

Введение

Текст лекций отражает раздел «Технологический этап подготовки производства» рабочей программы учебной дисциплины «Основы производства ЛА и АД» специальности 160901 для всех форм обучения.

В данном тексте лекций используется понятие «авиационная техника» (АТ). Под ней понимается любое изделие, принимающее участие в осуществлении авиационной работы: самолёт, вертолёт, беспилотный летательный аппарат (ЛА), дирижабль, авиационный двигатель (АД), вспомогательная силовая установка (ВСУ), редуктор, автономный модуль, покупное изделие, получаемое по кооперации, сборочная единица и другие.

В настоящее время понятие «жизненный цикл» АТ включает в себя два основных этапа: доэксплуатационный и эксплуатационный. Доэксплуатационный этап начинается с момента осознания потребности в новой АТ и заканчивается с момента начала эксплуатационного этапа. Он разделяется на подэтапы: конструкторская подготовка производства; технологическая подготовка производства; техническая подготовка производства; производство.

Конструкторский подэтап рассмотрен в работе [1]. Предметом рассмотрения данного текста лекций является подэтап технологической подготовки производства.

Сформулированное выше понятие «жизненный цикл» в лингвистическом смысле как бы предполагает, что изделие АТ «живёт», то есть уже существует в виде работоспособной машины. В этом смысле требуется обоснование целесообразности включения в жизненный цикл доэксплуатационного этапа, когда изделия АТ, как работоспособной машины из конструкционных материалов, ещё не существует. Дело в том, что АТ на данном этапе «живёт» как модель на разного рода носителях информации: бумага, ватман, калька, шаблон, плаз, модель, в электронном виде и так далее.

Моделирование - воспроизведение той или иной сложной системы посредством более простой системы - модели. Моделирование основано на изоморфизме (структурном или функциональном сходстве) различных систем. Это позволяет воспроизводить и изучать сложные системы (к которым относятся и изделия АТ) в математических, физических или иных моделях. Меняя параметры модели, исследователь получает данные, аналогичные тем, которые имели бы место в действительности при изменении реальных условий. Испытывается множество вариантов модели, каждая из которых представляет собой определенное сочетание факторов, можно выбрать вариант, оптимальный или близкий к оптимальному (или оптимальному по Парето) при заданных реальных условиях.

Характерная особенность математического моделирования состоит в том, что при изучении варианта изделия АТ таким методом необходимо в первую очередь построить его математическое описание или математическую модель.

Наличие математического описания - оригинала позволяет обоснованно выбрать соответствующие параметры будущей конструкции. Математическая модель изделия АТ есть некоторый математический объект, соответствующий данному физическому объекту. Всегда существуют соотношения, которые в виде математических зависимостей выражают реальные физические связи.

Поэтому под математической моделью реального изделия АТ следует понимать совокупность соотношений (например, формул, уравнений, неравенств, логических условий, операторов и других), которые связывают его характеристики с параметрами его конструкции.

В данном определении вовсе не предполагается, что математическая модель состоит только из соотношений, выражающих характеристики АТ в виде явных функций от параметров системы, времени, исходной информации и начальных условий. В общем случае этого может и не быть. Однако существенным свойством математической модели является то обстоятельство, что при совместном рассмотрении составляющих ее соотношений характеристики изделия АТ однозначно (для детерминированных моделей) определяются через параметры заданных условий эксплуатации, исходную информацию и соответствующие начальные условия. Построение модели целостной системы, выбор характеристик ее состояний и параметров, описывающих процесс функционирования системы, является исходной информацией для непосредственно этапа проектирования.

Таким образом, изоморфизм модели задуманного изделия АТ и реального изделия после его воплощения в виде работоспособной машины из конструкционных материалов позволяет как бы «эксплуатировать» изделие до его реального воплощения. И именно по этой модели в виде конструкторской документации, сделанной понятной для производства путём её преобразования в комплект технологической документации, в дальнейшем создаётся реальная реализация изделия АТ.

Данное учебное пособие завершает логическую схему учебного цикла «Основы производства и ремонт летательных аппаратов и авиационных двигателей». В тексте лекций [1] показано, как в результате конструкторского этапа технологической подготовки производства умозрительный образ потребного обществу изделия АТ превращается в модель этого изделия АТ и в модель всех действий, которые на эксплуатационном этапе должны производиться с данным изделием – эксплуатироваться и ремонтироваться. Эти модели представляются в виде конструкторской документации в соответствии с требованиями «Единой системы конструкторской документации (ЕСКД)».

В предлагаемом тексте лекций «Основы производства ЛА и АД. Технологический этап подготовки производства» даны сведения о том, как разработанные на конструкторском этапе модели преобразуются в модели и алгоритмы понятные для производства – в технологическую документацию. Эти производственные модели представляются в виде технологической документации в соответствии с требованиями «Единой системы

технологической документации (ЕСТД). На этом этапе опробуются и основные положения разработанной на конструкторском этапе «Эксплуатационной и ремонтной документации».

В конспекте лекций [2] приведены сведения о том, как по технологической документации изготавливается АТ. В результате реализации технологических процессов из исходных конструкционных материалов сначала получают заготовки, из них детали, которые собираются в сборочные единицы, затем – изделие АТ, которое после испытаний передаётся заказчику – эксплуатирующей организации. В конспекте лекций [3] более подробно указываются особенности завершающего производственного этапа создания АТ – сборки и монтажа.

Считается, что в доэксплуатационном этапе жизненного цикла изделия АТ участвуют две организации – конструкторское бюро (отвечающее за конструкторский этап и часть технологического этапа) и завод-изготовитель (отвечающее за вторую часть технологического этапа и непосредственно создающее изделие АТ). Но, поскольку эти организации совместно с эксплуатирующей организацией и ремонтным заводом активно участвуют и в эксплуатационном этапе жизненного цикла изделия, выполняя конструкторское и технологическое сопровождение созданного ими изделия АТ, всё, что относится к эксплуатации и ремонту АТ можно отнести и к КБ и к заводу-изготовителю. Поэтому учебные дисциплины «Основы производства ЛА и АД» и «Ремонт ЛА и АД» логически объединены.

В конспекте лекций [4] приведены технологические процессы ремонта АТ в той последовательности, в какой производится ремонт. Подавляющее число этих техпроцессов используется и для производства изделий АТ. В учебном пособии [5] приведены сведения о ремонте конкретных деталей и узлов ЛА и АД. Эти технологии опираются на сведения об изготовлении изделия АТ. В конспекте лекций [6] приведены новые перспективные технологические процессы ремонта АТ, которые в настоящее время широко вошли в практику производства АТ.

В монографии [7] показаны особенности функционирования предприятий по производству и ремонту АТ в условиях рыночных механизмов хозяйствования. Приведены сведения об особенностях моделирования технологических процессов ремонта АТ, создания автоматизированной системы управления проектированием технологических процессов ремонта АТ (АСУ ТПР) и принципиальном отличии АСУ ТПР от автоматизированной системы управления проектированием технологических процессов изготовления АТ (АСУ ТП). В предлагаемом тексте лекций «Основы производства ЛА и АД. Технологический этап подготовки производства» значительное внимание уделено вопросам создания АСУ ТП. Таким образом, сведения о концептуальных особенностях АСУ ТПР и АСУ ТП находят свою логическую полноту.

Методические руководства по практическим занятиям [8], лабораторным работам [9], изучению дисциплины [10], альбом иллюстраций [11], интернет-ресурсы [12] наполняют практическими сведениями во многом теоретические сведения, приведенные в конспектах лекций по «Основам производства ЛА и АД»

1. Основные положения технологической подготовки производства (ТПП)

Изготовление машины начинается с момента, когда исходным материалам начинают придавать геометрические параметры и физико-механические свойства, требуемые для данной машины и определяемые конструкторской документацией. Оно начинается с изготовления заготовок, проходит стадии изготовления деталей и узлов (сборочных единиц), сборки изделия завершается испытанием машины. В этой области работы происходит много разных по своей физической и химической сущности и необходимому оборудованию процессов переработки, обработки резанием, литьём, давлением, химическим, электрическим, диффузионным, термическим, криогенным воздействиями на исходные материалы, сборки, пайки, сварки, склёпывания, склеивания, нанесения термических, химических, диффузионных покрытий и множества других. Все эти процессы изучаются в соответствующих разделах лекционного курса.

Совокупность методов, обеспечивающая все заданные параметры предмета, представляет собой технологический процесс его изготовления. Отсюда наиболее общее определение: «технология машиностроения» является учением о технологических процессах изготовления машин [13].

Проектирование технологического процесса ведётся в жёстких рамках двух требований: безусловное обязательное соблюдение заданных параметров изготавливаемого объекта (определённого конструкторской документацией); достижение конечной цели с наименьшими затратами общественного труда, т.е. наиболее экономично. Осуществление этих требований неразрывно связано с необходимостью учёта реальных условий конкретного производства.

Даже для изготовления простого предмета требуются процессы переработки, обработки или соединения, разные по своей природе. Например, технологический процесс изготовления заготовки детали из пруткового полуфабриката требуетковки для достижения заданных геометрических параметров, термической обработки для достижения заданных физических параметров, химической обработки для достижения необходимой чистоты поверхности.

Различной природой процессов и изменяемых параметров обусловлены различия в необходимом оборудовании, методах его использования, принципах решения возникающих перед технологом задач. Поэтому в практической работе к технологическому процессу изготовления предмета подходят как к некоторому комплексу технологических процессов. Каждый из них представляет собой некоторую стадию изготовления предмета.

Основными особенностями авиадвигателестроения являются: средние по величине габаритные размеры выпускаемых изделий; большие по величине габаритные размеры изделия, например, оболочки широкофюзеляжных самолётов, обладают малой устойчивостью и их обработка и сборка ведётся в заневоленном (подкреплённом технологической оснасткой) состоянии; высокая точность деталей и изделий целиком; сложность формы и тонкостенность деталей; широкое применение труднообрабатываемых и дорогих материалов; большое разнообразие используемых процессов переработки, обработки и соединения материалов и полуфабрикатов; тщательная разработка технической документации и жёсткий контроль качества; сравнительно частая смена объектов производства.

Механическая обработка большой сложности и высокой точности, сложная и точная сборка занимают в авиадвигателестроении доминирующее положение. Но с развитием науки, техники и технологии растёт доля предметов, изготавливаемых технологическими процессами литья, холодной и горячей штамповки, сварки, пайки, порошковой металлургии, электрообработки и других. Расширяется применение материалов со специальными и особыми свойствами, в том числе композиционных и неметаллических, а вместе с этим и новых технологических процессов их переработки и обработки. Как процесс формообразования детали технологический процесс механической обработки отличается прежде всего своей дискретностью. Необходимость использовать различные инструменты для образования разных участков детали и другие причины вынуждают многократно прерывать непрерывный процесс – разделять его на так называемые операции.

Для сложных деталей требуемое количество операций может достигать нескольких десятков, причём перерывы бывают необходимы и внутри операций. Содержание и последовательность операций определяют необходимое оборудование, приспособления, инструменты, сложность работы, загрузку оборудования и другое. Возникает большой комплекс задач о точности, производительности и экономичности, специфика которых в том, что они почти не связаны с физической сущностью процессов, например, резания, но обусловлены чрезвычайным многообразием возможного применения этих процессов для формообразования одной и той же детали. Постановка и решений таких задач в общем виде составляют основное содержание учения о технологических процессах обработки деталей машин.

Проектирование приспособлений не является частью проектирования технологического процесса. Оно выполняется на тех же принципах, что изложены в [1]. Но меняется причинно-следственная связь. Если проектирование основного изделия предшествует, является заданием на проектирование технологии, то проектирование приспособлений, как средство производства, вытекает из спроектированного технологического процесса изготовления основного изделия. Поэтому, обычно, проектирование

приспособлений рассматривают как раздел курса о технологических процессах. Это обусловлено особенно важной ролью, которую играют приспособления для решения задачи о точности, производительности и экономичности, разрешаемых при проектировании технологического процесса.

Процессы резания, используемые в технологических процессах обработки деталей, способны обеспечивать определённую форму обработанной поверхности, но при этом ни один из них не позволяет воздействовать одновременно на все участки общей поверхности детали. Между тем каждый из участков обязан отвечать не только заданной форме, но и заданному положению в совокупности других участков. При этом решающую роль играет не сам процесс образования участка резанием, а положение, которое занимает деталь в рабочей зоне станка. При проектировании технологического процесса особую сложность представляют требования не к самим обработанным поверхностям детали, а к их взаимному положению. Количество возможных сочетаний обработанных поверхностей неизмеримо больше количества самих поверхностей. Эти положения создаются с помощью приспособления для детали. Отсюда его особая роль в технологическом процессе.

Основные понятия и определения технологического этапа подготовки производства (производственный и технологический процессы; структура технологического процесса; виды операций и этапы технологического процесса; операционные припуски; технологическая классификация оборудования; виды машиностроительного производства; концентрация и классификация операций; технологические нормы времени; документирование технологического процесса).

2. Основные положения Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП)

ЕСТПП – установленная система организации и управления процессом технологической подготовки производства [14]. Она предусматривает широкое применение прогрессивных типовых технологических процессов, стандартной технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов, инженерно-технических и управленческих работ. Основное назначение ЕСТПП заключается в установлении системы организации и управления процессом технологической подготовки производства, обеспечивающий: единый для всех предприятий системный подход к выбору и применению методов и средств технологической подготовки производства (ТПП), соответствующих достижениям науки, техники и производства; освоение производства и выпуска изделий высшей категории качества в минимальные сроки, при минимальных трудовых и материальных затратах на ТПП на всех стадиях создания изделий, включая опытные образцы (партии), а также изделия единичного производства; организацию производства высокой степени гибкости, допускающей возможность непрерывного его совершенствования и быструю переналадку на выпуск новых изделий; рациональную организацию механизированного и

автоматизированного выполнения комплекса инженерно-технических и управленческих работ; взаимосвязи ТПП и управления ею с другими системами и подсистемами управления.

Функционирование ЕСТПП обеспечивается комплексным применением входящих в неё стандартов, отраслевых стандартов и стандартов предприятий, конкретизирующих и развивающих отдельные правила и положения ЕСТПП применительно к специфике отрасли или предприятия, а также нормативно-технической и методической документации на методы и средства ТПП.

Документацию разрабатывают в соответствии с: Единой системой конструкторской документации (ЕСКД); Единой системой технологической документации (ЕСТД); Единой системой классификации и кодирования технико-экономической информации; Единой системой государственного управления качеством продукции; Системой разработки и постановки продукции на производство; Государственной системой обеспечения единства измерений; плановой и организационно-распорядительной документации, регламентирующей и регулирующей ТПП; нормативно-технической документацией на типовые и другие прогрессивные технологические процессы и методы их типизации и стандартизации, средства технологического оснащения и методы их унификации, агрегатирования и стандартизации, средства механизации и автоматизации инженерно-технических работ, методы проведения расчётных и экспериментальных работ в области ТПП, методы нормирования и нормативно-справочные данные, методы организации и управления процессом ТПП применительно к конкретным видам изделий и типам производства; документацией по механизации и автоматизации обработки информации, используемой при ТПП и управлении ею; Системой стандартов по безопасности труда.

