

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**“УТВЕРЖДАЮ”**

Начальник ОГКВК

 В.П. Драгунов

«31» сентября 2017 г.



**ПРОГРАММА  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

Специальность: 05.07.02 - Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

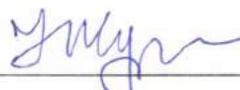
Отрасль науки: технические науки

Степень: кандидат наук

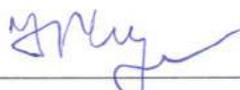
Новосибирск 2017 г.

Программа обсуждена на заседании ученого совета летательных аппаратов,  
протокол № 1 от 30.01.2014 г.

Программу разработал  
д.т.н., доцент

  
\_\_\_\_\_ Н.В. Курлаев

Ответственный за основную  
образовательную программу  
д.т.н., доцент

  
\_\_\_\_\_ Н.В. Курлаев

декан ФЛА:  
д.т.н., профессор С.Д. Саленко

  
\_\_\_\_\_

## ОСНОВНАЯ ПРОГРАММА

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: теоретическая механика, системный анализ; теория проектирования летательных аппаратов, теория надежности и эффективности; технология создания элементов и конструкций; ГАЛС-технология создания летательных аппаратов; методы поиска оптимальных конструкторско-технологических решений, технологические процессы.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по авиационно-космической и ракетной технике при участии МАИ (ТУ) им. С. Орджоникидзе и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

### 1. Общее проектирование ЛА

*1.1. Процесс создания летательного аппарата. Разработка ЛА – многоэтапный процесс. Роль и место проектирования в процессе разработки ЛА*

Летательный аппарат как объект проектирования, производства и эксплуатации. Классификация ЛА; требования, предъявляемые к ЛА. Краткий исторический обзор развития ЛА. Общая характеристика ЛА различного назначения; двигатели, виды траекторий, особенности систем управления и наведения, народно-хозяйственное и боевое применение. Перспективные направления, пути и способы совершенствования ЛА, вопросы конверсии, системы двойного применения.

Определение и задачи проектирования. Этапы проектирования, содержание задач, решаемых на отдельных этапах: разработка технического задания, техническое предложение, эскизный проект, рабочий проект.

Общие и частные критерии оценки проектно-конструкторских решений. Содержание и методы разработки технического задания на проект ЛА. Проектное моделирование, весовой и баллистический анализ ЛА, модели оценки

эффективности и затрат на создание. Выбор основных проектных параметров. Общий подход к оптимизации проектных параметров ЛА (проектных решений): задача, критерии, модели, математическая формулировка постановок задач проектирования, методы оптимизации. Особенности проектно-конструкторских задач – многокритериальный, многопараметрический, динамический, стохастический характер, основные методы поиска решений. Алгоритм решения проектных задач. Три составляющих процесса проектирования: изобретательство, инженерный анализ, принятие решений.

Жизненный цикл изделий, стадии разработки и создания ЛА.

Виды проектной документации.

Нормативные документы, регламентирующие процесс разработки ЛА (АП, ОТТ ВВС, ГОСТы, ОСТы).

Особенности проектирования современных ЛА. Роль научно-технического задела и современных информационных технологий в совершенствовании проектирования.

## *1.2 Системный подход-основа современной методологии проектирования*

Эволюция задач, методов и средств проектирования.

Статистические и аналитические методы определения проектных параметров. Развитие методов оптимального проектирования. Математическая постановка задач оптимального проектирования и методы ее решения.

Необходимость использования системного подхода в проектировании. ЛА как элемент комплекса. Структурно-функциональные элементы ЛА: планер, силовая установка, система управления, бортовые системы и оборудование, целевая (боевая или коммерческая) нагрузка. Интеграция элементов ЛА. Основные положения методологии и системотехники.

Проблемы декомпозиции объекта и задач проектирования. Проблемы моделирования в проектировании. Структура и типы проектных моделей. Соотношение и роль численного и физического моделирования в

проектировании. Принципы оптимальности. Общие и частные критерии оценки эффективности проектно-конструкторских решений.

Проектирование – творческий процесс. Три его составляющие: синтез, анализ и принятие решений. Соотношение формализуемых и неформальных процедур процесса проектирования и пути их объединения. Визуализация как способ решения задач и средство обмена информацией в процессе проектирования, роль машинной графики.

Особенности технологии автоматизированного проектирования. Роль человека в САПР.

