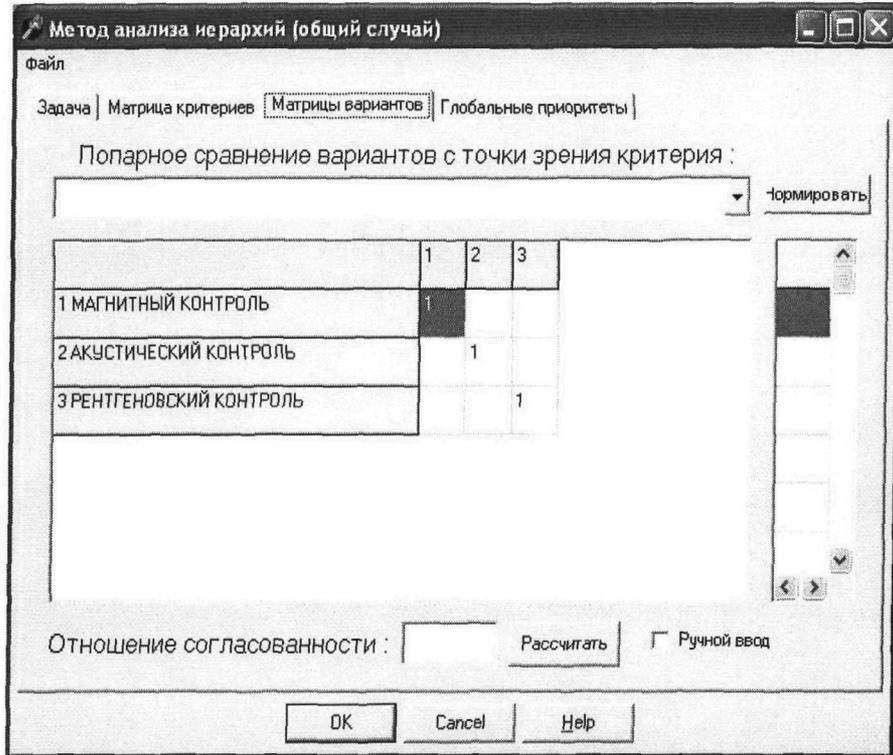


Рис. 5.3.6. Расчет приоритетов вариантов по отношению к критериям (вариант 1).

Шаг 4. Определяем глобальные приоритеты вариантов по отношению к критериям.

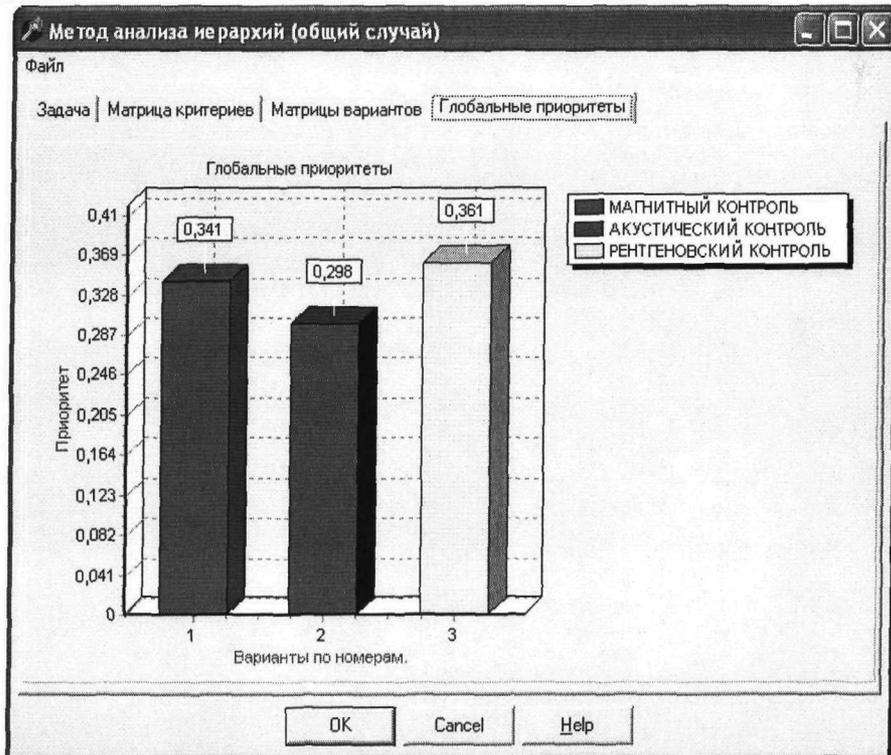


Рис. 5.3.7. Глобальные приоритеты вариантов по отношению к критериям (вариант 1).

Вариант 2. Критерий «Z» в 9 раз превосходит все остальные

$$\begin{cases} WZ = 9WG \\ WG = WT = WA = WD = WR = WK = WM \end{cases}$$

Получаем:

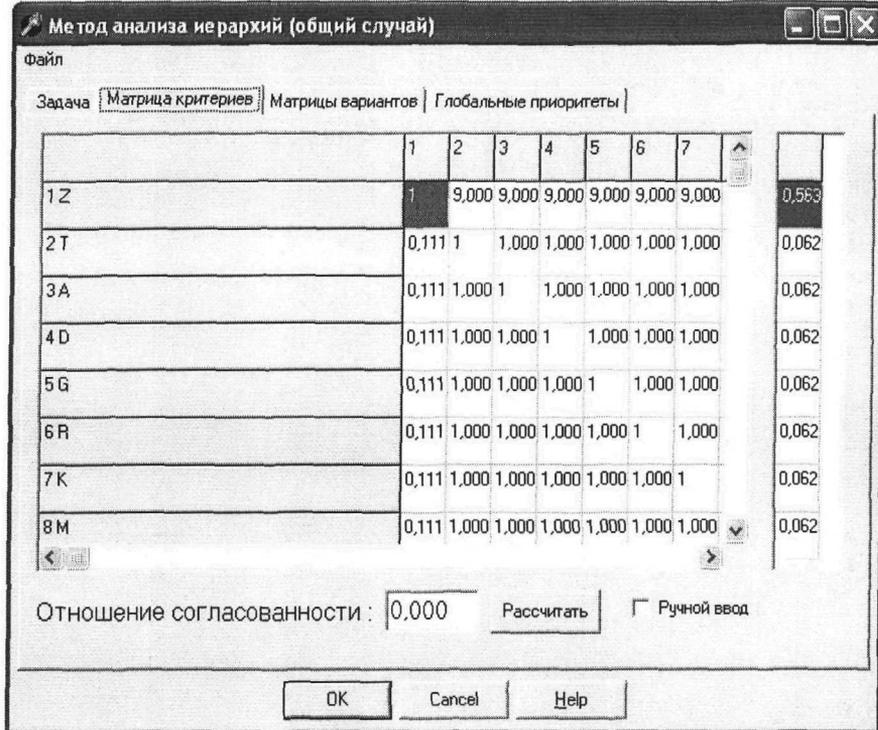


Рис. 5.3.8. Расчет приоритетов критериев (вариант 2).

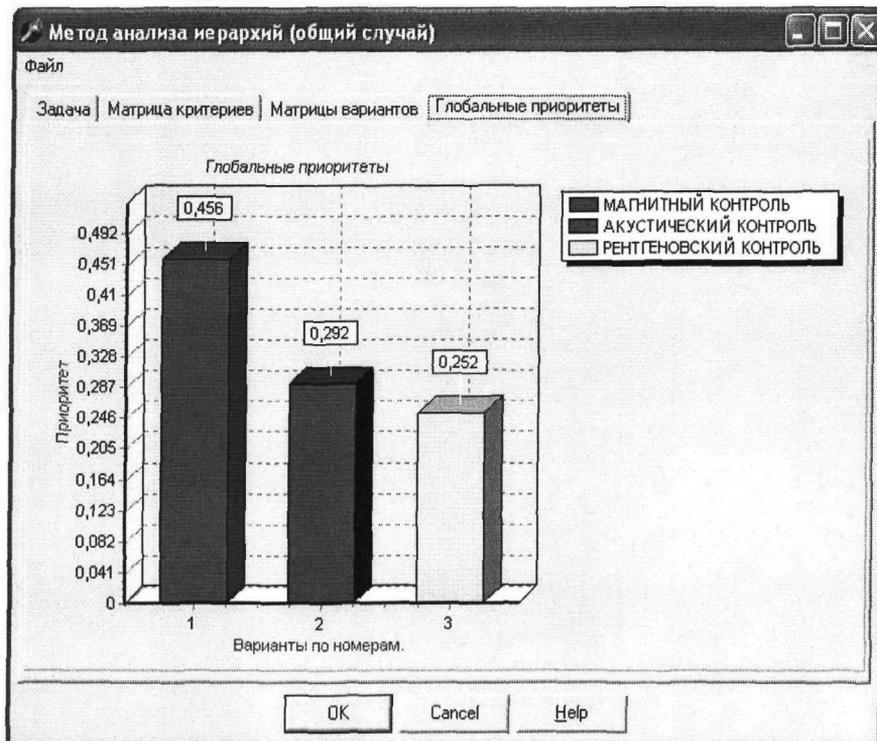


Рис. 5.3.9. Глобальные приоритеты вариантов по отношению к критериям (вариант 2).

Вариант 3. Критерии «А» и «Z» в 9 раз превосходят все остальные

$$\begin{cases} WZ = WA = 9WG \\ WG = WT = WD = WR = WK = WM \end{cases}$$

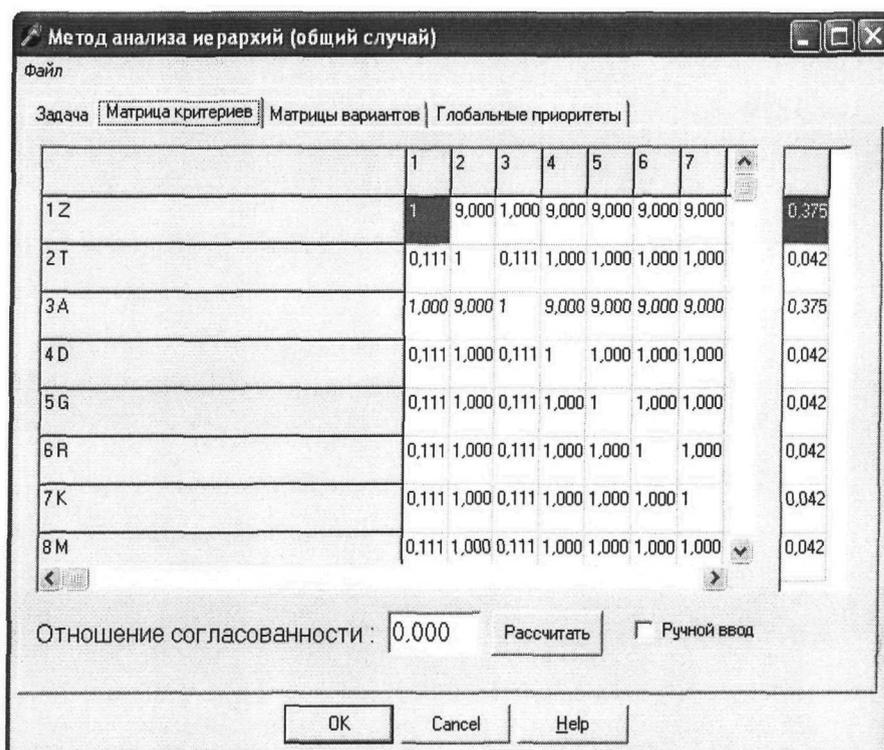


Рис. 5.3.10. Расчет приоритетов критериев (вариант 3).