Все стандарты ЕСТПП классифицированы в несколько групп: Общие положения; Правила организации и управления процессом ТПП; Правила обеспечения технологичности конструкций изделий; Правила разработки и применения технологических процессов и средств технологического оснащения; Правила применения технических средств механизации и автоматизации инженерно-технических работ; Прочие стандарты. Состав конкретных стандартов определяется задачами и функциями ТПП.

Ниже приведены основные стандарты ЕСТПП.

ГОСТ «Основные требования к технологической подготовке производства». Главной задачей ТПП является обеспечение полной технологической подготовки к производству изделия высшей категории качества в соответствии с заданными технико-экономическими показателями, конструкторской документацией, устанавливающими высокий технический уровень и минимальные трудовые и материальные затраты. ТПП начинается с получения исходных документов на разработку и производство новых изделий, организацию нового и совершенствование действующего производства.

ТПП включает решение следующих основных функциональных задач: обеспечение технологичности конструкции изделия; разработка технологических процессов; проектирование и изготовление средств технологического оснащения; организация и управление процессом ТПП. Особенности изучения результатов конструкторского этапа являются: проведение технологического контроля конструкторской документации; оценка уровня технологичности конструкции изделия; отработка конструкции изделия на технологичность; введение необходимых изменений в конструкцию изделия и конструкторскую документацию.

ГОСТ «Порядок организации научно-технических разработок в области технологической подготовки производства, приемки и передачи их в производство». Он устанавливает общий порядок организации выполнения, приемки и передачи в производство научно-технических, технологических и организационных разработок в области развития и совершенствования системы ТПП, отдельных видов технологических процессов, методов организации и управления процессом ТПП.

Отдельным ГОСТом установлены «Термины и определения основных понятий». Они разделены на группы: общие понятия; составные части, свойства и характеристики ТПП (где сформулированы функция, задача, организация, управление и сроки ТПП); машиностроительное производство и его характеристики; свойство и характеристики предметов труда; процессы и операции. Основная терминология этого ГОСТа приведена в [2, 4].

ГОСТ «Основные правила организации и управления процессом ТПП». Этот стандарт устанавливает, в том числе и взаимосвязь управления ТПП с автоматизированными системами управления. Основное содержание работ по ТПП в какой-то мере аналогично организации работ по конструкторскому этапу [1]: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая документация, изготовление изделия.

Отдельный ГОСТ устанавливает «Стадии разработки документации по организации и совершенствованию ТПП». Он конкретизирует содержание работ на стадиях разработки «Технического задания», «Технического проекта» и «Рабочего проекта».

ГОСТ «Правила разработки технического задания на совершенствование системы ТПП на предприятии» определяет состав «Технического задания». Оно должно содержать разделы: основания для разработки; цель и назначение разработки; характеристика объекта разработки; основные технические требования к разрабатываемой документации; экономическое обоснование; организация разработки; задание на разработку технической документации.

ТПП является задачей с множеством объектов со своими свойствами и связями. С позиций системного анализа в целях организации оптимальной логистики процесса используется метод изучения физической системы путём её «замены» абстрактной системой с теми же отношениями. Для этих целей ГОСТ предусматривает «Правила разработки графической информационной модели

системы ТПП». Он даёт определение и назначение графической информационной модели, определяет структуру модели, порядок её разработки, правила выполнения блок-схем функций, задач и процедур.

Важное значение при ТПП имеет оснащение будущего производства технологической оснасткой. Так при производстве современного авиадвигателя номенклатура инструментального хозяйства составляет десятки тысяч показателей, их общее количество может достигать сотен тысяч единиц. Поэтому отдельный ГОСТ «Правила организации инструментального хозяйства» устанавливает основные правила организации инструментального хозяйства (обеспечение производства технологической оснасткой, правила её складирования и учёта).

Основными задачами организации инструментального хозяйства являются: определение потребностей и планирование обеспечения предприятий оснасткой; обеспечение предприятия покупной оснасткой, или организация её производства по кооперации с другими предприятиями; подготовка производства вспомогательных цехов и изготовление в них оснастки, её испытание и отладка; нормирование расхода оснастки; организация технического обслуживания и ремонта оснастки и технический надзор за её эксплуатацией; обеспечение рабочих мест оснасткой; организация учета и хранения оснастки; организация эксплуатации стандартной и переналаживаемой оснастки и обеспечение её рационального применения; восстановление оснастки и другие.

По технологической оснастке ГОСТ регламентирует: определение потребности предприятий; планирование приобретения (изготовления) и обеспечения производства; организацию эксплуатации и технический надзор за эксплуатацией; обеспечение рабочих мест; организацию складирования и учёта.

В систему ЕСТПП входит ГОСТ «Расчёт трудоёмкости изготовления изделия с применением средств вычислительной техники».

Отдельную группу стандартов ЕСТПП составляют «Правила обеспечения технологичности конструкций изделий». Обеспечение технологичности конструкции изделия – функция подготовки производства, предусматривающая взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, в том числе и монтаж вне предприятия изготовителя, техническое обслуживание и ремонт изделия.

Обеспечение технологичности конструкции изделия включает: отработку конструкции изделия на технологичность на всех стадиях разработки изделия, при технологической подготовке производства и, в обоснованных случаях, при изготовлении изделия; совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий и фиксации принятых решений в технологической документации; количественную оценку технологичности конструкции изделий; технологический контроль конструкторской

документации; подготовку и внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам технологического контроля, обеспечивающих достижение базовых значений показателей технологичности.

Технологичность конструкции изделия оценивают количественно с помощью системы показателей. Конкретные расчёты показателей приводятся при проведении практических занятий [8]. В ГОСТе «Общие правила обеспечения технологичности конструкции изделия» даются основные термины и определения в области обеспечения технологичности, количественная оценка технологичности конструкции изделия, даётся последовательность и содержание работ по обеспечению технологичности. Работы по обеспечению технологичности конструкции изделия проводятся на всех стадиях разработки конструкторской документации: техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая конструкторская документация опытного образца, установочной партии, серийного производства. На всех этих стадиях показатели технологичности рассчитываются в соответствии с рекомендациями ГОСТа: трудоёмкость изготовления изделия; удельная материалоемкость (металлоёмкость, энергоёмкость и пр.) изделия; средняя оперативная трудоёмкость технического обслуживания и ремонта) данного вида; средняя оперативная стоимость технического обслуживания и ремонта) данного вида; средняя оперативная продолжительность технического обслуживания и ремонта) данного вида; удельная трудоёмкость изготовления изделия; трудоёмкость монтажа; коэффициент применимости материала; коэффициент унификации конструктивных элементов; коэффициент сборки.

ГОСТ устанавливает и «Правила выбора показателей технологичности конструкции изделий на различных стадиях её разработки». Целью количественной оценки технологичности разрабатываемой конструкции является обеспечение эффективной отработки изделия на технологичность при снижении затрат времени и средств на её разработку, технологическую подготовку производства, изготовление, эксплуатацию и ремонт. Последовательность определения показателей технологичности представлена в документе блок-схемой. Сама технологичность классифицируется на производственную (с целью сокращения времени и средств на конструкторскую и технологическую подготовку производства, на процессы изготовления, в том числе контроля и испытаний) и эксплуатационную (с целью сокращения времени и средств на техническое обслуживание и ремонт изделий).

Следующим ГОСТом установлены общие правила и порядок обеспечения технологичности конструкции сборочных единиц машиностроения на всех стадиях её разработки. Им определяются требования к сборочной единице: к составу; к конструкции соединений составных частей; к точности и методу сборки.

В состав ЕСТПП входит ГОСТ с правилами обеспечения технологичности конструкции деталей на всех стадиях её разработки. Его целью является повышение производительности труда и качества изделия при максимальном снижении затрат времени и средств на разработку, технологическую подготовку производства, изготовление, эксплуатацию и ремонт. Разработка на технологичность ведётся комплексно, учитывая зависимость технологичности исходной заготовки детали, каждого вида обработки в технологическом процессе изготовления, технологичности сборочной единицы, куда деталь входит как составная часть.

Третью группу ГОСТ ЕСТПП составляют правила разработки и применения технологических процессов и средств технологического оснащения.

Первый из них устанавливает общие правила разработки технологических процессов. Очень важной установкой является требование, чтобы разрабатываемый технологический процесс для изготовления или ремонта изделия соответствовал достижениям науки и техники, был прогрессивным и обеспечивал повышение производительности труда и качества изделий, сокращение трудовых и материальных затрат на его реализацию, уменьшение вредных воздействий на окружающую среду. Основные этапы разработки технологического процесса: анализ исходных данных; выбор действующего типового, группового технологического процесса или поиск аналога единичного процесса; выбор исходной заготовки и методов её изготовления; выбор технологических баз; составление технологического маршрута обработки; разработка технологических операций; нормирование технологического процесса; определение требований по технике безопасности; расчёт экономической эффективности; оформление технологических процессов.

Следующий ГОСТ устанавливает правила разработки и применения типовых технологических процессов. Согласно его требованиям, типовой технологический процесс должен быть рациональным в конкретных производственных условиях, характеризоваться единством содержания и последовательности большинства технологических операций для группы изделий, обладающих общими конструктивными признаками.

Типовые технологические процессы разрабатывают на основе анализа множества действующих и возможных технологических процессов на типовые представители групп изделий. Типизация должна обеспечивать устранение многообразия технологических процессов обоснованным сведением их к ограниченному числу типов и являться базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы. Типизация базируется на классификации объектов производства.

Исходная информация для разработки типовых технологических процессов разделяется на базовую, руководящую и справочную. Базовая информация включает данные, содержащиеся в конструкторской документации

на изделие, и программу выпуска этого изделия. Руководящая информация включает данные, содержащиеся в стандартах всех уровней на технологические процессы и методы управления ими, оборудование и оснастку, документации на перспективные технологические процессы, производственные инструкции. Справочная информация включает данные, содержащиеся в документации на действующие типовые технологические процессы по данному виду обработки, описания прогрессивных методов обработки, каталогах, номенклатурных справочниках прогрессивного технологического оборудования и оснастки, материалах по выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков, норм расхода материала и др.), прогнозах научно-технического прогресса и планах повышения технического уровня производства, методических материалах по управлению и расчётам точности технологических процессов.

Разработка типовых технологических процессов разделяется на этапы: классификация объектов производства; количественная оценка групп объектов производства; анализ конструкций типовых представителей объектов производства по чертежам и техническим условиям, программ выпуска и типа производства; выбор заготовки и методов её изготовления; выбор технологических баз; выбор вида обработки (литьё, обработка давлением, механическая обработка резанием и др.); составление технологического маршрута обработки; разработка технологических операций; расчёт точности, производительности и экономической эффективности вариантов типовых технологических процессов; оформление типовых технологических процессов.

Документация на типовые технологические процессы в зависимости от конкретных задач технологической подготовки производства применяется в качестве рабочей документации на изготовление изделий; информационной основы при разработке рабочих технологических процессов; исходной базы при разработке стандартов на типовые технологические процессы; исходной базы при формировании информационных фондов различных уровней.

Отдельным ГОСТом определены правила выбора технологического оборудования для реализации технологических процессов. Они обязательны при: отработке конструкции на технологичность; разработке и совершенствовании технологических процессов изготовления изделия; решении задач организации и управления процессом технологической подготовки производства (в части применения правил, норм, методов и средств, обеспечивающих выбор, проектирование, изготовление, комплектацию и эксплуатацию парка технологического оборудования); разработке соответствующей документации по организации на вновь вводимых и совершенствованию на действующих предприятиях технологической подготовки производства на всех стадиях; решения задач проектирования и изготовления средств технологического оснащения. Выбор технологического оборудования основывается на анализе затрат, который предусматривает: сравнение вариантов оборудования, отвечающих одинаковым требованиям и

обеспечивающих решение одинаковых задач в конкретных производственных условиях; выбор вариантов; учёт требований техники безопасности и промышленной санитарии. Основное правило выбора технологического оборудования состоит в минимизации отношений основных и штучных времён, отношений приведённых затрат на выполнение работ различными методами.

Основные правила выбора технологической оснастки ГОСТ определяет в основном теми же критериями, что и при выборе технологического оборудования. В этом случае оптимизируемыми показателями являются: коэффициент загрузки единицы технологической оснастки; затраты на оснащение технологической операции.

Определяемые ГОСТом правила выбора средств технологического оснащения процессов технического контроля по основным параметрам соответствуют двум предыдущим ГОСТам, но при анализе характеристик объекта, контроля и показателей процесса контроля (с целью оптимизации) должны учитываться: вид объекта контроля (деталь, сборочная единица, технологический процесс); вид контролируемого параметра (геометрический размер, физический параметр, форма и др.); номинальные значения и допуски на контролируемые параметры; допустимая погрешность измерения; конструктивные особенности изделия; измерительная база; масса объекта контроля; повреждаемость (деформируемость) при контроле; условия рабочего места; транспортабельность; производительность; наличие средств контроля на заводе; условия выдачи результатов контроля; стоимость средств контроля; квалификация контролёра; целесообразность проектирования специальных средств контроля. В указанном стандарте приведены термины и определения к ним, расчёт экономической эффективности выбираемого средства контроля, перечень обозначений и их размерности.

Правила выбора средств технологического оснащения процессов испытаний выделены в отдельный ГОСТ. В нём приведены: метод выбора оптимального варианта средств испытаний; описание алгоритма оптимизации выбора средств испытаний; пример численного решения задачи.

Как известно, один из показателей качества продукции – сохраняемость, предусматривает и правильную транспортировку продукции. Следовательно, выбор средств механизации и автоматизации процессов перемещения тарно-штучных грузов так же подлежат разработке в рамках технологической подготовки производства и в единой системе ТПП, соответствующие правила представлены отдельным ГОСТом. Эти правила обязательны при разработке: генерального плана предприятия, проектировании производственных корпусов, цехов и складов, разработке процессов перемещения; самостоятельных проектов механизации и автоматизации процессов перемещения для действующих производств; разработке и совершенствования технологических процессов изготовления изделий в части определения номенклатуры и количества средств механизации и автоматизации процессов перемещения; решения задач организации и управления процессом технологической

подготовки производства. К этому же показателю качества относится ГОСТ, определяющий правила организации процессов перемещения и складирования тарно-штучных грузов.