### *1.3 Исходные данные для проектирования. Условия и связи, формирующие область существования проекта.*

Техническое задание (ТЗ) на проектирование. Методика разработки. Структура ТЗ. Концептуальное проектирование. Разработка технического предложения. Цель и задачи. Способы идентификации проекта. Классификация переменных: параметры и ограничения, критерии. Виды параметров (дискретные и непрерывные, относительные и абсолютные), их номенклатура.

Связи между параметрами и характеристиками ЛА. Основные условия (связи), определяющие область существования проекта. Уравнения существования ЛА.

Ограничения на область существования проекта. Ограничения, вытекающие из условий реализации заданного профиля полета. Ограничения по числу М, скоростному напору, расчетной перегрузке. Минимальные скорости полета. Ограничения, накладываемые требованиями производственной и эксплуатационной технологичности.

### *1.4 Анализ и выбор схемы*

Определенные схемные. Схемы признаки. Особенности и области применения различных схем.

Конструктивно-компоновочная схема (ККС).

Прогнозирование определяющих параметров – коэффициенты массовых, стоимостных и др. Основная задача проектирования ЛА в составе комплекса. Многоуровневая оптимизация, согласование и сходимость решений главных задач. Эффективное уточнение решения.

Общий алгоритм выбора схемы. Матрица признаков компоновочных схем как основа автоматизированного выбора схемы ЛА.

### *1.5 Определение основных проектных параметров ЛА*

Итерационность определения параметров. Возможные схемы алгоритмов определения проектных параметров. Определение параметров начального приближения. Согласование параметров планера и силовой установки.

Параметрический анализ. Оптимизация проектных параметров при заданных требованиях и ограничениях. Частные и общие критерии оценки качества проекта: прямые эксплуатационные расходы, топливная эффективность. Показатели эффективности многоцелевого ЛА. Скалярная и векторная оптимизация.

Блок-схема алгоритма определения параметров ЛА в системе автоматизированного проектирования.

### *1.6 Методы расчета массы ЛА и ее составляющих*

Классификация масс ЛА. Итерационность процесса определения массы ЛА. Определение массы ЛА и ее составляющих на различных этапах проектирования. Изменение массы в процессе проектирования. Закон «квадрата-куба» и его влияние на массу ЛА. Метод весовых эквивалентов. Лимиты массы и их роль в процессе проектирования.

### *1.7 Компоновка и центровка ЛА*

Тройственность процесса компоновки: аэродинамическая, объемно-массовая и конструктивно-силовая компоновка. Центровка ЛА. Особенности компоновки и центровки различных типов ЛА. Связь центровки, устойчивости и

управляемости. Автоматические системы для определения центровок и веса ЛА. Системы управления положением центра тяжести ЛА в полете. Правило площадей. Общие виды ЛА. Компоновочный чертеж. Теоретические чертежи. Методы построения обводов ЛА. Системы геометрического моделирования. Автоматизация процесса компоновки.

## **2. Проектирование и конструкция летательных аппаратов и их агрегатов**

### *2.1 Общие вопросы конструирования ЛА и их агрегатов*

Принципы конструирования ЛА. Эволюция компоновок конструкций ЛА. Фактор преемственности конструкций. Прогнозирование развития конструкций. Методы формирования конструктивно-силовой схемы. Критерии качества и факторы, его определяющие. Конструкционные способы обеспечения качества: прочность конструкции, устойчивость, герметичность, долговечность, надежность.

Нормы прочности. Коэффициент безопасности. Нормы прочности для различных случаев нагружения.

Аэродинамические, динамические и тепловые нагрузки на ЛА. Влияние температуры на несущую способность конструкции.

Расчетные случаи. Изменение нагрузок на различных этапах эксплуатации ЛА.

Проектирование оптимальных конструкций фюзеляжа, корпуса, крыльев и топливных баков. Несущие и подвесные баки, формы топливных баков. Обечайки топливных баков: гладкие, вафельные, стрингерно-шпангоутные, сотовые, гофрированные.

Методы выбора основных конструкционных, теплозащитных и теплоизоляционных материалов.

Процесс проектирования частей ЛА. Основные параметры частей ЛА.

Методы описания поверхностей агрегатов ЛА. Влияние интенсивности и вида действующей нагрузки на конструкцию ЛА. Надежность и ресурс

конструкции. Выбор конструктивно-силовой схемы. Применение метода конечных элементов (МКЭ) при проектировании рациональных конструктивно-силовых схем.

Выбор материалов элементов конструкции с учетом условий производства, эксплуатации, прочности, жесткости и долговечности.

## *2.2 Проектирование крыла, оперения и органов управления*

Основные весовые и аэродинамические характеристики крыла. Аэродинамическая компоновка крыла, типы профилей крыла, аэродинамическая и геометрическая крутка.

