



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

ФИЛИАЛ ДВФУ В Г.АРСЕНЬЕВЕ

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор филиала ДВФУ  
в г. Арсеньеве

Ю.Ф.Огнев

« 26 » июня 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
КОНСТРУИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ВЕРТОЛЕТА**

**Специальность 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение**

специализация/ Вертолетостроение

**Форма подготовки очная\заочная\заочная (ускоренное обучение на базе СПО)**

Курс 5/5.6/5 семестр 9, А/-/-  
лекции 36/18/16 час.  
практические занятия 64/16/16 час.  
лабораторные работы -/4/4- час.  
с использованием МАО 26/12/10 час.  
в электронной форме лек. -/ пр./ лаб.-  
всего часов контактной работы 100/38/36 час.  
в том числе с использованием МАО 26/12/10 час, в электронной форме - час.  
самостоятельная работа 116/178/144 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 36/13/9 час.  
изучено и зачтено: -/-/36 час.  
курсовой проект А/-/- семестр, 5/6/5 курс  
зачет 9/-/- семестр, курс 5/6/-  
экзамен А/5/- семестр, 5/5/5 курс

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 12 сентября 2016 г. № 1165

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры, протокол № 05 от «26» июня 2018 г.

Составитель (ли): ассистент, А.А. Дроздов, ст. преподаватель, С.И. Боровкова

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании Совета филиала:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании Совета филиала:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**Аннотация к рабочей программе дисциплины  
«Конструирование агрегатов вертолета»**

Данный курс дисциплины «Конструирование агрегатов вертолета» разработан для студентов 5/5,6 курса, обучающихся по специальности 24.05.07 «Самолёто- и вертолётостроение».

Дисциплина «Конструирование агрегатов вертолета» входит в базовую часть профессионального цикла дисциплин специализации вертолётостроения.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 6 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36/18 часов), практические занятия (64/16 часов), лабораторные работы (-/4 часов) самостоятельная работа (80/165 часов, в том числе 36/13 часа на подготовку к экзамену). Дисциплина реализуется на 5/5,6 курсе в 9-м, 10-м семестрах.

**Целью** дисциплины Конструирование агрегатов вертолётов, как науки, является теоретическая и практическая подготовка инженера по специальности вертолётостроение в области проектирования конструктивных элементов вертолёта; конструирования агрегатов вертолёта; проекторочного расчета с целью оценки вариантов конструктивных решений; умения творчески подходить к процессу конструирования.

**Задачами** изучения дисциплины является формирование у студентов:

- знаний по классификации элементов конструкции в соответствии и ЕСКД;
- знаний по основным принципам рационального проектирования элементов конструкции;
- знаний по способам обеспечения прочности при минимальной массе конструкции;
- умений анализировать работу элементов конструкции под нагрузкой;
- умений конструировать детали, узлы и формировать агрегаты конструкции.
- умений рассчитывать на прочность элементы и различные соединения их в конструкции.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общекультурные/ общепрофессиональные/ профессиональные компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
	ОПК-4: способность организовывать свой труд и самостоятельно оценивать результаты своей	Знает
Умеет		способность к работе в коллективе, способностью в качестве руководителя подразделения, лидера группы работников

профессиональной деятельности, владеть навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;	Владеет	навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований
ПК-1: готовность к решению сложных инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин;	Знает	математические и естественнонаучные дисциплины в области принятия решений сложных инженерных задач
	Умеет	решать сложные инженерные задачи с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин
	Владеет	знаниями математических и естественнонаучных дисциплин в решении сложных инженерных задач
ПК-3: способность освоить и использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций;	Знает	передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций
	Умеет	использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций
	Владеет	передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций
ПК-4: способность выполнить техническое и технико-экономическое обоснование принимаемых проектно-конструкторских решений, владением методами технической экспертизы проекта;	Знает	методы технического и технико-экономического обоснования принимаемых проектно-конструкторских решений
	Умеет	принимать экономически обоснованные проектно-конструкторские решения
	Владеет	методами технической экспертизы проекта
ПК-5: готовность разрабатывать проекты изделий летательных аппаратов и их систем на основе системного подхода к проектированию авиационных конструкций;	Знает	основы системного подхода к проектированию авиационных конструкций
	Умеет	разрабатывать проекты изделий летательных аппаратов и их систем на основе системного подхода к проектированию авиационных конструкций
	Владеет	основами системного подхода к проектированию авиационных конструкций
ПК-7: готовность разрабатывать рабочую техническую документацию и обеспечивать оформление законченных проектно-конструкторских работ;	Знает	ЕСТД по оформлению законченных проектно-конструкторских работ
	Умеет	разрабатывать рабочую техническую документацию законченных проектно-конструкторских работ
	Владеет	навыками разработки рабочей технической документации и оформлением законченных проектно-конструкторских работ
ПК-9: готовность создавать и сопровождать документацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции;	Знает	состав и структуру документации, необходимой для поддержки всех этапов цикла разрабатываемой конструкции
	Умеет	создавать и сопровождать документацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции
	Владеет	навыками создания и сопровождения документации, необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции
ПК-22: способность	Знает	порядок проектирования экспериментального