Автоматизация управления технологическим процессом получила широкое распространение. Вначале это была обычная «технологическая автоматика» с автоматическими контрольно-измерительными приборами, затем в 1961 году появились машины множественного контроля и регулирования, для управления технологическими процессами стали применять управляющие электронные вычислительные машины. Появились предпосылки для создания системы автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП). В настоящее время АСУ ТП уже нельзя считать новинкой, поэтому значительное количество ГОСТ ЕСТПП посвящено регламентации этого направления технологии.

ГОСТ «Правила применения средств механизации и автоматизации технологических процессов» констатирует, что механизация технологических процессов должна быть направлена на частичную или полную замену ручного труда человека машинным в той части технологического процесса, где происходит непосредственное изменение состояния формы или качества изделий с сохранением участия человека в управлении машинами. Автоматизация должна быть направлена на передачу машине и приборам функций управления, ранее выполнявшихся человеком. Последнее очень важно, поскольку качество изготавливаемых изделий, особенно авиационной и ракетно-космической техники, в подавляющем большинстве случаев соблюдается «технологически». Это значит, что качество изделия гарантировано в случае абсолютно точного соблюдения всей технологии изготовления. А человек в этой цепочке последовательного изменения состояния формы или качества изделий - наиболее «слабое» звено. Человек может ошибиться. Машина, при правильной эксплуатации – никогда.

Указанные правила содержат качественную и количественную оценку состояния механизации и автоматизации технологических процессов, а также порядок обработки информации при выборе средств автоматизации и механизации.

В отдельном ГОСТе изложены правила организации разработки средств технологического оснащения.

Успех качественной технологической подготовки производства в подавляющей доле определяется её организацией. ГОСТом установлены основные формы организации технологических процессов, их систематизация и факторы, влияющие на их выбор. Установлены две формы организации технологических процессов: групповая и поточная. Групповая форма организации характеризуется однородностью конструктивно-технологических признаков изделий, единством средств технологического оснащения одной или нескольких технологических операций и специализацией рабочих мест. Поточная – специализацией каждого рабочего места на определённой

операции, согласованным и ритмичным выполнением всех операций технологического процесса на основе постоянства такта выпуска, размещением рабочих мест в последовательности, строго соответствующей технологическому процессу.

Факторы, определяющие форму организации технологического процесса, и соответствующие ей характеристики выбираются в следующем порядке: определяют виды изделий; группируют изделия по общности конструктивно-технологических признаков; устанавливают тип производства изделий и их составных частей; учитывают программу выпуска каждого изделия и календарные сроки их выпуска; определяют длительность производственных процессов и наладок технологического оборудования; определяют требуемое количество оборудования и коэффициенты его загрузки; определяют показатель относительной трудоёмкости.

Два ГОСТа определяют требования к организации автоматизированного решения задач обеспечения производства оборудованием и оснасткой. В каждом из них приведены алгоритмы соответствующих расчётных процедур.

С целью экономии целесообразного применения методов и средств крупносерийного и массового производства в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства разрабатываются групповые технологические процессы. По ГОСТу групповой технологический процесс предназначен для совместного изготовления или ремонта группы изделий различной конфигурации в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах. Обязательным этапом, предшествующим разработке групповых технологических процессов, является группирование предметов производства по технологическому подобию с учётом основных факторов организации производства.

Основными этапами разработки группового технологического процесса являются: анализ исходных данных; группирование изделий; количественная оценка групп предметов производства; разработка маршрута; разработка групповых технологических операций; расчет точности, производительности и экономической эффективности вариантов групповых технологических процессов; нормирование технологического процесса; разработка технических мероприятий для реализации группового производства; оформление документации на групповые технологические процессы и операции.

Каждый этап технологического процесса, как правило, завершается процессом контроля. Контроль является неотъемлемой составной частью технологического процесса изготовления и ремонта изделия. ГОСТ так же регламентирует правила разработки процессов контроля: основные положения; этапы разработки процессов и операций, перечень основных задач на этапах их разработки при технологической подготовке производства. Под процессом технического контроля понимается совокупность технологических операций технического контроля, выполняемых при изготовлении и ремонте изделия или его составной части.

Процессы и операции технического контроля разрабатываются для: входного контроля материалов, заготовок, полуфабрикатов, комплектующих деталей и сборочных единиц; операционного контроля деталей и сборочных единиц; приёмочного контроля изделий. Процессы (операции) технического контроля разрабатываются вместе с технологическим процессом изготовления и ремонта изделия с обеспечением необходимой взаимосвязи и взаимодействия между ними. При разработке процессов (операций) контроля должно обеспечиваться единство конструкторских, технологических и измерительных баз.

Операции технического контроля должны предусматривать получение информации для регулирования технологического процесса, а также обеспечивать предупреждение с заданной вероятностью пропуска дефектных материалов, заготовок, полуфабрикатов, деталей и сборочных единиц для последующего изготовления и ремонта изделия.

При разработке процессов технического контроля должно обеспечиваться: внедрение прогрессивных методов контроля и оценки качества продукции, в том числе неразрушающих, автоматических и статистических методов контроля, а также статистических методов регулирования технологических процессов, анализа и оценки качества продукции, средств механизации и автоматизации контроля; систематическое повышение производительности труда; снижение трудоёмкости контроля с тяжёлыми и вредными условиями труда; требование минимальной численности исполнителей контроля при возможно невысокой квалификации; сокращение трудоёмкости подготовительно-заключительных работ по техническому контролю; возможность совмещения операций изготовления и технического контроля.

Порядок разработки процессов контроля (операций) технического контроля предусматривает следующие этапы: подбор и анализ исходных материалов; классификация объектов контроля; выбор объектов контроля; группирование объектов контроля по метрологическим признакам; группирование объектов контроля; количественная оценка групп изделий (объектов контроля); выбор действующего типового, группового процесса технического контроля или поиск аналога единичного процесса технического контроля; составление технологического маршрута; выбор контролируемых параметров; разработка технологических операций; определение объекта контроля; выбор схем контроля; выбор метода технического контроля; контроль; выбор средств контроля; расчет точности, производительности и экономической эффективности вариантов процессов (операций); оформление документов на процессы (операции); разработка документации результатов контроля.

ГОСТ устанавливает виды и применение технического контроля. По этапу процесса производства устанавливаются виды: входной; операционный; приёмочный. По полноте охвата контролем: сплошной; выборочный; непрерывный; периодический; летучий.

Входной контроль предназначен для проверки соответствия поступивших на предприятие и его подразделения покупных изделий требованиям, установленным в стандартах, технических условиях, договорах о поставках. Операционный контроль применяется для проверки количественных и качественных характеристик технологических процессов путём проверки соответствия деталей и сборочных единиц в процессе изготовления и ремонта предъявляемым к ним требованиям. Приёмочный контроль – проверка соответствия готовых изделий установленным требованиям, в том числе комплектности, упаковке, консервации, пригодности к транспортированию и использованию. Сплошной контроль применяется в условиях: высоких требований к уровню качества изделий, у которых абсолютно недопустим пропуск дефектов в дальнейшее производство или эксплуатацию; количество объектов контроля недостаточно для получения выборок или проб с установленными рисками для потребителей; качество исполнения не может быть проверено на последующих этапах производства, а также для продукции на стадии освоения её на производстве; технологический процесс (оборудование) не обеспечивает необходимую стабильность качества изготовления изделий. Выборочный контроль применяется: для изделий, если их количество достаточно для получения выборок или проб с установленным риском для изготовителя и потребителя; при большой трудоёмкости контроля; при контроле, связанном с разрушением изделия (разрушающий контроль) или с операциями, выполняемыми на автоматических, полуавтоматических и поточных линиях, на автоматизированных технических комплексах, при обработке на станках с числовым программным управлением. При выборочном контроле пользуются статистическими методами контроля. Непрерывный контроль – проверка технологических процессов при их нестабильности и необходимости постоянного обеспечения количественных и качественных характеристик. Он осуществляется в основном автоматическими и полуавтоматическими средствами контроля. Периодический контроль – проверка технологических процессов при их стабильности и установившемся производстве. Летучий контроль применяется в особых случаях, установленных в стандартах предприятий.

В зависимости от объекта контроля (материал, полуфабрикат, заготовка, деталь, сборочная единица, комплекс, комплект, технологический процесс) определяется следующий состав контролируемых признаков: марка материала, геометрические параметры, физико-химические параметры, внешние и внутренние дефекты, клейма, качественные или количественные характеристики технологического процесса.

Основным требованием к техническому контролю является то, что он должен охватывать весь технологический процесс и его результаты, предотвращать попадание дефектных материалов, полуфабрикатов, заготовок, деталей и сборочных единиц на последующие этапы изготовления или ремонта.

Групповое производство по изготовлению авиационной техники является, как правило, единичным, мелко- и среднесерийным. Для таких производств ГОСТ устанавливает общие положения, основные правила организации и технико-экономической оценки. Они применяются при проектировании новых, реконструкции и техническом перевооружении действующих предприятий, при создании или совершенствовании системы технологической подготовки производства с целью повышения основных технико-экономических показателей производственной деятельности предприятий и уровня качества выпускаемой продукции за счет применения методов и средств, свойственных крупносерийному и массовому производствам. Групповое производство характеризуется групповой формой организации технологических процессов, целевой специализацией производственных подразделений или предприятия в целом для совместного изготовления (ремонта) на специализированных рабочих местах групп изделий, обладающих общими технологическими признаками. Такая форма организации целесообразна во всех видах основного и вспомогательного производства (литейном, кузнечно-прессовом, листоштамповочном, сварочном, обработкой резанием, термическом, сборочном и других).

Для организации группового производства наиболее целесообразны следующие формы специализации производственных подразделений: поддетальная – для изготовления деталей по группам технологически однородных деталей; узловая – для сборки по группам технологически однородных сборочных единиц. К специализированным подразделениям группового производства на предприятии могут быть отнесены: цехи группового производства; участки группового производства; групповые поточные линии.

Основными этапами работ по организации группового производства являются: анализ производственных условий предприятия; классификация и группирование изделий; разработка перспективного плана и технических заданий на организацию или совершенствование группового производства; совершенствование организации технологической подготовки производства; разработка проектов специализированных подразделений группового производства; изготовление и отладка средств технологического оснащения и оснастки; создание специализированных подразделений и организация группового производства.

ГОСТ устанавливает основные признаки и группировки конструкторско-технологической классификации видов соединений и сборки, которые применяются при технологической подготовке сборочного производства. Классификация видов соединений производится по следующим основным признакам: целостность соединения (разъёмное, неразъёмное); подвижность составных частей (подвижное, неподвижное); форма поверхностей (плоское, цилиндрическое, коническое, сферическое, винтовое, профильное, комбинированное); метод образования соединения (резьбовое, клиновое,

шпоночное, шлицевое, штифтовое, шплинтовое, клёпаное, фланцевое, шарнирное, прессовое, фальцованное, развальцованное, сварное, паяное, клеёное, контактное, термоусаживаемое, гвоздевое, замковое, пружинное, сшивное, комбинированное).

Классификация видов сборки по: объекту – узловая и общая; стадии – предварительная, промежуточная и окончательная; организации производства – типовая поточная с использованием транспортных средств, типовая поточная без использования транспортных средств, групповая поточная с использованием транспортных средств, групповая поточная без использования транспортных средств, групповая непоточная и единичная; последовательности – последовательная, параллельная и последовательно-параллельная; подвижности объекта – подвижная с непрерывным перемещением, подвижная с периодическим перемещением и неподвижная (стационарная); механизации и автоматизации – автоматическая, автоматизированная, механизированная и ручная; точности – с полной взаимозаменяемостью, с неполной взаимозаменяемостью, с групповой взаимозаменяемостью, с пригонкой, с регулированием и с компенсирующими материалами.

3. Средства механизации и автоматизации инженерно-технических работ. Основы проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами

В отдельную группу ГОСТ единой системы технологической подготовки производства выделены правила применения технических средств механизации и автоматизации инженерно-технических работ [15].

ГОСТ определяет общие положения и правила организации работ по механизации и автоматизации решения инженерно-технических задач и задач управления технологической подготовкой производства, границы использования средств вычислительной техники при механизации и автоматизации решения задач, состав основных показателей для обоснования необходимости проведения и выбора целесообразного уровня механизации и автоматизации. Объектами механизации и автоматизации в технологической подготовке производства являются: проектирование технологических процессов и средств технологического оснащения; решение инженерно-технических задач; решение задач управления; информационный поиск деталей-прототипов, сведений о процессах их обработки и средств технологического оснащения для заимствования; разработка программ для оборуования с программным управлением.

Механизации и автоматизации подлежат процессы сбора, подготовки, обработки, передачи, представления и размножения информации. Механизация и автоматизация должна быть обусловлена экономической целесообразностью и обеспечивать: выбор оптимального в данных конкретных условиях варианта решения задач; необходимую точность решения задач; сокращение сроков решения задач; рациональное формирование первичной информации; рациональную обработку информации; максимальное использование

эксплуатационных возможностей всех технических средств механизации и автоматизации. К техническим средствам механизации и автоматизации относятся средства: сбора, передачи и представления информации; подготовки информации; ввода-вывода данных; обработки информации; оформления и размножения информации; связи.

Механизация и автоматизация являются составной частью работ по созданию комплексной автоматизированной системы технологической подготовки производства. ГОСТом определены правила организации работ по механизации и автоматизации.

ГОСТ данной группы включает в себя стандарты, определяющие: состав и порядок разработок автоматизированной системы технологической подготовки производства (ТПП); правила выбора объекта автоматизации ТПП ; правила определения уровня автоматизации решения задач ТПП; правила определения очередности автоматизации решения задач ТПП; постановку задачи для автоматизированного решения; требования к информационно поисковым языкам; формирование информационных массивов; требования к информационно-поисковым системам технологического назначения; правила выбора технических средств сбора, передачи и обработки информации; классификацию информационно-поисковых систем технологического назначения; требования к программному обеспечению информационно-поисковых систем технологического назначения; общие требования к банку данных технологического назначения; назначение и правила разработки автоматизированных информационно-поисковых систем технологического назначения; общие требования к языку для поисковых систем конструкторско-технологического назначения; организацию автоматизированного технологического проектирования. Ниже приведены вытекающие из ГОСТа основные сведения по проектированию автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Автоматизация управления технологическим процессом основана на обычном управлении, а управление зависит от самого производства. Поэтому специалистам, занимающимся АСУ ТП, приходится обращаться к вопросам, связанным с производством, технологическими процессами и управлением. Управление – совокупность действий, выбранных на основе определенной информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования объекта с имеющейся программой (алгоритмом) и с целью функционирования. В управлении имеются три особенности: информационный характер процесса управления; стремление принимать наилучшие решения; наличие обратной связи.

Управление производством – информационный процесс, обеспечивающий выполнение какого-либо материального или информационного процесса и достижение им определенных целей. Производством управляют люди. В процессе управления они воздействуют на людей. Труд по управлению производством направлен не на непосредственное изготовление материальных

благ и оказание услуг, а на руководство другими работниками. Продукт труда в управлении производством – информация.