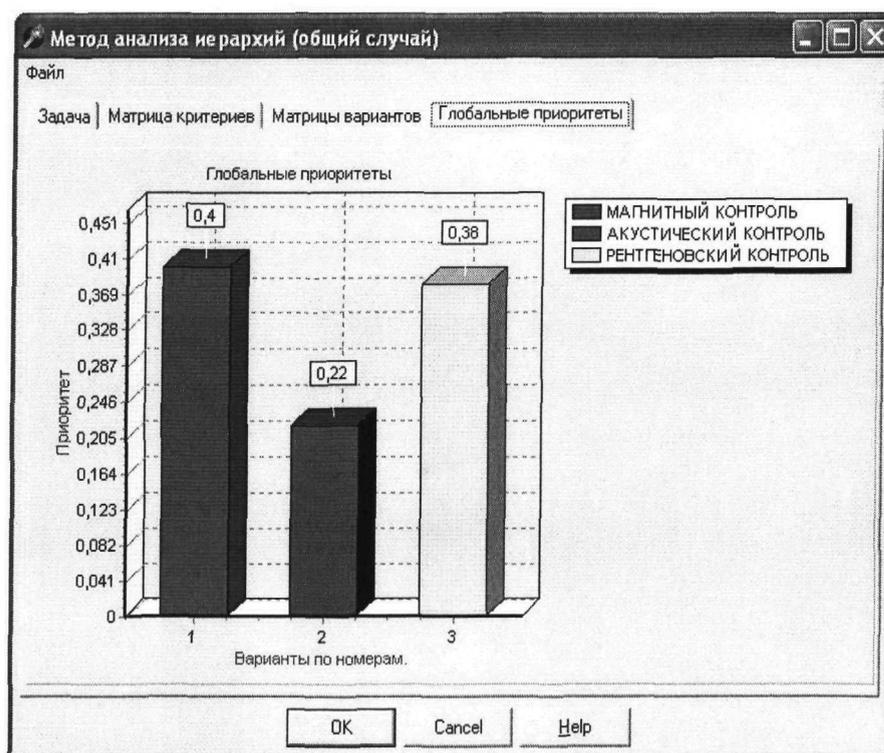


Рис. 5.3.11. Глобальные приоритеты вариантов по отношению к критериям (вариант 3).

Вариант 4. Критерий «G» превосходит все остальные в 9 раз, но имеет одинаковые весовые коэффициенты с «A» и «Z»

$$\begin{cases} WG = WZ = WA = 9WT \\ WT = WD = WR = WK = WM \end{cases}$$

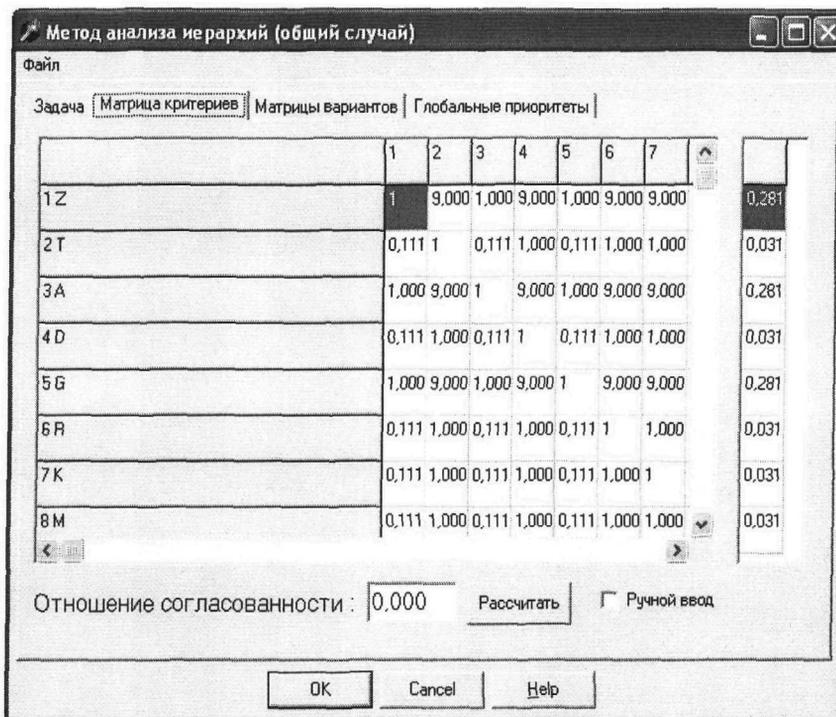


Рис. 5.3.12. Расчет приоритетов критериев (вариант 4).