разрабатывать и проектировать экспериментальное оборудование и стенды для проведения исследований;		оборудования и стендов для проведения исследований
	Умеет	разрабатывать техническое задание (технические условия) на проектирование экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований
	Владеет	навыками разработки и проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований
ПСК-2.2: способность и готовность участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов вертолетов и их узлов;	Знает	конструктивно-силовые схемы агрегатов вертолетов и их узлов различных типов вертолетов
	Умеет	анализировать конструктивно-силовые схемы и определять основные тактико-технические характеристики вертолетов
	Владеет	способностью и готовностью участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов вертолетов и их узлов
ПСК-2.4: способность и готовность к проведению проекторочных расчетов аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета;	Знает	методики проведения проекторочных расчетов аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета
	Умеет	производить расчет аэродинамических и летных характеристик вертолета, рассчитывать отдельные узлы и детали на прочность, определять экономическую целесообразность создания вертолета
	Владеет	методиками проекторочных расчетов аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Конструирование агрегатов вертолета» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения:

- лекции;
- практические работы;
- лабораторные работы.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Раздел I. Конструирование деталей конструкций вертолета (6 /- час.)**

#### **Тема 1. Особенности условий работы и эксплуатации конструкций вертолета. (2 /-час.)**

Особенности условий работы и нагружения агрегатов вертолета в процессе его эксплуатации. Основные требования «Летных правил» к конструкциям агрегатов вертолета. Понятия ресурса и долговечности конструкций агрегатов вертолета. Основные причины усталостного разрушения конструкций агрегатов вертолетов.

#### **Тема 2. Металлические сплавы, используемые для изготовления деталей конструкций вертолета. (1 /- час.)**

Требования, предъявляемые к материалам для изготовления деталей основных агрегатов вертолета с учетом особенностей их работы. Металлические сплавы, используемые в конструкциях агрегатов вертолета. Характеристики усталостной прочности металлических сплавов.

#### **Тема 3. Композиционные материалы, используемые в конструкции вертолета. (1 /- час.)**

Полимерные композиционные материалы (ПКМ), используемые в конструкциях агрегатов вертолета. Проектирование ПКМ для изготовления деталей агрегатов вертолетов в зависимости от типа детали, ее размерности, условий нагружений и предъявляемых требований. Связь между функциональным назначением детали из ПКМ, способом ее изготовления, условиями ее работы и составом ПКМ. Расчет характеристик ПКМ. Усталостная прочность композиционных материалов.

#### **Тема 4. Формирование конструктивно-силовой схемы деталей. (1 /- час.)**

Основные требования, предъявляемые к деталям (прочностные, технологические, эксплуатационные, экономические и т. д.). Принципы правила

формирования конструктивно-силовой схемы деталей в зависимости от функционального назначения и условий работы.

**Тема 5. Конструирование деталей с учетом требований усталостной прочности. (1 /- час.)**

Причины и факторы, способствующие усталостному разрушению деталей. Способы и конструктивные мероприятия, способствующие повышению усталостной прочности деталей. Защита деталей от коррозии и других вредных факторов в процессе эксплуатации.

**Раздел II. Конструирование соединений и узлов конструкций вертолета.(4 /4 час.)**

**Тема 1. Виды и типы соединений используемых в конструкции вертолета (2 /2 час.)**

Основные требования, предъявляемые к соединениям деталей агрегатов вертолета. Классификация соединений, используемых в конструкции вертолета. Конструирование резьбовых соединений. Виды и типы неразъемных соединений. Особенности проектирования резьбовых, заклепочных и клеевых соединений деталей, выполненных из композиционных материалов.

**Тема 2. Конструирование типовых узлов конструкции. (2 /2 час.)**

Типы и виды шарниров, используемых в конструкции агрегатов вертолетов. Конструирование узла типа «ухо-вилка». Конструирование шарнирных узлов. Конструирование тяги качалок системы управления. Конструирование силовых узлов в местах стыка элементов конструкции агрегатов.