Управление технологическим процессом – информационный процесс, обеспечивающий выполнение какого-либо материального процесса и достижение им определенных целей. Технологическим процессом также управляют люди, но они воздействуют на «вещи» - средства производства и предметы труда. В этом коренное отличие управления технологическим процессом от управления производством. Средством труда в современном производстве является машина. В системе человек-машина человек является субъектом управления, а машина – объектом управления. Человек получает данные о работе машины, о её состоянии, о наличии и качестве сырья, материалов и готовой продукции, сравнивает их с плановыми и нормативными данными, принимает решение и передаёт его машине, изменяя режим её работы. Автоматизация управления технологическим процессом может свести к минимуму долю труда человека, однако, независимо от уровня автоматизации суть процесса не изменяется – управление осуществляется человеком. При этом труд по управлению технологическим процессом направлен на производство материальных благ или услуг, а не на руководство другими работниками.

Продукт труда в управлении технологическим процессом – продукт производства или услуга. Это второе коренное отличие управления технологическим процессом от управления производством. При этом даже в самом коротком цикле управления производством имеется несколько циклов управления технологическим процессом. Только в управлении технологическим процессом можно создать автоматические системы с замкнутой обратной связью. На тех уровнях управления, где осуществляется управление людьми, автоматическое управление невозможно.

Управление технологическим процессом: комплекс мероприятий, обеспечивающих повышение эффективности производства в соответствии с выбранным критерием (критериями) оптимальности при заданных технологических, экономических и других производственных ограничениях. Основными критериями эффективности управления являются: повышение производительности труда, улучшение качества продукции, экономия материальных ресурсов, снижение себестоимости, улучшение условий труда и культуры производства.

В АСУ ТП применяются только управляемые технологические процессы – процессы, для которых установлены входные управляющие воздействия и выходные параметры и зависимости между ними, определены методы изменения входных воздействий и выходных параметров и методы управления процессом. Управляемыми переменными процесса являются параметры технологического процесса, состояние средств технологического оснащения и технико-экономические показатели производства изделий.

Система управления – комплекс организационно-экономических и технических решений, обеспечивающих жизнедеятельность какой-либо

организации или процесса и достижение ими определенных целей. Система управления включает правила поведения, внешнюю и внутреннюю тактику и стратегию, организацию работы и взаимосвязи технических средств и систем между собой и другими системами, выбор и описание потоков информации, используемой для управления. Система управления состоит из организационно-экономической и технической системы управления, причём наличие последней не обязательно. Если используется техническая система управления или набор технических средств, то система называется автоматической или автоматизированной в зависимости от достигнутого уровня автоматизации.

Управление технологическим процессом может охватывать отдельные операции, отдельные участки или процесс в целом. Структура управления производством и структура технологического процесса не совпадают, однако они взаимосвязаны. Определяющим фактором является технология. При этом структура управления производством может не соответствовать технологии и тормозить её развитие.

Основные функции управления технологическим процессом можно реализовывать ручными методами, механизированными, автоматизированными и автоматическими. При ручных методах управления оператор затрачивает физический и умственный труд. Использование механических методов управления предполагает применение оператором оборудования, которое частично или полностью заменяет его физический труд, необходимый для управления. При автоматизированных методах управления технологическим процессом применяется оборудование, обеспечивающее частичную или полную замену физического труда, а также частичную замену умственного труда оператора по управлению технологическим процессом. Автоматические методы управления технологическим процессом предполагают использование современного оборудования, позволяющего полностью или почти полностью заменить физический и умственный труд оператора по непосредственному контролю и оперативному управлению объектом, оставляя оператору контроль за работой оборудования и процессом.

Операции в управлении технологическим процессом связаны со спецификой управляемого процесса на операциях: подготовительных, пусковых, сбора данных, накопления и обзора данных, анализа ситуации, подготовки и принятия решений, реализации решений (регулирование и управление), операции по останову, заключительные операции, получение информации от руководства и смежников, подготовка информации для передачи руководству и смежникам. Управление осуществляется на основании получаемой информации. Состояние технологических объектов находит отражение в особом виде информации - параметрах. Параметр в технике – величина, характеризующая какое-либо свойство процесса, явления, системы, технического устройства.

По основным свойствам параметры классифицируются на качественные и количественные. Качественные параметры, оцениваемые, как правило,

органолептически имеют субъективный характер и редко могут быть получены с помощью технических средств. Это ограничивает их применение в АСУ ТП. Количественные параметры получают в результате измерения, дающего непосредственную числовую характеристику. Так как практически все измерения, связанные с задачами контроля технологических процессов, представляют собой измерения меняющихся во времени физических величин, то измерение параметров сводится к измерению физических величин. Регистрируются не непосредственно сами физические величины, а измерительные сигналы параметров. Под сигналом понимают материальный носитель информации, который несёт информацию в виде отражения физического процесса. Поэтому параметры технологического процесса как отражение свойств этого процесса определяются измерительными сигналами, несущими информацию о процессе. Параметры могут быть непрерывными, дискретными и квантованными. Квантованный параметр характеризуется величиной, имеющей в заданном диапазоне ограниченное число значений. По цели извлечения параметры классифицируются на: управления, идентификации, измерения, контроля и счёта. По отношению к технологическому процессу: входные, промежуточные и выходные.

Для управления, кроме параметров, необходимы обобщённые показатели состояния управляемых объектов. К таковым относятся, например, технико-экономические показатели. К таким показателям относятся, например, различные оценки, в том числе стимулирующие оценки. Выбирая определённые характеристики в качестве критериев качества работы персонала, система управления стимулирует работу персонала, направляет её по определённому руслу, добивается выполнения заранее заданных условий. Оценки необходимы для выполнения и других функций управления – планирования, учёта, контроля. Такие показатели называются технико-экономическими (ТЭП). ТЭП – система измерителей, характеризующая материально-производственную базу предприятий и комплексное использование ресурсов.

Процесс управления так же, как и производственный процесс может быть расчленен на отдельные операции, этапы, фазы. Управление, так же как и производственный процесс, поддаётся формализации и может быть описано различными способами. Сложность структуры любого объекта определяется числом элементов и связей между ними.

Автоматизированное управление технологическими процессами включает следующую базовую терминологию:

- механизация производственного процесса – замена физического труда человека работой механизмов, получающих энергию из каких-либо источников;
- автоматизация производственного процесса – замена физического труда человека, затрачиваемого на управление механизмами и машинами, работой специальных устройств, обеспечивающих это управление;

- автоматизация управления - замена физического и умственного труда человека, затрачиваемого на управление, работой технических средств, обеспечивающих выполнение определённых управленческих работ с заданной производительностью и качеством без вмешательства человека, за которым остаются только функции наблюдения и подготовки технических средств к работе;

- автоматизированная система – понятие, имеющее двойной смысл, с одной стороны под ней понимается организационная система, использующая технические устройства, с другой, понятие используется для пояснения совершенства технической системы управления;

- техническая система управления – совокупность технических средств, имеющих между собой информационные связи, а также независимые средства организационной техники, используемые для управления производственными или другими процессами по правилам и методике, предусмотренной в соответствующей организационной системе управления;

- автоматическая система управления – разновидность системы управления, включающая технические средства, которые обеспечивают автоматический сбор, обработку информации, в том числе принятие решения и реализацию принятого решения.

- непрерывные системы (аналоговые) – системы, в которых входные сигналы действуют непрерывно в течение всего времени работы системы;

- дискретные (импульсные) системы – с прерывистым воздействием сигнала на входе.

Усложнение технологических процессов, увеличение скоростей передвижения и скоростей выполнения технологических операций, увеличение мощностей производства означает увеличение выпуска продукции в единицу времени. Если скорость управления остаётся постоянной, то качество управления падает, ибо управление, как бы, не успевает за производством. Таким образом, научно-технический прогресс создает факторы, направленные на снижение качества управления. Но он же создает и предпосылки для повышения качества управления за счет автоматизации управления. Качество управления определяется тремя основными факторами: выбором эффективного решения, своевременностью его принятия и возможностью реализации этого решения. Сложность управления технологическим процессом определяется суммарными потоками информации, сложностью их обработки и использования результатов. Стоимость управления является одним из важных показателей управления. В управлении технологическим процессом проблема стоимости вычислительной техники решается путём использования сравнительно дешевых специализированных машин.

Автоматизация управления стала возможна благодаря наличию современных технических средств, математического и организационного обеспечения, а так же благодаря экономичности автоматизации управленческих процессов и гибкости производственной информации. Она основана на ряде

принципов организации управления без автоматизации и частично или полностью использует основные принципы организации производственного процесса.

Принцип специализации - закрепление за каждым производственным подразделением, за каждым участком, вплоть до рабочего места, ограниченной номенклатуры работ, минимально возможного числа операций.

Принцип пропорциональности – все производственные основные и вспомогательные подразделения должны иметь пропорциональную производительность в единицу времени. Несоблюдение этого принципа приводит к появлению «узких мест», когда объём продукции или услуг тех или иных подразделений оказывается недостаточным для выполнения производственных заданий и тормозит дальнейшее развитие производства.

Принцип параллельности – одновременное выполнение отдельных частей производственного процесса, этапов, фаз, операций расширяет фронт работ и резко сокращает продолжительность производственного цикла. Параллельность проявляется во многих формах – в структуре технологических операций, в совмещении основных и вспомогательных операций, в одновременном выполнении нескольких технологических операций и т.п.

Принцип прямоточности – изделие, изготавливаемое предприятием в процессе производства следует пропускать по всем фазам и операциям производственного процесса – от запуска исходного материала до выпуска готовой продукции по кратчайшему пути без встречных и возвратных движений. Соблюдение этого принципа реализуется в расположении зданий, сооружений, цехов, участков, рабочих мест, станков и в построении технологического процесса.

Принцип непрерывности – перерывы в производстве необходимо устранять. Это относится ко всем перерывам, в том числе операционным, междуоперационным, внутрисменным, междусменным. Машины или системы тем совершеннее, чем выше степень непрерывности их рабочего процесса. Организация производственного процесса тем совершеннее, чем выше степень достигнутой в нём непрерывности.

Принцип ритмичности – производственный процесс должен быть так организован, что бы в равные интервалы времени выпускались равные или возрастающие количества продукции и через эти интервалы времени повторились все фазы и операции процесса.

Для автоматизированного управления имеются и специфические принципы организации.

Повышение экономической эффективности производства – при несоблюдении этого принципа автоматизация становится неэкономичной и нецелесообразной.

Общее упорядочение – в процессе создания АСУ ТП и при её функционировании на предприятии происходят интенсивные процессы упорядочения. Упорядочивается всё – технология и процессы управления,

структура и потоки информации, методы управления и обязанности должностных лиц.

Принцип соответствия – обеспечение гармоничного соответствия между потребностями автоматизируемого объекта и возможностями АСУ ТП.

Принцип единообразия – он означает унификацию и стандартизацию элементов АСУ ТП. Это упрощает и удешевляет процессы проектирования, процессы эксплуатации и облегчает преемственность при создании новых АСУ.

В АСУ ТП значительную роль играет рациональное решение проблемы декомпозиции систем управления. Основная цель декомпозиции – разделение системы на части, имеющие меньшую сложность, с целью обеспечения условий для анализа и синтеза подсистем, для проектирования, построения, внедрения, эксплуатации и совершенствования систем управления. Систему разделяют на части таким образом, чтобы подсистемы поддавались какой-либо классификации, например, по функциям управления, по иерархии управления и др. Это обеспечивает унификацию подходов к подсистемам. Необходимо учитывать естественную декомпозицию, которая находит своё выражение в существующей структуре управления. АСУ ТП должна быть спроектирована таким образом, что бы все подсистемы её имели свои локальные цели, выбранные в соответствии с общей целью системы. Проблемной является также декомпозиция критерия, т.е. нахождения критериев субоптимальности – критериев функционирования подсистем. Проблема декомпозиции ставит и другие задачи: оценка субоптимальности действия подсистемы – степени отклонения получаемых результатов от оптимальной потребности системы в целом; агрегатирование подсистем; выбор стратегии функционирования; оценки надёжности функционирования подсистем и обмена информацией между ними и др.

Декомпозиция позволяет выделить следующие подсистемы АСУ: структурные - соответствующие структурному построению объекта; функциональные - соответствующие отдельным функциям управления; этапные - соответствующие этапам деятельности; элементные – подсистемы, отражающие человеко-машинную сущность (подсистемы человеческих факторов, информации, технического обеспечения).

АСУ ТП имеет следующие основные виды обеспечения: оперативный персонал; организационное обеспечение (включает описание функциональной, технической и организационной структур системы, инструкции и регламенты для оперативного персонала); информационное обеспечение содержит описание всех сигналов и кодов, используемых для связи технических средств; программное обеспечение включает общее программное обеспечение, специальное программное обеспечение (совокупность программ, реализующих функции конкретной системы и обеспечивающих функционирование комплекса технических средств, в том числе аппаратным путём); техническое обеспечение – средства получения информации о состоянии объекта управления и средства ввода данных в систему, средства формирования и

передачи информации в системе, средства локального регулирования и управления, средства вычислительной техники, средства представления информации оперативному персоналу системы, исполнительные устройства, средства передачи информации в смежные и вышестоящие АСУ, отдельные средства оргтехники, приборы и устройства, комплекты запасных приборов и устройств.

Сложность объекта проектирования приводит к тому, что система создания АСУ ТП и процесс её проектирования также являются достаточно сложными. Они основаны на принципах системного подхода. Системный подход – понятие, подчеркивающее значение комплексности, широты охвата и четкой организации в исследовании, проектировании и планировании. Системный подход отличается от традиционного предположением, что целое обладает такими качествами, каких нет у его частей. Системный подход к проектированию АСУ ТП заключается в разбиении всей системы на подсистемы (декомпозиция) и учете при ее разработке не только свойств конкретных подсистем, но и связей между ними.

В основе научных направлений исследования и проектирования систем лежат многие фундаментальные науки. Общая теория систем – научное направление связано с разработкой совокупности философских, методологических, научных и прикладных проблем анализа и синтеза сложных систем произвольной природы. Сложная система – собирательное название систем, состоящих из большого числа взаимоувязанных элементов. Часто сложными называют системы, которые нельзя корректно описать математически, либо потому, что в системе имеется очень большое число различных элементов, неизвестным образом связанных друг с другом, либо потому, что мы не знаем природы явлений, протекающих в системе, и поэтому не можем количественно их описать.