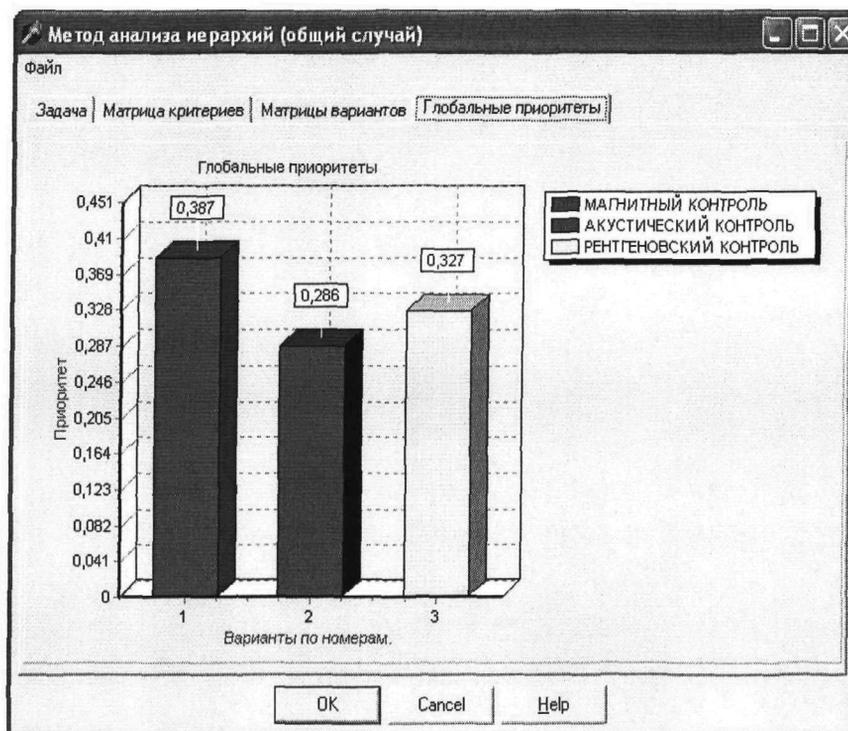


Рис. 5.3.13. Глобальные приоритеты вариантов по отношению к критериям (вариант 4).

Вариант 5. Критерий «К» превосходит все остальные в 9 раз, но имеет одинаковые весовые коэффициенты с «G», «A» и «Z»

$$\begin{cases} WK = WG = WZ = WA = 9WT \\ WT = WD = WR = WM \end{cases}$$

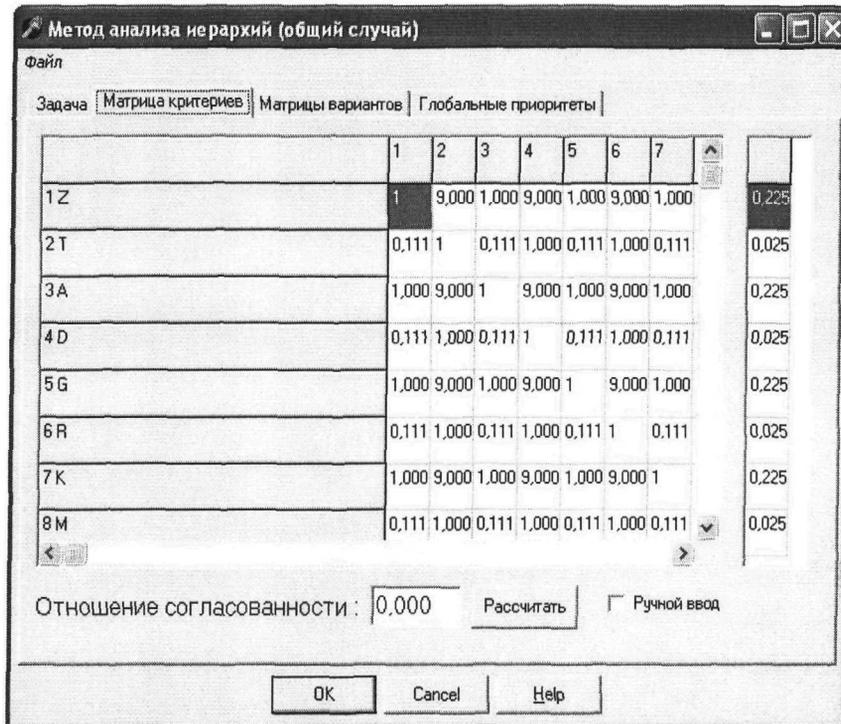


Рис. 5.3.14. Расчет приоритетов критериев (вариант 5).

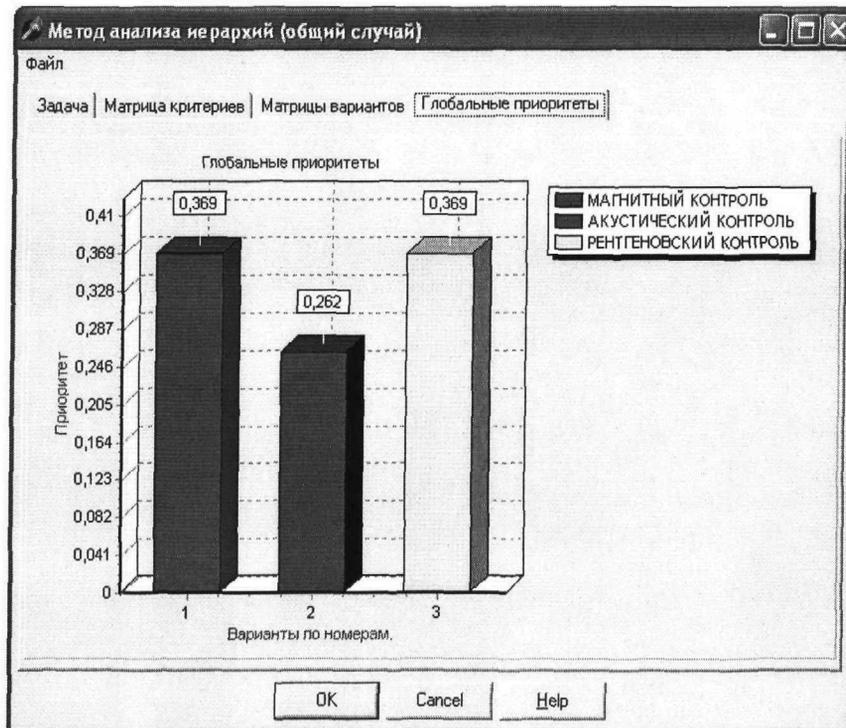


Рис. 5.3.15. Глобальные приоритеты вариантов по отношению к критериям (вариант 5).

Вариант 6. Критерий «D» превосходит по важности любой из остальных критериев, но выполнены условия пункта 5.