Проектирование механизации и органов управления. Управление пограничным слоем и циркуляций. Непосредственное управление подъемной силой. Адаптивные крылья.

Основные характеристики оперения. Типы оперения. Расположение вертикального и горизонтального оперения на ЛА различного назначения. Определение основных параметров и характеристик оперения. Выбор параметров органов управления. Анализ и выбор конструктивно-силовой схемы оперения и рулей. Конструкция переставных и управляемых стабилизаторов.

## *2.3 Конструкция и проектирование фюзеляжа (корпуса) и силовой установки*

Типы и характеристики фюзеляжа: аэродинамическая компоновка ЛА различного назначения. «Несущий фюзеляж». Анализ и выбор конструктивно-силовой схемы фюзеляжа. Силовая увязка фюзеляжа с крылом, оперением, двигателями. Особенности конструктивно-силовых схем фюзеляжей современных ЛА. Конструктивные мероприятия по повышению живучести и ресурса фюзеляжей. Влияние гермокабин на конструктивно-силовую схему фюзеляжа.

Требования к силовой установке, типы и характеристики авиационных и ракетных двигателей. Логическая блок-схема проектирования силовой

установки. Установка двигателей на ЛА. Размещение топливных баков на дозвуковых и сверхзвуковых ЛА. Топливные отсеки в конструкции корпуса. Защита корпуса от кинетического нагрева. Мероприятия по защите силовой установки и топливных баков от пожара и взрыва в полете.

#### *2.4 Системы управления ЛА*

Требования к системе управления ЛА различного назначения.

Задачи проектирования систем управления, стабилизации и наведения ЛА. Важнейшие характеристики управляемости и их связи с параметрами ЛА. Возмущающие факторы. Способы управления и наведения. Автономные системы управления, системы телеуправления, системы самонаведения.

Исходные данные для проектирования и выбор параметров различных каналов управления. Командные рычаги: типы и конструкция, размещение командных рычагов в кабинах экипажа пилотируемых ЛА, учет требований эргономики. Типы проводок управления, характеристики нагружения, конструкции. Электродистанционные системы управления. Принципы подключения исполнительных механизмов, гидравлические усилители. Обеспечение требований безопасности полета при проектировании систем управления. Резервирование систем. Использование систем управления ЛА для улучшения его летных характеристик.

#### *2.5 Конструкция и проектирование шасси.*

Типы и основные параметры шасси. Анализ и рекомендации по выбору схемы шасси. Характеристики проходимости ЛА по грунтовым и бетонным ВПП. Конструктивно-силовые схемы шасси. Кинематические схемы уборки шасси, авиационные колеса. Системы торможения ЛА, их энергоемкость. Конструкция и расчет амортизаторов, связь параметров амортизации с ресурсом ЛА. Нагружение и работа элементов шасси. Принципы обеспечения надежности и долговечности. Влияние параметров шасси на технико-экономические и эксплуатационные характеристики ЛА. Выбор основных параметров шасси.

## *2.6. Надежность, ресурс и безопасность полета ЛА.*

Основные понятия и показатели надежности. Современный уровень надежности авиационной и ракетно-космической техники, находящейся в эксплуатации. Эксплуатационная технологичность ЛА. Взаимосвязь надежности и эксплуатационной технологичности ЛА и его систем.

Требования ЛА по безопасности полета. Обоснование требований по надежности и безопасности полетов для вновь проектируемых ЛА и их систем.

Порядок работ по количественному анализу схемной надежности систем. Модели и методы количественного анализа схемной надежности ЛА в целом и его систем.

Надежность, живучесть, ресурс и срок службы конструкции планера ЛА.

Нагрузки, действующие на ЛА в полете и при движении на ВПП, их цикличность. Изменение состояния конструкции ЛА в условиях эксплуатации. Основы определения ресурса конструкции. Факторы, влияющие на ресурс. Испытания конструкции на ресурс. Пути повышения усталостной и коррозионной прочности конструкции. Влияние условий эксплуатации на надежность, ресурс и безопасность полета.

## *2.7 Сертификация авиационной техники.*

Основные понятия о сертификации авиационной техники (АТ).

Правовые основы сертификации АТ. Гармонизация правил сертификации АТ мировых авиационных сообществ. Сертификация объектов АТ и эксплуатантов.

Сертификация разработчика авиационной техники (АТ). Сертификация типа и экземпляра АТ. Сертификационный базис воздушных судов (ВС). Требования по шуму и эмиссии вредных веществ. Сертификация комплектующих изделий. Сертификация производства воздушного судна. Поддержание летной годности ВС. Внедрение изменений в тип ВС.