Системотехника – данная наука представляет собой направление в кибернетике, изучающее вопросы планирования, проектирования и поведения сложных информационных систем. Особое значение в системотехнике имеет системный подход, который проявляется в ряде принципов конструирования сложной системы. Главным, фундаментальным принципом является принцип максимума эффективности. Критерием эффективности является отношение показателей ценности результатов, полученных в результате функционирования системы, к показателю затрат на её создание. С помощью принципа эффективности сформулирован основной метод проектирования систем: единая система разделяется на части по функциональному принципу, устанавливаются возможные варианты реализации этих частей, связей между ними и на заданном множестве вариантов выбирается структура системы, отвечающая требованиям максимума математического ожидания эффективности. Имеются и другие важные принципы конструирования АСУ ТП. Принцип согласования (субоптимизации) частных (локальных) критериев эффективности между собой и общим (глобальным) критерием. Улучшение

работы одной подсистемы, не согласованное в общем плане, может привести к снижению эффективности системы в целом. Принцип оптимума автоматизации – уровень автоматизации необходимо обосновывать исходя из критериев эффективности. Не все задачи должны решаться автоматически. Принцип централизации информации – АСУ ТП эффективна, если информация собирается и хранится в едином банке данных. Принцип явлений с малой информацией – основную задачу АСУ ТП пересматривать нельзя.

Исследование операций – это научное направление в исследовании и проектировании систем основано на математическом моделировании процессов и явлений.

Системный анализ – это научное направление является методологией исследования трудно наблюдаемых и трудно понимаемых свойств и отношений в объектах, заключающейся в представлении этих объектов в качестве целенаправленных систем и изучения этих систем и взаимоотношений между целями и средствами их реализации.

АСУ ТП являются сложными иерархическими системами управления и для методологии их проектирования существуют определенные принципы: прогнозирования – управляющие воздействия верхнего уровня распределяются между подсистемами нижнего уровня таким образом, что каждая из подсистем становится автономной относительно других подсистем этого уровня. Принцип оценки взаимодействий регулирует задачи координации подсистем. Принцип согласования регулирует задачи организации связующих сигналов между подсистемами.

Проектирование АСУ ТП при технологической подготовке производства производится в целях экономии – уменьшения затрат производственных ресурсов на производство готовой продукции или работы. Если АСУ управления производством могут быть эффективны для любого предприятия, так как объём автоматизации управления может быть соизмерен с требованиями предприятия в зависимости от его специфики, то при создании АСУ ТП положение другое. Капитальные вложения могут поставить барьер экономической целесообразности создания АСУ ТП в силу, например, низкой рентабельности автоматизируемого процесса. Повышение рентабельности может быть достигнуто за счет экономичности информации, организации, математического обеспечения и технических средств.

Эффективность АСУ ТП может рассматриваться лишь в случае обеспечения её надёжности. Особенности АСУ ТП как объекта исследования надёжности являются: сложность, многофункциональность, многонаправленность использования элементов в системе, множественность видов отказов, взаимосвязь надёжности и экономической эффективности, зависимость надёжности от технической эксплуатации, нетранспортабельностью, несохраняемостью, зависимостью надёжности от надёжности её составных частей и структуры алгоритмов, влиянием персонала на надёжность. Поэтому программа обеспечения надёжности АСУ ТП

включает весь комплекс работ, производимых на всех этапах разработки и эксплуатации системы. Одним из первых этапов при исследовании надёжности АСУ ТП является построение надёжных моделей, формально отображающих свойства системы в отношении надёжности выполнения её функций.

Интегральными показателями оценки уровня экономического потенциала системы, системотехнического уровня, уровня охвата автоматизацией задач управления и качества продукции являются научно-технический и технико-экономический уровни АСУ ТП. Различают: идеальный (потенциальный) уровень, когда достигается экстремум; проектный, который определяется условиями создания и функционирования конкретной АСУ ТП и являющийся минимально необходимым для возмещения затрат на разработку и эксплуатацию системы; достигнутый, определяемый значениями показателей элементов и условиями работы АСУ ТП, выявленными в результате анализа функционирования АСУ ТП в производственных условиях. В отличие от научно-технического уровня технико-экономический уровень отражает не степень соответствия оцениваемой системы тенденциям научно-технического прогресса, а степень соответствия оцениваемой системы объекту управления.

Информационное и организационное обеспечение АСУ ТП имеют большие отличия от аналогичных разделов других видов АСУ. В АСУ ТП важнейшее значение имеет такой вид информации, как сигналы датчиков и других технических средств, интерфейсы машин и их стыковка и т.д. Ниже рассмотрены некоторые способы преобразования информации в АСУ ТП.

Отбор информации о состоянии управляемого объекта (объекта, его фазы и т.д.) производится специальными техническими устройствами – датчиками (рецепторами). Датчик преобразует первичную форму информации в форму, удобную для её дальнейшего преобразования, передачи и использования. При этом, как правило, меняется физическая природа сообщения, например: на входе – температура; на выходе – напряжение; на входе – ток, на выходе – механическое усилие и т.п. Информацию о состоянии технологических процессов датчики отображают в виде непрерывных (аналоговых) сигналов или дискретных сообщений (сигналов), которые могут быть переданы по соответствующим каналам связи, причем преобладают дискретные каналы. Для передачи аналоговой информации дискретному каналу необходимо преобразовать её в дискретную форму. Этот процесс называется квантованием информации. Другими операциями, выполняемыми с информацией, являются: восстановление непрерывного (аналогового) сообщения называют сглаживанием, или интерполяцией, функции; кодирование информации – процесс преобразования сообщения в сигнал, заключающийся в однозначном отображении элементарных сообщений последовательностями заранее выбранных элементарных символов; декодирование информации – процесс, обратный кодированию; модуляция информации – преобразование сигнала для его передачи по каналу связи с нужной скоростью и минимальным затуханием;

отображение информации – преобразование информации в виде, удобном для её использования в управлении технологическим процессом.

Организация работы АСУ ТП определяется: организационной структурой – структура взаимодействия оперативного персонала; организационной совместимостью – общность организационной структуры АСУ разных уровней и различного функционального назначения; организационным обеспечением – совокупность описаний функциональной, технической и организационной структур, инструкций и регламентов для оперативного персонала АСУ ТП, обеспечивающая заданное функционирование автоматизированного технологического комплекса. Схема взаимодействия АСУ ТП с АСУ предприятия (куда АСУ ТП может входить как подсистема) выглядит следующим образом: АСУ ТП получает от вышестоящего уровня управления производственные задания и основные критерии реализации этих заданий (номенклатуру изделий, объём и сроки их выполнения и т.п.) и передаёт на вышестоящий уровень управления сведения о выполнении заданий и основных количественных и качественных показателей продукции и функционировании автоматизированного технологического комплекса.

Для анализа структур и определения оптимального построения внутренних взаимосвязей используют методы групповой динамики дисциплины, исследующей зависимость результатов деятельности группы индивидуумов от структуры их взаимодействия. При этом применяют методику и приёмы социальной психологии. Это дало возможность сформулировать три необходимых условия организации группы оперативного технологического персонала: вся производственная информация, относящаяся к ведению процесса, должна передаваться только через руководителя группы; у одного подчинённого должно быть не больше одного непосредственного руководителя; в производственном цикле информационно взаимодействуют друг с другом только подчинённые одного руководителя.

Последовательность работ по созданию организационной структуры и организационного обеспечения АСУ ТП и основы её организации определяются в процессе разработки системы. В техническом задании на создание АСУ ТП формируются требования к численности и квалификации оперативного и обслуживающего персонала системы. Эти требования зависят от объёма и сложности функций, возлагаемых на персонал. Дальнейшая подготовка организации работы АСУ ТП складывается из работ: на стадии технического проекта – разработка организационной структуры системы и технических заданий на оперативно-диспетчерское оборудование, не выпускающееся серийно; на стадии рабочего проекта – корректировка организационной структуры системы, подготовка инструкций по эксплуатации, описания и регламента работы АСУ ТП (в том числе по действиям персонала в предаварийных и аварийных ситуациях); на стадии внедрения – обучение ремонтно-эксплуатационного персонала, коррекция эксплуатационной документации.

Создание АСУ ТП стало возможным в первую очередь благодаря бурному развитию математических методов: анализа ситуаций, подготовки управленческих решений и выбора лучших решений для управления, анализа хода процесса и т.п.; моделирования; реализации моделей и математических методов в соответствующих алгоритмах и программах ЭВМ; системного и прикладного программирования.

Математические методы в АСУ ТП основаны на таких дисциплинах, как теория вероятностей, математическая статистика, математическое программирование (линейное, комбинаторное, нелинейное, динамическое), метод множителей Лагранжа, градиентные методы оптимизации, метод покоординатной оптимизации, принцип максимума Понтрягина и др. Эти области математики дают возможность строить математические модели объекта, которые могут идти как по пути полностью определяемой модели, так и по пути модели, приспособляющейся к изменяющимся условиям функционирования объекта. Одной из возможных математических формализаций реальных систем является теория массового обслуживания (процесс удовлетворения какого-либо вида реальных однотипных заявок, требований). Математический язык моделей может быть различным. В символических моделях используют совокупность математических соотношений в виде формул, уравнений или неравенств. В графических моделях – графики, номограммы, схемы. Математические модели в виде схем называют математическими иконографическими (топологическими) моделями.

Моделирование как метод исследования технологических процессов, которые являются объектами управления, включает в себя два основных этапа: построение модели и использование её для исследования свойств и поведения объекта. Одному и тому же объекту-оригиналу в зависимости от целей моделирования может соответствовать большое число моделей, отражающих разные его стороны и поэтому имеющих, как правило, разную структуру. Математическая модель объекта управления включает математическое описание связей между основными переменными и ограничения, накладываемые на их изменение. Математические модели, используемые в АСУ ТП, должны быть предельно простыми и иметь стандартную форму и обеспечивать достаточную точность. Самыми простыми среди объектов управления технологических процессов являются аппараты. Если целью управления аппаратом непрерывного действия является стабилизация технологических режимов в соответствии с технологическим регламентом, то для разработки соответствующих систем управления используют наиболее полные модели управляемых объектов, в которых учитываются динамика, нелинейность, возмущающие воздействия. Математическая модель аппаратов периодического действия имеет логико-динамическую структуру.

Цеха и производства – наиболее сложные среди объектов управления технологическими процессами. Эти комплексы характеризуются наличием разветвлённой структуры, неопределённостью поведения её составных частей,

сложными внутренними и внешними связями. При разработке моделей цехов и производств считают, что они состоят из подсистем, связанных между собой материальными потоками. Подсистему производственного комплекса определяют как его часть, для которой допустима и целесообразна непосредственная оптимизация по своему собственному критерию. Математическая модель производственного комплекса обычно состоит из моделей подсистем и связей между подсистемами. Каждая из подсистем может иметь свой критерий оптимальности, и в то же время существует критерий всего комплекса.

Алгоритмизация указанных выше моделей в АСУ ТП имеет некоторые ограничительные особенности: тесная временная связь алгоритма с управляемым процессом; хранение рабочих программ, реализующих алгоритмы управления в основной (оперативной) памяти ЭВМ для обеспечения доступа к ним в любой произвольный момент времени; превышение удельного веса логических операций в алгоритмах АСУ ТП над удельным весом арифметических операций; разделение алгоритмов АСУ ТП на функциональные части; реализация на ЭВМ алгоритмов АСУ ТП в режиме разделения времени. Учет временного фактора в алгоритмах управления сводится к необходимости фиксации времени приёма информации в систему, времени выдачи сообщений оператором для формирования управляющих воздействий, прогнозирования состояния объекта управления и т.п. Алгоритмы анализа ситуаций обеспечивают распознавание и классификацию ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации объекта, и выявляют соответствующие классы допустимых управляющих воздействий. При этом вырабатываются рекомендации по ликвидации нарушений в ходе процесса и выделяются параметры, по которым в данной ситуации следует оптимизировать производство.

В АСУ ТП значение технического обеспечения определяется тем, что это единственный вид систем, которые могут работать в замкнутом режиме, и тем, что роль автоматически собираемой с помощью датчиков информации достаточно велика. Посредством датчиков осуществляется контроль технологического процесса – операция установления соответствия между действительными показателями процесса и их номинальными значениями (заданной нормой). Контроль, в принципе, является операцией «сжатия» информации, устранения ненужных в каждом конкретном случае сведений об объекте контроля. В АСУ ТП осуществляется автоматический контроль технологического процесса – операция, выполняемая с помощью контрольно-измерительных приборов или системы автоматического контроля (без участия человека). Замкнутость системы обеспечивается системой автоматического регулирования – совокупность объекта регулирования и автоматического регулирующего устройства, взаимодействующих между собой по данным системы контроля.

В основе системы контроля лежит измерение – нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств. Метод измерений – это совокупность приёмов использования средств измерений с целью получения значений измеряемой величины. Средства измерений в зависимости от возможного полного завершения с их помощью процесса измерений подразделяются на элементарные и комплексные. К элементарным средствам измерений относятся: измерительный преобразователь, устройство сравнения, мера (предназначено для воспроизведения физической величины заданного размера), масштабный преобразователь. К комплексным средствам измерений, состоящим из элементарных, относятся: измерительный прибор, измерительная система. Существующие методы измерений классифицируются: метод непосредственной оценки, метод сравнения с мерой, метод противопоставления, нулевой метод, метод замещения, метод совпадений, дифференцированный и комбинированный методы.

Известны три вида процессов: процессы обработки материи, энергии и информации. Управление в АСУ ТП – информационный процесс, поэтому технические средства, используемые для управления, предназначены для работы с информацией. Виды работ, которые можно выполнять с информацией, следующие: преобразование информации, перемещение информации в пространстве, передача данных, перемещение информации во времени, обработка данных, размножение данных и др. Для автоматизированного управления технологическим процессом применяют электрические устройства вычислительной техники, а также пневматические и гидравлические приборы. Укрупнённые структурные составляющие, выполняющие одну из операций над информацией, можно использовать для анализа как технических средств, так и самих элементов их структуры. Имеются следующие виды структурных составляющих: чувствительный элемент-преобразователь, преобразователь, устройство поиска, устройство сравнения, накопитель, преобразователь положения, устройства сравнения.

К техническим средствам АСУ ТП предъявляются определенные требования, так или иначе направленные на обеспечение совместимости объекта автоматизации, технических средств и людей. Информационные требования – информационная совместимость технических средств между собой и обслуживающим персоналом. Организационные требования – структура управления технологическим процессом, технология управления и технические средства должны соответствовать друг другу, как в момент внедрения АСУ ТП, так и в будущем. Математические требования – достаточно быстрое решение основных задач АСУ ТП. Экономические требования – обеспечение экономичности АСУ ТП.

АСУ ТП может работать в автоматическом режиме. Несмотря на это роль человека в ней остаётся значительной. Внедрение АСУ ТП на промышленном предприятии требует организации в рамках структуры предприятия

производственного подразделения, осуществляющего ремонт и эксплуатацию системы во взаимодействии с основными и вспомогательными службами предприятия. Подразделение АСУ ТП должно быть реализовано в виде специальной службы (группы, участка, лаборатории, цеха) и формироваться поэтапно в зависимости от числа систем и сложности их функциональной структуры, стадий создания и объёмов внедрения.