	1	2	3	4	5	6	7	
1 Z	1	9,000	1,000	1,000	1,000	9,000	1,000	0,188
2 T	0,111	1	0,111	0,111	0,111	1,000	0,111	0,021
3 A	1,000	9,000	1	1,000	1,000	9,000	1,000	0,188
4 D	1,000	9,000	1,000	1	1,000	9,000	1,000	0,188
5 G	1,000	9,000	1,000	1,000	1	9,000	1,000	0,188
6 R	0,111	1,000	0,111	0,111	0,111	1	0,111	0,021
7 K	1,000	9,000	1,000	1,000	1,000	9,000	1	0,188
8 M	0,111	1,000	0,111	0,111	0,111	1,000	0,111	0,021

Отношение согласованности : 0,000 Рассчитать Ручной ввод

Рис. 5.3.15. Расчет приоритетов критериев (вариант 6).

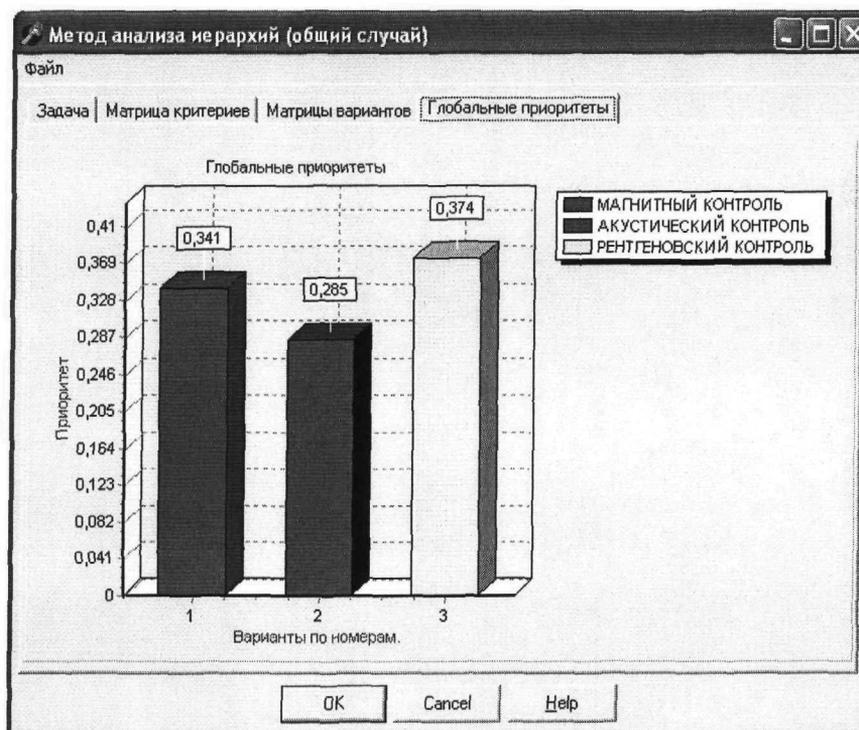


Рис. 5.3.17. Глобальные приоритеты вариантов по отношению к критериям (вариант 6).

Из приведенного анализа, видно какое большое значение имеет правильное назначение весов для выбранных критериев.

Выводы по главе 5.

Программный комплекс предназначен для проведения экспертизы конкурентных проектных технологических предложений. Оценка качества проектных предложений может производиться в сравнении с базовыми значениями аналога или технического задания на разработку системы. Обобщенные показатели качества могут включать в себя как показатели, имеющие количественное выражение, так и чисто качественные показатели (требования).

Благодаря использованию метода анализа иерархий в качестве метода экспертизы, программный комплекс обеспечивает: универсальность по отношению к широкому классу технологических задач; решение задач экспертизы с использованием качественных неформальных характеристик; контроль согласованности решений экспертов; простоту проведения экспертизы любым количеством экспертов.

Программный комплекс реализует следующие расширения метода анализа иерархий: возможность задания n-уровневой иерархической схемы экспертизы, что позволяет также включить в качестве одного из уровней – ранжирование самих экспертов (т.е. определения коэффициентов компетентности экспертов); замену любого вектора приоритетов числовыми значениями, что позволяет использовать в некоторых вариантах экспертизы сопоставимые по смыслу с вектором приоритетов количественные данные.

Программный комплекс решает следующие задачи:

- ввод исходного множества альтернатив (в рассматриваемой задаче это проектные предложения анализируемой технической системы);
- задание и визуализация n-уровневой иерархической схемы экспертизы;
- ввод критериев – элементов иерархической схемы экспертизы в качестве узлов дерева экспертизы;
- задание относительной важности критериев с использованием шкалы относительной важности или абсолютных числовых величин;
- заполнение матриц парных сравнений;

- расчет вектора приоритетов для каждого уровня иерархической схемы;
- ввод числовых значений для вектора приоритетов;
- расчет коэффициента согласованности матрицы парных сравнений каждого уровня иерархической схемы экспертизы;
- расчет глобального вектора приоритетов;
- расчет глобального коэффициента согласованности;
- создание файлов исходных данных и файлов результатов;
- построение диаграмм векторов приоритетов для любого уровня иерархической схемы экспертизы.

Приведенный пример анализа подтверждает сказанное выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе настоящего диссертационного исследования научные результаты дают автору работы основание для следующих выводов и рекомендаций:

1. Любой аспект проблемы качества изделия является составной частью единого процесса его создания и функционирования. С этих общих позиций задачи оценки и управления качеством — это задачи технологий проектирования, производства и эксплуатации изделия. Если создание новой продукции ориентировано на использование достижений научно-технического прогресса и решения, принимаемые на каждой стадии жизненного цикла, достаточно обоснованы, то ее высокое качество можно считать обеспеченным. В соответствии с этим задача управления качеством состоит, прежде всего, в проверке обоснованности принимаемых решений. Когда появляется сомнение в обоснованности тех или иных решений (а значит, используемых технологий), система управления качеством организует вмешательство в технологический процесс. Следовательно, процесс выработки и принятия решения - центральное звено проблемы управления качеством при технологическом проектировании.