**Раздел III. Конструирование несущих и рулевых винтов. (6 /2 час.)**

**Тема 1. Требования и исходные данные для конструирования несущих и рулевых винтов. (2 /1 час.)**

Требования, предъявляемые к конструкциям несущих и рулевых винтов. Исходные данные, необходимые для конструирования несущих и рулевых винтов. Нагрузки, действующие на несущие и рулевые винты. Последовательность процесса конструирования лопастей несущих винтов.

Расчет силовых элементов лопасти исходя из требований статической прочности.

**Тема 2. Обеспечение аэроупругой устойчивости конструкции лопасти несущего винта. (2 /1 час.)**

Отстройка от флаттера и резонанса лопастей несущих и рулевых винтов. Балансировка лопастей несущих и рулевых винтов.

**Тема 3. Конструирование различных типов втулок несущих и рулевых винтов. (2 /- час.)**

Выбор параметров втулок несущих и рулевых винтов. Типы шарниров, применяемых на втулках несущих и рулевых винтов (шарниры с подшипниками качения, с торсионами, с эластомерными подшипниками и др.). Конструирование подшипников, используемых в шарнирах втулок несущих и рулевых винтов. Конструирование втулок с торсионами. Конструирование втулок с эластомерными подшипниками.

**Раздел IV. Конструирование основных агрегатов трансмиссии. (2 /2 час.)**

**Тема 1. Конструктивно-кинематические схемы трансмиссии вертолета. (2 /2)**

Требования, предъявляемые к конструкции агрегатов трансмиссии вертолета. Конструктивно- кинематические схемы основных агрегатов трансмиссий вертолетов различных схем. Анализ конструктивно-кинематических схем главного редуктора трансмиссии вертолета. Выбор схемы главного редуктора. Установка главного редуктора на вертолете.

**Раздел V. Конструирование основных элементов силовой установки. (2 /1 )**

**Тема 1. Размещение двигателя на вертолете. (2 /1 час.)**

Требования, предъявляемые к силовой установке вертолета. Выбор размещения двигателей на вертолете. Анализ конструкций воздухозаборника двигателя. Выбор типа пылезащитного устройства двигателя. Анализ схем выходных устройств двигателя.

**Раздел VI. Конструирование каркасных агрегатов. (6 /6 час.)**

**Тема 1. Конструктивно-силовые схемы фюзеляжа. (2 /2 час.)**

Анализ конструктивно-силовых схем фюзеляжа. Требования, предъявляемые к конструкции фюзеляжа. Нагрузки, действующие на фюзеляж. Назначение, условия работы продольного, поперечного набора и обшивки фюзеляжа. Конструирование нормальных и силовых шпангоутов. Выбор параметров стрингеров, лонжеронов и обшивки. Выбор стыка обшивки фюзеляжа в зависимости от расположения и условий его работы. Конструирование продольных стыков. Конструирование поперечных стыков. Анализ и выбор параметров панелей. Проектный расчет стрингерной, сотовой и композитной панелей при различных видах нагружения.

**Тема 2. Конструирование крыла вертолета. (2 /2 час.)**

Анализ и выбор конструктивно-силовой схемы крыла вертолета. Проектный расчет крыла вертолета.

**Тема 3. Конструирование оперения вертолета. (2 /2 час.)**

Анализ и выбор конструктивно-силовой схемы оперения вертолета. Проектный расчет оперения вертолета.

**Раздел VII. Конструирование механической проводки системы управления. (6 /2 час.)**

**Тема 1. Конструктивно-кинематические схемы проводки управления вертолета. (2 /1 час.)**

Тенденции развития системы управления вертолета. Состав и назначения основных агрегатов системы управления вертолета. Анализ конструктивных и кинематических схем проводки управления одновинтового вертолета, соосного вертолета и вертолета продольной схемы. Основные командные рычаги в кабине пилотов, их расположение и основные параметры. Передаточные отношения между перемещениями командных рычагов и исполнительных механизмов.

**Тема 2. Конструирование элементов проводки управления. (2 /- час.)**

Изучение кинематических схем, обеспечивающих независимость каналов управления вертолетом. Изучение принципов конструирования проводки

управления. Изучение кинематики командных рычагов управления. Конструирование участка проводки управления. Разработка эскизного чертежа элемента проводки управления.