Значительна роль персонала в обеспечении безопасности труда – состояние условий труда, при котором отсутствует производственная опасность. Требования безопасности к производственным процессам определены соответствующими ГОСТами серии «Система стандартов безопасности труда». Разделом «Техника безопасности» проекта АСУ ТП должны быть освещены следующие вопросы: мероприятия по технике безопасности, обоснование их необходимости и достаточности, нормативные материалы и правила, предусматривающие эти мероприятия; требования безопасности процесса, мероприятия для обеспечения безопасных условий работы и обслуживания приборов, средств вычислительной техники и периферийных устройств; перечень устройств и автоматики, принятых в проекте для обеспечения безопасности эксплуатации системы и улучшения условий труда; указания о заземлениях установок, приборов и т.д.; факторы на которые обращается особое внимание эксплуатационного персонала системы; пожарная профилактика; системы вентиляции и кондиционирования воздуха; система электрооборудования; безопасность персонала.

Диспетчерская служба находится «на стыке» управления технологическим процессом и управления производством. Основная функция диспетчерской службы – оперативное управление персоналом. В организационных структурах оперативного управления промышленными предприятиями получили распространение следующие виды пунктов оперативного управления: местные посты управления, операторские пункты, диспетчерские пункты, центральные диспетчерские пункты. В составе АСУ ТП управление технологическим объектом осуществляет технолог-оператор автоматизированного технологического комплекса. Он помимо управления оборудованием руководит подчинённым технологическим персоналом. Технологи-операторы осуществляют управление технологическим объектом управления в составе АСУ ТП.

В АСУ ТП широко используются методы и принципы инженерной психологии, в которой выделяют следующие направления: исследование особенностей восприятия информации человеком (сенсорный фактор); анализ структуры и характеристик управляющих воздействий на человека (моторный выход); изучение факторов, определяющих надёжность и эффективность действий оператора (экстремальные условия, высокая ответственность, дефицит времени, необычная обстановка и т.п.); разработка методов отбора и профессиональной подготовленности операторов с учетом структуры конкретного вида деятельности и связанных с ней требований к психическим

процессам; исследования взаимодействия человека с техническими, в частности, автоматическими управляющими устройствами, для оптимального синтеза системы человек-машина. Инженерную психологию можно рассматривать как научную основу проектирования и конструирования, как «философию» инженеров, разрабатывающих вопросы «стыковки» человека-оператора с техническими средствами.

Инженерная психология в принципе даёт принципиальное обоснование необходимости создания АСУ с тенденцией всё меньшего и меньшего участия человека в управлении производством и технологическими процессами. Органы чувств человека обеспечивают высоконадёжный приём информации. Постоянная времени – 25...150 м/с. Диапазон чувствительности 16...20000 Гц в звуковой области, 4000...7000 А в области электромагнитного спектра. Способность воспринимать последовательность сигналов – до 10 сигналов в секунду. Пропускная способность человека быстро исчерпывается. При приёме-передаче информации у человека максимальная скорость информации до 40 бит в секунду. Средняя скорость выполнения простых операций 2 бита в секунду. Но человек имеет и неоспоримые преимущества перед ЭВМ. Он может принимать решения при недостатке данных, решения, основанные на прошлом опыте, на характере зрительных и звуковых сигналов. Может решать проблемы методом логической индукции, что проблематично для ЭВМ. С другой стороны, скорость обработки информации (пропускная способность головного мозга) 3...50 бит в секунду резко уменьшается в условиях напряжения, дефицита времени, стресса, человек теряет в определенной мере способность к расчетам. Ни одна вычислительная машина не может сравниться с человеком в выполнении качественных нечисловых расчетов, в восстановлении в памяти обобщённых образов прошлого опыта для решения возникших проблем. Человек может воспринимать потоки информации, значительно превышающие его возможности по её переработке, и отбирать из неё главную, основную для себя в данный момент информацию и обрабатывать именно её. У человека есть поразительные возможности, по сравнению с ЭВМ, в части управления, чувствительности, информационному поиску, информационной подготовки, передаточной функции и др. Но и у АСУ есть свои поразительные возможности, недоступные человеку. Поэтому разумный симбиоз человек-ЭВМ необходим в области управления производством и технологическими процессами.

Организация работ по обеспечению производства средствами механизации и автоматизации инженерно-технических работ и созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами относится к технологической подготовке производства и требует соблюдения определенных процедур. Эту работу необходимо обеспечить материальными и людскими ресурсами, финансированием и возможностями поощрения, стимулирования персонала. Для этого следует решать задачи планирования создания АСУ ТП.

Организационная часть системы создания АСУ ТП включает научно-исследовательские работы; проектирование; экспертизу и утверждение проекта; разработку нестандартного оборудования; комплектацию оборудования, материалов, покупных изделий; монтаж; наладку; внедрение. Под проектированием понимают процесс обоснованного выбора характеристик АСУ ТП и разработки документации, достаточной на первом этапе проектирования для утверждения намеченных затрат, доходов, дополнительной численности, дополнительных площадей и организационно-технических решений и на втором этапе – для заказа и комплектации оборудования и материалов, монтажа и наладки, а также для организации работы АСУ ТП и её внедрения. Под наладкой понимают приведение в рабочее состояние всех технических средств АСУ ТП и обеспечение готовности их работы в процессе опробования, контрольных испытаний и приёмки. Под внедрением понимают процесс перехода к практическому использованию решений проекта АСУ ТП.

Подготовка к проектированию АСУ ТП состоит из следующих этапов: решение о разработке АСУ ТП для данного объекта; заключение договора на разработку технико-экономического обоснования (ТЭО) и технического задания (ТЗ) со специализированной проектной организацией; обследование объекта и сбор исходных данных; разработка и утверждение ТЭО; выполнение при необходимости научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР); разработка и утверждение ТЗ на проектирование системы.

Процесс НИР заключается в выборе определенных материальных объектов, систематическом и целенаправленном изучении их и обобщении полученных результатов с использованием определенных научных методов и средств исследования. Необходимость ОКР возникает, если отсутствуют какие-либо технические средства, нужные для создания АСУ ТП, или если имеющиеся технические средства не удовлетворяют в определенной степени условиям объекта автоматизации или требованиям, вытекающим из свойств объекта.

Организация проектирования АСУ ТП имеет ряд общих принципов: экономичность; общее упорядочение процессов проектирования; единообразие элементов проектирования; принцип специализации проектирования; принцип кооперации в проектировании; принцип использования организационных систем; гармонии между создаваемой АСУ ТП и технологией проектирования. Если первые принципы присущи всем процессам конструирования [1], то последний из них означает, что гармония должна быть такой же, как и соответствие конструкции какого-либо изделия с технологией его изготовления. Первичным элементом здесь является АСУ ТП, а вторичным – технология проектирования АСУ ТП. Несоответствие технологии проектирования разрабатываемой АСУ ТП приводит к тому, что появляются дополнительные потери или разработка АСУ ТП соответствующего уровня становится невозможной. Правовые основы проектирования АСУ ТП даны в

соответствующих ГОСТах и «Руководящих методических указаниях». Основным директивным документом по проектированию АСУ ТП является ГОСТ «АСУ ТП. Стадии создания».

Внедрение АСУ ТП сопряжено с выполнением большого объема работ, требующих совместного участия специалистов технологического объекта управления, разработчика, строительных, монтажных и наладочных управлений, заводов-изготовителей оборудования. Внедрение является завершающей стадией создания АСУ ТП. Все работы, предшествующие внедрению, и само внедрение осуществляется в соответствии с план-графиком, в котором предусматриваются все необходимые мероприятия для реализации конкретной АСУ ТП.

4. Роль проектирования технологических процессов в технологической подготовке производства

Эффективность производства в технологической области в целях создания гибкой производственно – технологической структуры в первую очередь зависит от эффективности процесса технологического проектирования. Это объясняется фундаментальностью задач, решаемых на этапе проектирования: разработка принципиальной схемы технологического процесса - установление определенной последовательности операций по получению заготовок и преобразованию их в законченное изделие, которое соответствовало бы заданным тактико-экономическим требованиям; составление технических условий на заготовки и приемку изделия, включая операции обработки деталей, сборки их контроля; расчеты или выбор режимов подготовительно-заключительных и основных операций технологического процесса; выбор типажа оборудования, проектирование технологической оснастки и составление технической документации; расчет технических норм времени, загрузки оборудования, рабочих мест и уровня механизации; организация рабочих мест.

Задачи проектирования технологических процессов решаются на базе определенных принципов, выработанных теорией и практикой производства. Главный из них - принцип использования новейших достижений отечественной и зарубежной науки и техники. Этот принцип является основополагающим. Другим, не менее важным, является принцип обеспечения минимальных сроков проектирования, как выражение объективных требований одного из экономических законов - закона экономии времени, который назван К. Марксом первым экономическим законом на основе коллективного производства.

Следующий принцип состоит в том, что при технологическом проектировании выбирают наиболее экономичные методы изготовления для обеспечения требуемой работоспособности, долговечности и других показателей надежности изделия. Наряду с этим должен соблюдаться принцип учета производственных возможностей на предприятиях, осваивающих новое изделие, при одновременной ориентации на передовые формы организации и технологии производства, на наиболее эффективные методы управления

трудовыми процессами, на творческую инициативу. Наконец, должен соблюдаться принцип обеспечения строгой технологической дисциплины во всех звеньях производственного процесса и высокого качества изделий.

В распоряжении конструкторской и технологической служб находится блок технической и экономической информации в виде аннотаций, рефератов, руководящих материалов, справочников, стандартов, нормалей, описаний изобретений и патентов, результатов научно-исследовательских работ и других данных, имеющих к началу поступления задания на проектирование. В результате конструирования изделия и технологического проектирования составляется технико-экономическое обоснование проекта изделия, позволяющее начать экспериментальные исследования, опытно-конструкторские работы и опытно-технологические работы. Получаемая при этом информация по каналам обратной связи позволяет корректировать проект изделия и технологический процесс.

Этот процесс был бы значительно более кратковременным, если бы в общей взаимосвязи рассмотренных элементов действовал блок математической модели технологического процесса. Математическое моделирование технологических процессов стало объективно необходимо. Оно должно рассматриваться как одно из эффективных направлений в обеспечении технологического превосходства.

Изделия с гарантированной долговечностью и надежностью можно изготавливать тогда, когда технологический процесс исследован во всех его многочисленных внутренних связях. Экспериментальные методы исследования результативны, но трудоемки, сложны и связаны с большими затратами средств и времени. Аналитические методы отличаются экономичностью и быстродействием, поскольку основаны на использовании вычислительной техники, но для их реализации требуется математическое моделирование реальных процессов, в том числе и процесса изготовления изделий.

Технологические процессы в совокупности можно представить как целостную систему. Существенными ее характеристиками являются системные качества, состав, динамическая структура и характер взаимодействия с внешними условиями. Целостная система играет ведущую роль по отношению к своим частям, которые в то же время обладают относительной самостоятельностью. Упорядочение системы есть не что иное, как процесс управления системой. Конечная цель управления - обеспечение оптимального процесса производства.

Одним из наиболее эффективных средств познания системы и управления ею является моделирование, то есть воспроизведение той или иной сложной системы посредством более простой системы - модели. Моделирование основано на изоморфизме (структурном или функциональном сходстве) различных систем. Оно позволяет воспроизводить и изучать сложные системы в математических или физических моделях. Меняя параметры модели, исследователь получает данные, аналогичные тем, которые имели бы место в

действительности при изменении реальных условий. Таким образом испытывается множество вариантов модели, каждый из которых представляет собой определенное сочетание факторов, и из этого множества выбирается вариант, оптимальный или близкий к оптимальному при заданных реальных условиях.

Характерная особенность математического моделирования состоит в том, что при изучении любого процесса таким методом необходимо в первую очередь построить математическое описание или математическую модель изучаемого процесса. Наличие математического описания процесса - оригинала позволяет обоснованно выбрать соответствующий технологический процесс. Математическая модель реального процесса есть некоторый математический объект, соответствующий данному физическому процессу. Всегда существуют соотношения, которые в виде математических зависимостей выражают реальные физические связи.

Поэтому под математической моделью реального процесса следует понимать совокупность соотношений (например, формул, уравнений, неравенств, логических условий, операторов и других), которые связывают характеристики процесса с параметрами соответствующей системы, исходной информацией и начальными условиями.

В данном определении вовсе не предполагается, что математическая модель состоит только из соотношений, выражающих характеристики процесса в виде явных функций от параметров системы, времени, исходной информации и начальных условий. В общем случае этого может и не быть. Однако существенным свойством математической модели является то обстоятельство, что при совместном рассмотрении составляющих ее соотношений характеристики процесса однозначно (для детерминированных моделей) определяются через параметры системы, исходную информацию и соответствующие начальные условия. Построение модели целостной системы, выбор характеристик ее состояний и параметров, описывающих процесс функционирования системы, является своеобразной и сложной задачей. Указать какие-либо правила для выбора характеристик состояний и параметров исследуемых реальных систем пока не представляется возможным. Исследователь в этом отношении может руководствоваться лишь собственной интуицией, опирающейся на постановку прикладной задачи и понимание природы процесса функционирования системы.

Современный уровень развития производства требует системного подхода, при котором все объекты и явления рассматриваются в комплексе как производственная система, в которой реализуется производственный процесс изготовления изделий. Составной частью этого производственного процесса, является технологический процесс, содержащий целенаправленные действия по изменению состояния заготовки (изменению состояния предмета труда).

Технологический процесс выполняется с помощью средств технологического оснащения, которые включают технологическое

оборудование и технологическую оснастку. Важнейшей частью производственной системы является технологическая система - совокупность функционально взаимосвязанных элементов производственной системы предприятия, выполняющих в регламентированных условиях технологические процессы изготовления изделия. Основным структурным элементом технологического процесса является технологическая операция — часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. В состав технологической операции входят переходы, установки, позиции. При формализованном описании производства, то есть отображении элементов производственного процесса в математической модели производственной системы, все структурные элементы технологического процесса описываются понятием «технологический оператор», а все конструктивно-технологические свойства изделия и свойства производственной системы понятием «контур».

Проектирование оптимальных технологических процессов изготовления изделий авиационной техники требует трудоемких вычислений. Автоматизация технологического проектирования способствует повышению качества изделий. Необходимой предпосылкой автоматизации является всестороннее исследование закономерностей и факторов, влияющих на полноту реализации заложенных при проектировании показателей качества изделия. Эти факторы разнообразны и по своей природе, и по типам отношений между ними. При автоматизированном проектировании все это разнообразие факторов и отношений необходимо описывать с помощью математических моделей. В этом случае невозможно обойтись только методами алгебры, аналитической геометрии, математического анализа. Необходимо использовать и теорию множеств, теорию графов, математическую логику и другие методы, относящиеся к метаматематике.