Классификация изменений. Дополнение к сертификату типа. Директивы летной годности. Действия сертификатов летной годности.

### **3. Производство летательных аппаратов**

#### *3.1 Основы технологии производства ЛА*

Основные понятия технологии производства ЛА. Производственный процесс и его составляющие. Конструкторские и технологические методы обеспечения качества. Технологические методы создания высоконадежных и долговечных конструкций ЛА. Состояние поверхностного слоя детали, остаточные напряжения в нем и их влияние на ресурс этой детали. Общие принципы обеспечения точности изготовления деталей в АТ. Понятие о точности и производственных погрешностях. Методы контроля точности и устойчивости технологических процессов. Основные сведения о базах. Правила базирования при изготовлении деталей и сборке.

Методы обеспечения взаимозаменяемости в производстве ЛА. Понятие о взаимозаменяемости и увязке размеров деталей.

Характеристика плазово-шаблонного метода изготовления деталей и сборки ЛА. Теоретические плазы и основные шаблоны. Методы увязки размеров элементов изделия с помощью ЭВМ.

Общие и частные требования технологичности. Показатели технологичности. Последовательность обеспечения технологичности конструкции при проектировании.

Показатели экономической эффективности. Технологические методы повышения производительности труда. Технологическая себестоимость, структура и пути ее снижения технологическими методами.

### 3.2 *Процессы изготовления деталей ЛА*

Тенденции в развитии современного производства ЛА. Классификация деталей, заготовок и полуфабрикатов из металлов и композиционных материалов.

Процессы раскроя заготовок и полуфабрикатов.

Изготовление деталей ЛА изгибом. Аналитические методы расчета упругого возврата, предельной степени деформации и усилия при изгибе. Виды процессов гибки листовых и профильных заготовок.

Изготовление деталей ЛА обтяжкой.

Классификация деталей, изготавливаемых обтяжкой, и процессов, применяемых при этом. Напряженно-деформированное состояние заготовки. Технологичность деталей, изготавливаемых обтяжкой.

Изготовление деталей ЛА вытяжкой и формовкой резиной. Классификация деталей и видов процессов. Типовой анализ напряженно-деформированного состояния заготовки.

Высокоскоростные, высокоэнергетические процессы изготовления ЛА. Физическая сущность рассматриваемых технологических процессов. Перспективы применения указанных процессов.

Процессы создания заданных свойств поверхностных слоев деталей. Комплексная формообразующая и упрочняющая обработка крупногабаритных деталей. Отработка технологичности деталей, подвергаемых упрочнению.

Процессы изготовления деталей ЛА удалением припуска и холодным деформированием. Изготовление деталей электрофизическими и электрохимическими методами.

Технологические процессы термической обработки и создания защитных покрытий.

Основные этапы и последовательность проектирования технологических процессов изготовления деталей. Использование методов типизации и групповой обработки.

### 3.3 *Процессы сборки узлов и агрегатов*

Объем, содержание и условия сборочных работ в производстве ЛА. Основные системы базирования, применяемые при сборке корпуса объектов ракетно-космической техники и планера самолета. Варианты базирования элементов планера с помощью установочных фиксирующих отверстий. Варианты базирования элементов, выходящих на внешний контур.

Характеристика процессов соединений. Классификация процессов выполнения соединений.

Остаточные напряжения, возникающие при сборке. Причины возникновения и значение остаточных напряжений. Остаточные напряжения в конструкциях из композиционных материалов.

Основные положения формирования технологического членения. Структура сборочной единицы и ее технологичность при сборке. О форме сборочных единиц. Условия формирования границ сборочных единиц.

Проектирование процессов сборки узлов и агрегатов.

Характеристика узлов как объектов сборки. Структура сборочного узла. Выбор установочных баз для сборки. Анализ точности сборки. Характеристика соединений, возможности механизации процессов их выполнения.

Условия поставки деталей на сборку. Учет жесткости деталей при сборке. Примеры сборки узлов с соединениями плавлением, на основе адгезии и с механическими соединениями.

Сборка узлов из композиционных материалов.

Способы формообразования узлов из композиционных материалов. Выбор оснастки для процессов сборки и отверждения. Обеспечение точности узлов из композиционных материалов. Особенности механических соединений деталей из композиционных материалов.

Характеристика агрегатов как объектов сборки.

Структура агрегатов как сборочной единицы. Анализ возможного членения. Выбор установочных баз для подборок. Анализ точности сборки.