2. Современные авиационные предприятия активно внедряют CALS/ИПИ технологии, которые позволяют потенциально значительно ускорить процессы проектирования и более эффективно осуществлять управление ими. Для перехода к обеспечению качества технологического проекта в условиях CALS/ИПИ технологий необходимо осуществить разработку современных автоматизированных систем синтеза и анализа создаваемого технологического проекта; создать автоматизированные системы принятия решений, позволяющие для каждого уровня и этапа жизненного цикла технологического проекта оптимизировать принятия технологических решений.

3. В диссертационной работе показано, что система обеспечения качества технологического проекта не должна ограничиваться только управлени-

ем проекта, но должна обеспечить и качество самого технологического проекта. Поэтому в работе поставлена и решена задача реализации подсистемы обеспечения качества при технологическом проектировании, которая позволяет значительно улучшить качество самого технологического проекта. Для этих целей в систему технологического проектирования встраивается подсистема обеспечения качества проекта по этапам технологического проектирования. Реализуется стратегия непрерывного улучшения качества процессов технологического проектирования и поиска оптимальных проектных решений.

4. В диссертационной работе разработана математическая модель задания опорного технологического пространства в виде структурированных технологических схем изготовления сложного изделия, которая успешно использована для создания системы автоматизированного проектирования технологических процессов нового поколения. Система позволяет формировать множество допустимых технологических структур и представлять их в виде морфологической таблицы или морфологического дерева.

5. Качество сложной технической системы такой как ЛА, может быть достаточно полно отражено тремя комплексными показателями: целевым качеством, качеством сервиса выполнения целевой задачи и экологическим качеством. Оценивание проектных технологических решений осуществляется поэтапно на основе структурированных показателей качества (комплексных, интегральных и единичных критериев) и должны быть отнесены к отдельным проектируемым процессам и их частям, так и к предметам, участвующим в процессе. Желательно иметь базу данных структурированных критериев, а также подсистемы автоматического расчета показателей. Структурированные показатели качества (технологичности изделия, надежности и стабильности технологических процессов) позволяют их использовать для оценивания и выбора технологических решений, отвечающих поставленным глобальным целям. Таксонометрическая квалиметрия позволяет систематизировать критерии и представить их в виде деревьев.

6. Метод экспертизы, основанный на парном сравнении объектов по отдельным признакам, позволяет проводить оценивание большого числа объектов по большому числу признаков. В отличие от других методов экспертных оценок для метода парного сравнения характерно то обстоятельство, что значительное увеличение размерности решаемой задачи не приводит к катастрофическому результату. Вне зависимости от количества объектов и признаков сравнения, перед экспертом при парном сравнении всегда ставится ясная и конкретная задача. Если измерение производится в порядковой шкале, т.е. требуется дать лишь качественную оценку, то задача формулируется следующим образом: определить какой из двух объектов является более предпочтительным по выбранному показателю (признаку сравнения) или какой из двух показателей является более значимым, весомым. Когда измерение производится в шкале отношений, т.е. требуется дать количественную оценку, задача трактуется так: определить, во сколько раз один объект является предпочтительнее другого или во сколько раз один признак, сравнения, является более значимым (весомым), чем другой признак сравнения. Таким образом, с увеличением числа объектов и признаков сравнения растет лишь число матриц парных сравнений, построенных в соответствии с высказываниями экспертов, что усложняет дальнейшую обработку результатов, а не сам процесс экспертного оценивания. Логическим развитием метода парного сравнения стал метод анализ иерархий, который является в настоящее время одним из самых мощных и эффективных методов экспертизы и принятия решений. Предложенный Томасом Саати метод анализа иерархий объединяет идею парного сравнения объектов с аналитическим подходом к формированию оценочного решения.

7. Метод анализа иерархий является систематической процедурой для иерархического представления элементов, определяющих суть любой задачи. Метод состоит в декомпозиции задачи на все более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решение (эксперта), по парным сравнениям. В результате может

быть выражена относительная степень (интенсивность) взаимодействия элементов в иерархии. Эти суждения затем выражаются численно.

Применение метода анализа иерархий к решению задачи экспертизы и оценки качества проектных предложений технической системы включает три основных этапа: 1) иерархическое представление задачи экспертизы, в которой нижний уровень иерархии представлен альтернативами (проектными предложениями технической системы), верхний уровень иерархии – целью (оценкой качества технической системы), промежуточные уровни иерархии занимают критерии – единичные и комплексные показатели качества, по которым производится сравнение проектных предложений технической системы; 2) проведение парных сравнений для определения количественной оценки степени влияния элементов каждого уровня иерархии (альтернатив, критериев) на каждый элемент соседнего с ним верхнего уровня иерархии (критерий, цель); 3) получение приоритетов, характеризующих количественно степень влияния альтернатив (оцениваемых проектных предложений технической системы) через критерии (систему единичных и комплексных показателей качества технической системы) на цель – оценку качества системы.

8. Разработанный в диссертационной работе программный комплекс состоит из двух частей. Первый программный комплекс предназначен для поэтапного формирования структур технологических процессов. Вторым программным комплексом предназначен для проведения экспертизы конкурентных проектных технологических предложений. Оценка качества проектных предложений может производиться в сравнении с базовыми значениями аналога или технического задания на разработку системы. Обобщенные показатели качества могут включать в себя как показатели, имеющие количественное выражение, так и чисто качественные показатели (требования). Благодаря использованию метода анализа иерархий в качестве метода экспертизы, программный комплекс обеспечивает: универсальность по отношению к широкому классу технологических задач; решение задач экспертизы с использованием качественных неформальных характеристик; контроль согласованности

решений экспертов; простоту проведения экспертизы любым количеством экспертов.