Совершенствование проектирования процессов изготовления органически взаимосвязано с совершенствованием всей производственной системы предприятия. Разработка оптимальных проектных решений в ходе технологической подготовки производства изделия возможна только при комплексном моделировании изделия, производственной системы и организационных процессов основе единой системы математического моделирования, обеспечивающей: разработку взаимосвязанных моделей разнородных объектов (изделий, технологических процессов, оборудования, инструмента и т.п.); построение взаимосвязанных моделей объектов, соответствующих разному уровню знаний и различной полноте представления данных; прозрачность моделей, смысловую ясность и понятность всех данных, отношений и связей в моделях для пользователя системы; адаптацию математических моделей к различным видам вычислительной техники; адаптацию других методов моделирования, моделей и алгоритмов с целью включения их в данную систему моделирования.

Указанным требованиям удовлетворяет иерархическая система математического моделирования объектов на различных уровнях

абстрагирования. Проектирование с использованием типовых математических моделей является общепринятым методом технологического проектирования в системах автоматизированного проектирования (САПР). В этой системе любой объект моделируют одинаковыми средствами на уровне теоретико-множественных (методами теории множеств и теории графов), логических (методами математической логики) и количественных свойств и отношений.

Теоретико-множественный и логический уровни моделирования объектов удобны для автоматизации решения задач структурного проектирования, когда определяют состав и взаимосвязь элементов проектируемого технологического процесса, а количественный уровень моделирования используют при решении задач, связанных с расчетом механических, точностных, технико-экономических и других характеристик и параметров технологического процесса.

Математическое моделирование производства отражает закономерности и связи между свойствами изделия и производственной системы с помощью математических отношений. Производственную систему рассматривают как систему средств технологического оснащения, включающую оборудование, инструмент, оснастку и других элементов, и как систему технологических операторов, отображающих процессы производства. Технологический оператор характеризует часть технологического процесса, при реализации которой объект производства приобретает какие-либо заданные свойства. Состав операторов есть часть множества операторов всей производственной системы. Средства технологического оснащения образуют множество полного состава элементов производственной системы.

Для моделирования технологического процесса изготовления изделия используют модель, отображающую взаимосвязь изделия и производственной системы. Процесс изготовления изделия моделируют как процесс его изменения под воздействием производственной системы. Изменения объекта могут затрагивать любые его свойства и отношения. На теоретико-множественном уровне описывают изменения состава элементов и контуров (включение, исключение, замена) или изменение состава отношений и связей между ними. На логическом уровне описывают изменение состава логических величин и отношений, а на количественном — изменение состава количественных величин и их значений, а также количественных отношений.

Указанные выше положения, достаточно сформировавшиеся для решения проблем производства летательных аппаратов и авиационных двигателей, находятся в стадии развития для нужд авиаремонтного производства, хотя начало этих работ относится к 1982 - 1986 гг. Это связано с тем, что многономенклатурность авиационного производства, связанная с разнообразием конструктивного исполнения агрегатов, узлов и деталей авиационной техники, а также с широким диапазоном физико-химических свойств конструкционных материалов, требует использования технологических процессов, различных по физической сущности. При серийном производстве в

пределах установленных допусков обеспечивается однозначное соответствие параметров заготовок и деталей, что гарантирует возможность разработки единой технологии изготовления каждого наименования продукции и описания заготовок и деталей детерминированными моделями. Заготовками при ремонте являются детали, подвергшиеся случайному воздействию повреждающих факторов, которые могут быть представлены только стохастическими моделями. Поэтому разработка единой технологии (по аналогии с изготовлением изделий авиатехники) противоречит изменчивости соотношений между параметрами детали до и после восстановления, не позволяя организовать в полной мере рациональный процесс ремонта. Следовательно, в рамках автоматизированной системы проектирования технологии ремонта совокупность процессов восстановления должна выбираться в зависимости от характера и степени нарушения параметров деталей, а также с учетом работ, выполненных при предшествующих ремонтах. В связи с возможностью альтернатив, переменной загрузкой оборудования автоматизация проектирования должна стать неотъемлемой частью системы оперативного управления производством [7]

5. Примеры научно-технологических достижений в области производства авиационной техники

Главные эксплуатационные показатели авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) определяются возможностями конструкционного материала горячей части выдерживать высокие температуры и сохранять при этом свои механические свойства. Деформируемые жаропрочные никелевые сплавы – основной материал для наиболее ответственных деталей горячей части ГТД. Максимальный уровень их свойств достигается в том случае, когда при деформации происходит динамическая рекристаллизация. И движение границ зёрен «очищает» металл от дефектов. Современные композиции жаропрочных никелевых сплавов содержат более 12 основных компонентов и микродобавок. Они рассчитываются методами физико-химического моделирования. Создание нового сплава – балансирование на грани возможного, в основе которого – стремление получить сочетание часто взаимоисключающих свойств. Наиболее интересными разработками в данном направлении являются разработки ВИАМ: сплавы ВЖ175 для дисков турбин, ВЖ172 - для корпусов и ВЖ171 - для жаровых труб и камер сгорания.

Наиболее ответственными деталями ГТД являются лопатки газовой турбины. Именно они определяют максимальную температуру рабочего газа на входе в турбину и, следовательно, удельную мощность, экономичность и ресурс газотурбинных двигателей. Дальнейшее повышение рабочей температуры газа до 2000 – 2200 градусов Кельвина в перспективных двигателях, может быть достигнуто только за счёт применения в газовой турбине монокристаллических лопаток из жаропрочных никелевых сплавов нового поколения. Их преимущество в более высоком сопротивлении высокотемпературной ползучести. Оно обусловлено отсутствием в них границ

зёрен, поскольку лопатка представляет собой один единственный кристалл. Для проектирования таких лопаток созданы методы компьютерного конструирования жаропрочных сплавов.

Задача повышения требований к экономичности и надёжности современных ГТД, увеличению их ресурса, снижению шумовых характеристик связана с решением проблемы выбора конструкционных материалов для изготовления критических деталей, к которым относятся лопатки и диски компрессора высокого давления, основным материалом для которых являются жаропрочные титановые сплавы. Одним из главных лимитирующих факторов для расширения их применения стало требование по повышению рабочей температуры. Созданный ЦИАМ жаропрочный титановый сплав BT41 может длительно работать при температуре 600 градусов Цельсия. Он по своим характеристикам превосходит зарубежные аналоги.

Одной из проблем, возникающих при создании вентилятора нового типа, заключается в необходимости существенно увеличить его диаметр при одновременном сокращении числа ступеней, что резко повышает требования к жёсткости материалов. Используемые в настоящее время традиционные материалы уже не могут в должной степени соответствовать возрастающим требованиям ни по прочности, ни по жёсткости. Возникает противоречивая ситуация: рост размеров лопаток должен сопровождаться снижением их массы. Один из путей решения проблемы – разработка составных (интегрированных) конструкций, ориентированных на применение композиционных материалов. В частности, волокнистых композитов, аккумулирующих в себе высокую прочность и жёсткость некоторых видов волокон. ЦИАМ совместно с ВИАМ разработана составная пустотелая конструкция широкоходной лопатки вентилятора с применением боралюминиевого волокнистого металлического композиционного материала. Это решение позволяет повысить жёсткость конструкции на 50% по сравнению с лопатками вентилятора, которые используют зарубежные двигателестроительные компании, повысить весовую эффективность на 50 – 55% по сравнению с титановыми лопатками. Это позволяет снизить вес диска и всей ступени в целом, управлять жёсткостными характеристиками в различных направлениях, управлять частотными характеристиками без изменения профильной части, сократить число ступеней вентилятора, уменьшить шум и эмиссию, минимизировать перемещения периферийной части лопатки и, следовательно, рабочих зазоров, повысить ресурс в 3 раза, повысить экономичность на 30% при снижении производственных затрат и эксплуатационных расходов в 2 раза, существенно повысить коэффициент полезного действия и экологичность двигателя. Разрабатываемая широкоходная лопатка вентилятора с применением волокнистого металлокерамического композиционного материала создаёт научно-технический задел для технологического прорыва отечественного авиационного двигателестроения.

Возможности увеличения весовой эффективности двигателей во многом связаны с разработками по керамическим композитным материалам, обладающим свойством «самозалечивания» дефектов структуры. Их использование ограничивается тем, что в нашей стране пока отсутствуют непрерывные карбидкремниевые волокна, используемые за рубежом в качестве основных для упрочнения керамики при создании композиционных материалов. ВИАМ проводится широкий спектр работ по разработке керамических и стеклокерамических композиционных материалов. В отличие от традиционной хрупкой керамики, они обладают комплексом таких ценных свойств, как высокая температура эксплуатации, низкая удельная масса (в 2 – 4 раза легче сталей и их сплавов), химическая инертность, коррозионная стойкость, высокое сопротивление к зарождению и росту трещин, высокие удельные механические характеристики. Отличительной особенностью керамического композиционного материала является сверхвысокая стойкость при термоциклических нагрузках в продуктах сгорания топлива – более 7000 циклов без разрушения, что обусловлено его способностью к «самозалечиванию» микродефектов в виде микротрещин, раковин и тому подобных, появление которых возможно в процессе эксплуатации.

Снижение веса двигателя можно добиться путём применения материалов, имеющих меньший удельный вес по сравнению с металлическими. Такими являются композиты на основе связующих и углеродных волокнистых наполнителей. Они, например, широко применены в наиболее современной отечественной разработке – двигателе ПС-90А2. В перспективе применение средне- и высоконагруженных деталей из полимерных композиционных материалов. Для их изготовления требуется решить проблему увеличения упруго-прочностных характеристик углеродных волокнистых наполнителей. Так же необходимы новые связующие расплавно-го типа.

Многие эксплуатационные свойства деталей авиационной техники (фрикционные, коррозионная стойкость, газовая и эрозионная стойкость и другие) определяются их поверхностными слоями. Решение задачи их повышения возможно с помощью технологических покрытий. Имеются покрытия для коррозионностойких, высоко- и среднелегированных, высокопрочных и других сталей, титановых, циркониевых, никелевых, интерметаллидных, бериллиевых, ниобиевых, молибденовых, вольфрамовых и других металлов и сплавов, литых, деформируемых и гранулированных материалов. Покрытия работоспособны при температуре нагрева заготовок и деталей от 750 до 1700 градусов Цельсия. Они могут выполнять одновременно и функции высокотемпературных технологических смазочных материалов и теплоизолирующих слоёв. Внедрение защитных технологических покрытий металлов позволяет: устранить безвозвратные потери металла в окалину; осуществить безокислительный нагрев металлов и сплавов без специальных устройств и печей с контролируемой атмосферой; повысить качество и надёжность деталей, работающих в условиях воздействия знакопеременных

нагрузок, высоких температур, агрессивных газовых и жидких сред в результате предотвращения окисления и выгорания легирующих компонентов по границам зёрен, а также создания высокой структурной однородности деталей; защитить титановые сплавы от образования окалина, уменьшить в 3 – 5 раз загрязнение газами титана и в 10 -15 раз концентрацию кислорода в его поверхностных слоях, повысить выносливость штамповок из титановых сплавов на 20 – 40%; освоить применение высокотемпературных технологических смазочных материалов, уменьшить коэффициент трения при горячей деформации металла, снизить усилия деформации на 20 – 40%.

Надёжной защитой конструкций ГТД могут быть органопластики. Благодаря высокой устойчивости к ударным воздействиям детали из органопластиков способны выполнять функции защитных экранов. В том числе, для удержания разрушившейся лопатки вентилятора при попадании в двигатель инородных тел. Согласно нормам Авиационных правил (АП-23), корпус ГТД должен удерживать лопатку вентилятора в случае её разрушения даже в корневом сечении. А перегородка кабины экипажа самолёта должна препятствовать проникновению пуль лёгкого ручного оружия и осколков взрывных устройств. Обеспечить эти требования удалось путём разработки органопластиков с использованием термоотверждаемого фенолокаучукового связующего и технологии, обеспечивающей градиентное, регулируемое по толщине детали, распределение связующего в объёме композита.

При производстве лопаток (и других деталей ГТД) широко распространены технологии получения заготовок методом точного (прецизионного) литья по выплавляемым моделям. Неизбежным процессом при этом является образование пор в металлических отливках, обусловленное природой кристаллизации металла. В структуре сплавов поры являются концентраторами напряжений, поэтому в большинстве случаев именно с них начинается зарождение трещин при циклических нагрузках. Перспективная технология высокоградиентной направленной кристаллизации обеспечивает получение монокристаллической структуры лопаток и практически убирает литейные поры. Эффективным способом снижения количества или полного устранения пор является высокотемпературная газостатическая обработка (горячее изостатическое прессование). Суть обработки заключается в одновременном воздействии высокой температуры (для жаропрочных сплавов нового поколения 1300 градусов Цельсия) и огромных давлениях (1500 – 2000 атмосфер), создаваемых инертным газом – аргоном. Главной особенностью обработки является всестороннее воздействие прессующей среды, что позволяет уплотнять детали любой формы без изменения их геометрии. Эта технология позволяет восстанавливать отработавшие свой ресурс турбинные лопатки, структура которых под длительным воздействием циклических нагрузок и высоких температур деградирует, и в них образуются эксплуатационные поры. Эта технология особенно эффективна для обработки рений и рений-рутений содержащих сплавов последнего поколения.

Широкое применение в авиадвигателестроении имеют алюминиевые сплавы повышенной чистоты. Надёжность деталей из данного конструкционного материала определяется применением высококачественных литых заготовок. ВИАМ разработан алюминиевый сплав АЛ4МС системы алюминий-кремний-медь-магний с легированием титаном, цирконием и скандием. Этот сплав обладает пределом прочности до 400 МПа, относительное удлинение до 6%, хорошими литейными свойствами: линейная усадка 1% и жидкотекучесть 370 мм. У этого сплава нет склонности к образованию горячих трещин. Эта новая отечественная разработка имеет широкие перспективы для изготовления корпусного агрегатного литья.

Для литья лопаток турбин из жаропрочных сплавов с высоким сопротивлением газовой коррозии уже не достаточно обеспечить направленную и монокристаллическую структуру. Требуется применение специальных коррозионностойких сплавов, но их применение ограничено тем, что процесс направленной кристаллизации не приводит к необходимому росту их жаропрочности. Кроме того, в промышленности отсутствует литейное оборудование для получения крупногабаритных отливок с направленной структурой, какими являются, например, лопатки турбин газоперекачивающих газотурбинных установок. В ВИАМ разработаны высокожаропрочные коррозионностойкие сплавы ЖСКС-1 и ЖСКС-2, которые решают указанную проблему. Создано высокоградиентное литейное оборудование с жидкометаллическим охлаждением литейного блока для литья крупногабаритных лопаток длиной более 700 мм с направленной и монокристаллической структурами и технология их литья.