Характеристика соединений, анализ возможности механизации их выполнения. Выбор варианта технологического членения. Условия постановки деталей и узлов на сборку агрегата. Особенности сборки герметичных агрегатов. Испытание герметичных отсеков. Обеспечение взаимозаменяемости отсеков и агрегатов по стыкам с другими агрегатами.

### *3.4 Процессы окончательной сборки, монтажа и испытания систем ЛА*

Предварительная стыковка агрегатов. Требования к агрегатам, поступающим на окончательную сборку. Влияние конструкции стыка на трудоемкость стыковочных работ.

Монтаж и испытания систем. Подготовка агрегатов планера для монтажа оборудования. Монтаж трубопроводов. Виды испытаний систем оборудования ЛА.

Процессы испытаний узлов, агрегатов и ЛА в целом. Виды и основные задачи испытаний (ГОСТ 16504-81):приемо-сдаточные (ПСИ), конструкторско-доводочные (КДИ), контрольно-выборочные (КВИ), периодические (ПИ). Классификация и общая характеристика испытаний по воздействующим факторам. Испытания на линейные перегрузки, вибродинамические, термовакуумные, климатические. Характеристика процессов пневмо- и гидроиспытаний. Процесс и средства испытаний конструкций на герметичность. Понятие герметичности, контрольного и пробного вещества, детектора течеискания, чувствительности испытаний, способы оценки степени негерметичности. Общая характеристика методов и способов испытаний, и область их применения. Виды испытаний ЛА и его систем в процессе ГС. Определение геометрических параметров ЛА и его агрегатов. Юстировка посадочных мест под установку приборов. Определение положения вектора тяги двигательной установки. Определение положения центра масс, статическая и динамическая балансировка.

### *3.5 Технологическая подготовка серийного производства*

Основные задачи технологической подготовки серийного производства ЛА. Отработка конструкции ЛА на технологичность Проектирование, монтаж и увязка сборочной оснастки. Проектирование сборочных приспособлений. Монтаж сборочных приспособлений. Размерная увязка сборочных приспособлений.

### *3.6 Управление разработкой, автоматизация проектирования, конструирования и производства*

Многоуровневое программно-целевое управление разработкой. Задачи макропроектирования. Постановка задачи оптимизации управления разработкой. Декомпозиция общей задачи. Виды неопределенности и их учет. Методы оптимизации решений с учетом компромиссного характера задачи, динамики и неопределенностей. Методы математического программирования. Статистический метод многоуровневой согласованной оптимизации проектных решений. Методики решения проектных задач с учетом риска и компромисса. Методика комплексной оптимизации конструкторско-технологических параметров изделий.

Пути формализации процесса проектирования, не формализуемые условия. Роль современных вычислительных средств. Математическая формулировка задач проектирования. Динамические методы оптимизации. Возможности машинной компоновки.

Принципы организации и структура систем автоматизированного проектирования и конструирования – САПР. Комплекс технических средств, математическое обеспечение, банки данных, пакеты прикладных программ. Роль человека в САПР.

Принципы разработки и структура пакетов прикладных программ. Модульный принцип построения функциональных блоков САПР. Управление процессами разработки проекта. Блок-схема некоторых типичных комплексных программ проектного анализа и синтеза ЛА и его подсистем.

Механизация и автоматизация технологических процессов. Требования к конструкции ЛА, обеспечивающие возможность автоматизации его изготовления. Автоматизированные системы проектирования технологических процессов (АСП ТП).

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА

1. Задачи механики твердого деформированного тела применительно к формообразованию деталей летательных аппаратов.
2. Штамповка деталей летательных аппаратов при режимах, близких к сверхпластическому состоянию материала.
3. Высокоскоростные, высокоэнергетические методы обработки металлов.
4. Магнитно-импульсное воздействие на металлические материалы, механизм распространения упруго-пластических деформаций.
5. Магнитно-импульсное воздействие на металлические материалы, магнитно-импульсная штамповка.
6. Высокоскоростное деформирование материалов. Динамический предел текучести.
7. Высокоскоростное деформирование материалов. Математическое моделирование.
8. Реологические модели материалов.
9. Математические модели описания поведения твердых тел при интенсивных динамических нагрузках.
10. Модель упруго-пластического течения Прандтля-Рейса.
11. Основные уравнения для двумерных задач.
12. Численные методы решения дифференциальных уравнений с частными производными.
13. Явная конечно-разностная схема типа "крест" для упруго-пластических задач.
14. Особенности численного моделирования динамических задач (устойчивость, выбор разностной сетки).