9. Разработанная в диссертации методика обеспечения качества технологического проекта может поэтапно быть внедрена в проектных организациях, ориентирующихся на современные информационные технологии.

10. Предложенное научное решение проблемной задачи разработки научно-методического обеспечения (включающего методики, алгоритмы и программные комплексы) процессов обеспечения качества технологического проекта, имеет важное теоретическое, экономическое и социальное значение и вносит существенный вклад в решение важной народно-хозяйственной проблемы повышения качества и сокращения стоимости и сроков технологического проектирования самолетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всеобщее управление качеством. Учебник для вузов. О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин. Под ред. О.П. Глудкина. — М.: Радио и связь, 1999.
2. ИСО 9000-1:1994. Стандарты по общему руководству качеством и обеспечению качества. Часть 1. Руководящие указания по выбору и применению.
3. ИСО 9001:1994. Системы качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании.
4. ИСО 9002:1994. Система качества. Модель обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании.
5. Мосеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981.
6. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. Пер. с нем. — М.: Мир, 1990.
7. ИСО 9003:1994. Системы качества. Модель обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях.
8. Одрин В.М. Метод морфологического анализа технических систем. — М.: ВНИИ ПИ, 1989.
9. Пфанцагль И. Теория измерений. Пер. с англ. — М.: Мир, 1976.
10. ИСО 9004-1:1994. Общее руководство качеством и элементы системы качества. Часть 1. Руководящие указания.
11. Э. Крайер. Успешная сертификация на соответствие нормам ИСО серии 9000: Руководство по подготовке, проведению и последующей сертификации. — Германия. 1995.
12. TQM-XXI. Проблемы, опыт, перспективы. Вып. 1—3. Под ред. В.Л. Рождественского и В.А. Качалова. — М.: ИздАТ, 1997.
13. A Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMI, 1996.

14. Мазур И.И. и др. Реструктуризация предприятий и компаний. Справочное пособие. Под ред. И.И. Мазура. — М.: Высшая школа, 2000.
15. Мазур И.И., Шапиро В.Д. Управление проектами. Справочное пособие. Под ред. И.И. Мазура. — М.: Высшая школа, 2001.
16. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания. — М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991.
17. Путеводитель в мир управления проектами: Пер. с англ. — Екатеринбург: УГТУ, 1998.
18. Мазур И.И. и др. Реструктуризация предприятий и компаний. Справочное пособие. Под ред. И.И. Мазура. — М.: Высшая школа, 2000.
19. Управление проектами. Зарубежный опыт. Под ред. В.Д. Шапиро. — Пб.: ДваТрИ, 1993.
20. Управление проектами. Общая редакция В.Д. Шапиро. — СПб.: ДваТрИ, 1996.
21. Управление проектами: Толковый англо-русский словарь-справочник. Под ред. В.Д. Шапиро. — М.: Высшая школа, 2000.
22. Шеремет В.В. и др. Управление инвестициями. В 2 т. — М.: Высшая школа, 1998.
23. Avraham Shtub, Jonathan F. Bard, Shlomo Globerson. Project management: engineering, technology and implementation. — Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 07632, 1994 — ISBN: 0-13-556458-1.
24. Clifford F. Gray, Erik W. Larson. Project management. The managerial process — McGRAW — Hill International Editions, 2000.
25. Fleming Q.W., Hoppelman J.M. Earned value project management. PMI, 1996.
26. Harold Kerzner. Project management: a system approach to planning, scheduling, and controlling — 6th ed. — John Wiley & Sons, Inc., 1998. ISBN: 0-471-28835-7.
27. James P. Lewis. Fundamentals of project management. — American Management Association, 1997.

28. James P. Lewis. The project manager's desk reference. — Irwin Professional Publishing, 1995.
29. PCWEEK. Russian Edition. 2000. № 3,4,6.
30. Primavera Project Planner. Руководство по Планированию и Контролю. Пер. с англ. ЗАО «Консалтинг ПРИМ», 1997.
31. Primavera Project Planner. Руководство Пользователя. Пер. с англ. ЗАО «Консалтинг ПРИМ», 1997.
32. Principles of project management: collected handbooks from the Project Management Institute/ with a new introduction by John. A. Adams, PMI, 1997. ISBN: 1-880410-30-3.
33. Ralph L. Kliem, Irwin S. Ludin. Project management practitioner's handbook — Amacom American Management Assosiation, 1998. ISBN: 0-8144-0396-4.
34. Sunny Baker, Kim Baker. The complete idiot's guide to Project Management — Alpha books, 1998. ISBN: 0-02-861745-2.
35. Ягелло О.И. Квалиметрический анализ и разработка путей повышения надежности установок ЭЦН // Менеджмент контроля качества — Надежность и контроль качества. — 1999. — № 10.
36. Хвастунов Р.М., Ягелло О.И., Слободяников Б.А. Квалиметрия раздвигает горизонты. О возможностях квалиметрии и методов поверхностного упрочнения в их приложении к задачам управления качеством продукции нефтяного машиностроения // Надежность и сертификация оборудования для нефти и газа. — 2000. — № 1-2.
37. Методы квалиметрии в машиностроении. Под ред. В.Я. Кершенбаума, Р.М. Хвастунова — М.: Технонефтегаз, 1999.
38. Новиков О.А. Система комплексной автоматизации технологии «СКАТ» — М.: РГУ НиГ, 2000.
39. Маслянец М.В. К решению вопросов производства импортозамещающего оборудования // Надежность и сертификация оборудования для нефти и газа. — 2000. — № 4.