Имеются и перспективные разработки в области привычных сталей. Разработанные ВИАМ стали ВКС170-ИД и ВКС180-ИД обладают прочностью на 60% выше, чем у сталей, применявшихся ранее для работы валов газотурбинных двигателей при рабочих температурах 400 – 450 градусов Цельсия и, в перспективе, до 600 градусов. Эти стали очень технологичны, поскольку после закалки материал находится в «мягком» состоянии, что позволяет без затруднений выполнять правку, механическую обработку и затем повысить более чем в 2 раза прочность простой термической обработкой - старением при относительно низкой температуре, практически без поворотов и короблений детали.

Поскольку проектирование всё более и более сложных изделий авиационной техники, технологий их производства и конструкционных материалов требует значительного увеличения объёма натуральных испытаний, что снижает их экономическую целесообразность, центр тяжести с натуральных испытаний смещается на расчётно-экспериментальные методы исследований. При этом значительная часть испытаний проводится в режиме эксперимента с математическими моделями. Компьютерное моделирование существенно экономичнее традиционного способа «проб и ошибок», поскольку даёт возможность проанализировать конструкторские решения, технологические

процессы обработки конструкционных материалов ещё на этапе их разработки и внести необходимые изменения для достижения требуемого качества продукции. Но процесс распространения модельного эксперимента ограничен недостаточностью знаний о свойствах конструкционных материалов, особенно при разных температурных режимах. Поэтому ВИАМ для сплавов ими разработанных определяет полный комплекс статистически достоверных характеристик упругости, пластичности, кратковременной и длительной прочности и ползучести, многоциклового и малоциклового усталости, трещиностойкости и других, в соответствии с требованиями Авиационных правил. Эти базы данных лежат в основе комплексов систем автоматизированного проектирования изделий АТ, их прочностных расчётов и ресурсном проектировании. Основными характеристиками прочности материалов, применяемых в конструкции авиационных двигателей при высоких температурах, являются следующие: определяемые при статическом нагружении с фиксацией диаграммы растяжения; длительная прочность и ползучесть; сопротивление многоциклового усталости и другие. Эти характеристики необходимы для проведения расчётов на прочность и назначения ресурса деталей двигателя, подверженных в процессе эксплуатации постоянному воздействию переменных (усталостных) нагрузок.

В качестве примера проектирования технологического процесса на основе современных научных разработок представлена технология изготовления пластикового червячного колеса из конструкционного материала - TASK Series - жидкие полиуретановые пластики с улучшенными физико-механическими и техническими характеристиками. Первичные компоненты TASK пластмассы легко смешиваются и дозируются по объёму или по массе, обладают низкой вязкостью. После полимеризации пластмассы данной серии показывают превосходную сопротивляемость растяжению и изгибу. TASK 8 – имеет теплостойкость до +130°C. Серия пластмасс TASK была разработана специально для разнообразных индустриальных применений, в том числе для создания моделей (прототипов), опытных образцов и партий изделий, предназначенных для тяжелых условий эксплуатации, тонкостенных высокопрочных изделий с толщиной стенок до 12 мм. Детали из данного конструкционного материала могут подвергаться механической обработке поверхности, например, шлифованию.

Изготовление детали начинается с подготовки модели колеса. Модель может быть получена аналогично модели для прецизионного литья по выплавляемой модели. Но современным, перспективным способом получения модели (в том числе и выплавляемых моделей для литья) является технология послойного синтеза. Обычно, форма отливки разрабатывается при помощи 3D CAD-систем. Эти трехмерные модели являются образцом для изготовления моделей, которые могут быть получены, например, при помощи любой из технологий быстрого прототипирования: лазерное спекание порошковых материалов, 3D печать из фотополимерных композиций и другие.

Подготовка модели заключается в создании поверхности разъема при помощи, например, клейкой ленты. Все имеющиеся в ней отверстия заклеиваются клейкой лентой. Клейкая лента наклеивается на торец стенки прототипа по линии будущего разъёма формы. При необходимости, поверхность прототипа покрывается специальными лаками для создания необходимой текстуры. Следующим шагом при создании силиконовой формы является изготовление литниковой системы, которая может состоять из одного или нескольких литников. В элементы литниковой системы можно монтировать стержнеобразные элементы, аналогично технологии создания внутренних полостей охлаждаемых лопаток турбины.

Следующим этапом является подготовка к заливке силикона. Для этого литниковая система подкрепляется снаружи сыпучим материалом. Силикон подготавливается в вакуумной камере путём смешивания составляющих его компонентов в течение времени, достаточном для его дегазации (чтобы избежать попадания пузырьков воздуха при заливке силикона в форму).

Заливка силикона производится на воздухе. После этого система помещается в вакуумную камеру для дополнительной дегазации, а затем отверждается на воздухе при комнатной температуре в течение 12-15 часов.

Дальнейшая последовательность литья пластика Task8 практически не отличается от последовательности операции литья по выплавляемым моделям, в том числе и по вакуумированию литников и их предварительному подогреву.

Завершающим этапом литья в силиконовые формы является процесс окончательного отверждения Task 8 в термощкафу при температуре 70°C. После отверждения форма разбирается, готовая деталь извлекается. Далее происходит процесс изготовления следующего изделия. Силиконовая форма снова нагревается и т.д. С одной формы обычно можно получить до 20-30 (иногда до 80) деталей в зависимости от их сложности. Отливки из пластика Task 8 можно механически дорабатывать, красить, покрывать лаком.

Перспективным в данной технологии является современный способ получения самой выплавляемой модели при использовании 3D CAD-систем на 3D-принтере марки Z-Printer 650. Печатающие головки с механикой обычного струйного принтера наносят красочный рисунок тонкого среза будущей выплавляемой модели, но не на бумагу (как в обычном принтере), а на слой порошка. Так слой за слоем пропечатывается весь объём модели. Толщина слоёв такова, что пропечатываемая краска плотно склеивается во всех соседних слоях между собой. После окончания печати последнего среза получается объёмная модель из склеенной краски, погружённая в толщу порошка.

Затем порошок удаляется с помощью специального пылесоса и напечатанная 3D-модель, как твердый трёхмерный объект, вынимается из принтера. Путём продувки сжатым воздухом все полости модели освобождаются от остатков порошка.

Основная сфера применения подобных принтеров – получение моделей деталей (прототипирование) спроектированных САПР непосредственно от

компьютера. Такая визуализация позволяет максимально реалистично представить себе созданную в недрах компьютера модель.

Принтер, работает по технологии холодной печати – в процессе изготовления модели ничего не плавится и не спекается. Специальное программное обеспечение «нарезает» компьютерную CAD-модель на слои толщиной 0,1 мм. Затем модель «выращивается» в рабочей камере принтера путем добавления слоя за слоем (такой метод называется аддитивным). Над слоем порошка (композитная смесь на основе гипса) движутся печатающие головки, пропечатывающие цветное изображение среза модели из красок модели СМУК. Вместе с цветными чернилами, точно по контуру заданного компьютером слоя, на порошок разбрызгивается клей. В итоге обработанный клеем порошок затвердевает и превращается в твердую пластину, поверх которой вновь насыпается порошок – он тут же прилипает к уже созданной части модели. Затем новый порошок вновь обрабатывается клеем и, если нужно, окрашивается. Так появляется следующий слой. Модель постепенно растет вверх со скоростью около 28 мм/час.

Технология трехмерного прототипирования имеет широкие перспективы диверсификационного применения в тех случаях, когда требуется изготовить сложнопрофильную модель. Она позволяет создавать модели с движущимися частями, например, модель с несколькими сцепленными друг с другом зубчатыми колесами. Достаточно покрутить одно колесо, и в движение придут все остальные. Для этого нужен всего лишь маленький зазор (0,1мм) между частями. Этот зазор уже заложен в соответствующую 3D-модель, и принтер, когда печатает, оставляет несклеенный участок между движущимися частями.

За счет такой технологии можно делать детали, которые другими методами изготовить очень трудно, например, подшипники без сепаратора. Причем это очень дешевая технология, так как изделие в процессе печати находится в массе порошка, который заполняет зазоры и не дает модели просесть под собственным весом. В других технологиях приходится использовать для аналогичных целей специальный материал подкрепления, который необходимо удалять растворением или выплавлением.

Более усовершенствованным является метод 3D-печати селективным лазерным спеканием (SLS). В отличие от холодного метода, в системе SLS мощный лазер не склеивает, а спекает порошок, формируя твердую деталь. Разновидностью этого процесса является прямое лазерное спекание металлов (DMLS), и здесь, в отличие от SLS, где работают с термопластиками, используются металлические порошки. Толщина одного слоя может достигать 20 мкм, что позволяет изготавливать на 3D-принтерах мелкие сложные модели с минимальными допусками.

На самом совершенном оборудовании этого типа, например, производимом немецкой компанией EOS, возможно создавать детали и механизмы, которые практически не требуют последующей обработки поверхностей – они готовы к

работе в составе машин, в том числе в авиации и аэрокосмической индустрии. Имеются данные о получении по технологиям SLS и DMLS фюзеляжа беспилотного самолета, конструкции крыла и других элементов ЛА, вплоть до лазерного спекания лопастей турбин газотурбинных двигателей.

Технология трехмерной печати при проектировании позволяет многократно изменять, масштабировать, дорабатывать и получать на выходе деталь, работоспособность которой тут же проверяется испытаниями.

Технология прямого лазерного спекания металлов (DMLS) позволяет распечатывать в металле сложные узлы, которые пригодны для непосредственного использования в машинах и механизмах. Эта технология позволяет строить модель с наибольшей дискретностью слоев - толщина слоя чуть больше 0,01 мм. Находящийся в подогреваемом картридже жидкий пластик напыляется головкой по контурам слоя модели. Пустоты заполняет поддерживающий материал, в качестве которого выступает воск. Охлаждаясь, полимер затвердевает, однако, впоследствии выплавляется из готовой модели. В процессе работы каждый вновь созданный слой разравнивается специальной головкой, излишки материала удаляются.

Селективное лазерное спекание схоже с DMLS, однако, здесь используется порошок не из металла, а из термопластика. Сфокусированный луч лазера пробегает по массиву порошка, спекая его гранулы по контуру слоя будущей модели. Поддерживающий материал не требуется, так как его роль выполняет окружающий изделие порошок. После прохода слоя поршень опускает рабочую платформу на толщину одного слоя, а подвижное дно механизма подачи порошка поднимается на то же расстояние. Валик раскатывает слой порошка поверх уже созданного слоя, и процесс спекания повторяется.

Печать методом нанесения расплавленного полимера похожа на струйную печать с той разницей, что пластик не находится постоянно расплавленным внутри картриджей, а подается к головке в твердом состоянии в виде нити. Непосредственно перед нанесением нить плавится в специальной камере. То же касается и поддерживающего материала, который впоследствии вымывается из модели в специальном растворе. Во время печати передвигается не только головка (по осям X и Y), но и рабочая платформа (ось Z). Технология позволяет распечатывать механизмы с движущимися частями.

Стереолитография - технология, существующая более двух десятков лет, - одна из самых старых в области 3D-печати. Суть ее в отверждении лазерным лучом, находящаяся в рабочей емкости жидкого фотополимера. Модели изготавливаются с высокой точностью, однако в силу невозможности применения поддерживающего материала его приходится заменять конструкционным материалом, а затем удалять элементы поддержки механически.

Послойное склеивание ламината - также достаточно старая технология. Здесь лазерный луч вырезает контур слоя в подаваемом листе (бумаги или пластика). Затем с помощью клея и термического воздействия слой соединяется

с предыдущим, на него накладывается следующий и т.д. В итоге вырезанные по контуру и склеенные между собой слои ламината формируют модель. Поддерживающий материал не нужен, однако, оставшийся незадействованным ламинат сложно отделить от модели. В целом это не самая совершенная, но довольно дешевая технология.

Маршрут технологического процесса: подготовка модели; изготовление литниковой системы; монтирование опалубки для заливки силикона; подготовка силикона в вакуумной камере; дегазация силикона в вакуумной камере; смешивание двух компонентов силикона; заливка силикона в подготовленную опалубку (на воздухе); помещение опалубки в вакуумную камеру для дополнительной дегазации; охлаждение на воздухе в течении 12-15 часов (при комнатной температуре); открытие формы при помощи скальпеля; извлечение модели и элементов литниковой системы; подготовка формы для литья пластика Task 8; скрепление частей силиконовой формы; нагрев формы в термошкафу; смешивание двух точно дозированных компонентов литьевых смол; помещение силиконовой формы внутрь вакуумной камеры; заливка смол в силиконовую форму через воронку, вставленную в литник; извлечение формы из вакуумной камеры и помещение ее в термошкаф; окончательное отверждение Task 8 в термошкафу при температуре 70⁰; разборка формы; извлечение готовой детали; шлифование торца «полуколеса»; сверление двух полуколес за одно в кондукторе.

Литература

1. Макин Ю.Н., Макина А.Ю. Основы производства ЛА и АД: тексты лекций. Конструкторский этап подготовки производства. - М.: МГТУ ГА, 2012. - 40 с.
2. Макин Ю.Н., Ерошкин А.Н., Комиссарова О.В. Основы производства ЛА и АД: текст лекций. - М.:МГТУГА, 1996. - 88 с.
3. Ерошкин А.Н., Груздков С.К. Основы производства ЛА и АД. Сборка, монтаж и испытания: учебное пособие. - М.: МГТУ ГА, 2005. - 64с.
4. Макин Ю.Н. Ремонт летательных аппаратов и авиационных двигателей: текст лекций. Часть 1. - М.: МГТУГА, 1997.
5. Макин Ю.Н. Ремонт ЛА и АД. СД 09. - М.: МГТУ ГА, 2000.
6. Макин Ю.Н. Ремонт летательных аппаратов и авиационных двигателей. (Текст лекций). Часть 2. - М.: МГТУ ГА, 2006.
7. Макин Ю.Н. Основы общей теории авиаремонтного производства. - М.: МГТУ ГА, 2004.
8. Ерошкин А.Н. Основы производства ЛА и АД. - М.: МГТУ ГА. - 64с.
9. Ерошкин А.Н. Основы производства ЛА и АД. - М.: МГТУ ГА. - 64с.
10. Ерошкин А.Н. Основы производства ЛА и АД. - М.: МГТУ ГА. - 64с.
11. Ерошкин А.Н. Альбом иллюстраций по дисциплине "Основы производства ЛА и АД". - М.: МГТУГА. - 96с.
12. Интернет-ресурсы <http://www.mstuca.ru/biblio/eymk.php>
13. Фираго В.П. Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей. - М.: Машиностроение, 1973. - 468 с.

14. Единая система технологической подготовки производства. - М.: Издательство стандартов, 1985.

15. Справочник проектировщика АСУ ТП / Г.Л. Смилянский, Л.З. Амлинский, В.Я. Баранов и др. / под. ред. Г.Л.Смилянского. - М.: Машиностроение, 1983. - 527 с.

16. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационная и ремонтная документация.- М.: Издательство стандартов, 1985.