40. Г.П. Фетисов. Сварка и пайка в авиационной промышленности. Учеб. пособие для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1983.
41. И.Н. Ермолов, Ю.Я. Останин. Методы и средства неразрушающего контроля качества: Учеб. пособие для инженерно-техн. спец. Вузов – М.: Высш. Шк., 1988.
42. М.Е. Дриц, М.А. Москалев. Технология конструкционных материалов и материаловедение: Учеб. для вузов. – М. Высш. Шк., 1990.
43. Г.П. Фетисов. Процессы сварки и пайки в производстве ЛА. – МАИ, 1981.
44. Управление качеством. Учебник для вузов. Под ред. С.И. Ильенковой. – М.: ЮНИТИ, 2000.
45. Дефекты сварных соединений и средства их обнаружения. В.А. Троцкий, В.Г. Демидко, В.П. Радько – Киев: Вища школа, 1983.
46. Саати Т., Керис К. Аналитическое планирование. Организация систем. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991.
47. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993.
48. Голубев И.С., Парафесь С.Г. Экспертиза проектов ЛА: Учеб. пособие. – М.: МАИ, 1996.
49. Головин Д.Л. Автоматизация технологической подготовки производства. Москва, 1999.
50. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1966.
51. Кубарев А.И. Надёжность в машиностроении. М.: Издательство стандартов, 1989.
52. Проблемы надежности и ресурса в машиностроении / Под ред. К.В. Фролова, А.П. Гусенкова. М.: Наука, 1986.
53. Суворов А.Л. Дефекты в металле. М.: Наука, 1984.
54. Технический контроль в машиностроении / Под ред. В.Н. Чупырина, А.Д. Никифорова. М.: Машиностроение, 1987.

55. Технологичность конструкции изделий: Справочник / Под ред. Ю.А. Амирова. М.: Машиностроение, 1985.
56. Технологические основы обеспечения качества машин / Под ред. К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1990.
57. А.Л. Абибов, Н.М. Бирюков, В.В. Бойцов и др. Технология самолетостроения. М.: Машиностроение, 1982.
58. Гафт М.Г., Борзенков В.И. Интерактивный метод многокритериальной оценки технологического уровня, промышленной продукции. Доклад в трудах Академии Наук. Том 295, №3, 1987.
59. Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980.
60. Т.Р. Барахман. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. 1984.
61. И.О. Ларичев. Теория и методы принятия решений, Москва, Изд-во «Логос», 2000.
62. Л.Г. Евланов. Теория и практика принятия решений, Москва, Изд-во «экономика», 1984.
63. В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: «Наука», 1982.
64. Э. Науман. Принять решение - но как? Под ред. Ю.П. Адлера – М.: «МИР». 1987.
65. И.В.Солодовников, О.В. Рогозин, О.Б. Пащенко. Теория принятия решений. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
66. П.П. Афанасьев, В.Ф. Витинин, И.С. Голубев. Оценка качества машиностроительной продукции. – М.: Изд-во МАИ, 1995.
67. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. Пер. с нем. – М.: Мир, 1990.

68. Мендзевровский И.Б. Управление жизненным циклом изделия – управление проектом и изменениями. Технологические системы, 1/2001.
69. Елисеев Ю.С., Кузнецов И.И., Алексеева Н.И. Информационные технологии в проектировании и производстве. М.: Полет. 10.2001, стр.21-24.
70. Федюкин В.К., Дурнев В.Д., Лебедев В.Г. «Методы оценки и управление качеством промышленной продукции». Москва. Изд-во «Филинь». 2001 г.
71. Л.Н. Качалина. Конкурентоспособный менеджмент. - М.: «Eksmo Education», 2006.
72. Ю.А. Моисеев, С.В. Челышев. Технологическая надежность сложного изделия и ее отработка. –М.: УРСС, 2003.
73. Шишкин В.С. Оценка надежности технологической системы по качеству изготовления изделия // Известия высших учебных заведений. Серия машиностроение//, 1979, №2 (Издание МВТУ им. Н.Э. Баумана).
74. Н.Н. Кочетов, Н.Н. Губин, И.П. Дежкина. ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ. Журнал Машиностроение, №3, 1996.
75. Л.Г. Райков. Имитационный синтез ЛА: Учеб. пособие. – М.: МАИ, 1982.
76. Л.Г. Райков. Ориентированные операционные системы для САПР ЛА: Учеб. пособие. – М.: МАИ, 1982.
77. Головин Д.Л., Зыонг Куок Зунг. Обеспечение качества при технологическом проектировании сложных изделий авиационной техники. Международная конференция «Авиация и космонавтика - 2005». 12 октября 2005. Тезисы докладов. Москва. МАИ. 2005.
78. Головин Д.Л., Зыонг Куок Зунг. Технологическое проектирование сложного изделия в условиях CALS/ИПИ технологий. Сборник статей. Про-

ектирование, конструирование и производство авиационной техники. Под общей ред. проф. Комарова Ю.Ю. Изд-во МАИ. 2005.

79. Головин Д.Л., Комаров Ю.Ю., Зыонг Куок Зунг. Обеспечение качества при технологическом проектировании сложного изделия в условиях CALS/ИПТ технологий. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции. Том 1. 11-16 сентября 2006. в городе Севастополе. Донецк-2006.
80. Головин Д.Л., Зыонг Куок Зунг. Анализ, экспертиза и оптимизация принятия решения по выбору конструктивно-технологических схем выполнения монтажно-сборочных работ в труднодоступных местах с помощью виртуальных приборов контроля. 5-ая международная конференция «Авиация и космонавтика - 2006». Секция «Управление качеством». Тезисы докладов. Изд-во МАИ. 2006.
81. Головин Д.Л., Зыонг Куок Зунг. Обеспечение качества при технологическом проектировании сложного авиационных конструкций. Журнал «Полет», №11, 2007.
82. Головин Д.Л., Зыонг Куок Зунг. Обеспечение качества при технологическом проектировании сложного наукоемкого изделия. Журнал «Качество. Инновации. Образование», №5, 2007.