**Тема 3. Конструктивно-кинематические схемы автоматов перекоса. (2 /1 час.)**

Анализ конструктивно-кинематической схемы автомата перекоса классической схемы. Автомат перекоса типа "Паук". Колонка несущего винта со стабилизирующими устройствами.

**Раздел VIII. Конструирование взлетно-посадочных устройств вертолета. (4 /2 час.)**

**Тема 1. Выбор схемы и параметров колесных шасси. (2 /2 час.)**

Нагрузки, действующие на шасси. Условия и принцип работы колесного шасси. Выбор схемы колесного шасси в зависимости от назначения и условий эксплуатации вертолета. Требования к размещению стоек шасси. Выбор колеи и базы шасси. Выбор колес.

**Тема 2. Конструирование ползкового шасси . (2 /- час.)**

Нагрузки, действующие на шасси. Условия и принцип работы колесного шасси. Выбор схемы колесного шасси в зависимости от назначения и условий эксплуатации вертолета. Требования к размещению стоек шасси. Выбор колеи и базы шасси. Выбор колес. Определение исходных данных для расчета амортизатора.

**II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ  
КУРСА**

**Практические занятия (64 /16 час.)**

**Занятие 1. Конструирование детали агрегата вертолета. (4 /- час.)**

Разработка конструктивно-силовой схемы детали на основе прототипа, выбираемого из образцов деталей агрегатов вертолетов в учебной лаборатории. Выбор материала детали. Проектный расчет детали. Разработка эскизного чертежа детали. Проверочный расчет на прочность детали.

**Занятие 2. Конструирование заклепочных и резьбовых соединений деталей. (4 /2 час.)**

Выбор и расчет параметров элементов соединения. Разработка эскизного сборочного чертежа соединений деталей с использованием заклепочного шва и болтов.

**Занятие 3. Конструирование узла с соединением типа «ухо-вилка». (4 /- час.)**

Разработка конструктивно-силовой схемы узла на основе прототипа, выбираемого из образцов конструкций агрегатов вертолетов в учебной лаборатории. Выбор и расчет параметров узла. Разработка сборочного эскизного чертежа узла.

**Занятие 4. Конструирование лопастей несущих винтов вертолетов. (4 /2 час.)**

Изучение принципов конструирования лопастей несущих винтов вертолета. Разработка конструктивно силовой схемы лопасти. Статический расчет лопасти. Разработка конструкции лопасти. Разработка узла крепления лопасти к втулке. Разработка эскизного чертежа лопасти.

**Занятие 5. Конструирование втулок несущих и рулевых винтов. (4 /- час.)**

Выбор и расчет параметров втулки несущего винта. Изучение принципов конструирования шарниров втулки несущего винта. Разработка эскизного чертежа шарниров втулки.

**Занятие 6. Конструирование валов трансмиссии. (4 /2 час.)**

Выбор типа и схемы вала трансмиссии. Проектировочный расчет вала трансмиссии. Составление эскизного чертежа вала трансмиссии.

**Занятие 7. Конструирование муфты трансмиссии.. (4 /- час.)**

Выбор конструктивно-кинематической схемы муфты трансмиссии. Проектировочный расчет муфты трансмиссии. Разработка эскизного чертежа муфты.

**Занятие 8. Конструирование элементов установки двигателей на вертолете. (4 /2 час.)**

Изучение конструктивных схем установки двигателей на вертолетах различных схем. Разработка эскизной схемы крепления двигателя на вертолете. Изучение конструктивных решений, направленных на гашение колебаний двигателя.

**Занятие 9. Конструирование элементов топливной системы. (4 /- час.)**

Изучение принципов конструирования агрегатов топливной системы. Расчет параметров и характеристик агрегатов топливной системы. Разработка эскизной схемы топливной системы вертолета.

**Занятие 10. Конструирование элементов фюзеляжа. (4 /2 час.)**

Изучение конструктивно-силовых схем регулярных зон фюзеляжа. Конструирование элементов фюзеляжа с использованием металлических сплавов и полимерных композиционных материалов. Проектировочный расчет элементов фюзеляжа в регулярных зонах. Разработка эскизного чертежа элемента фюзеляжа. Изучение принципов конструирования элементов фюзеляжа в нерегулярной зоне. Разработка эскизного чертежа элементов фюзеляжа в нерегулярных зонах (вырезы, люки, двери, трапы, и т. п.).

**Занятие 11. Конструирование крыла и оперения вертолета. (4 /2 час.)**

Изучение конструктивных схем крыла и оперения. Конструирование элементов крыла и оперения с использованием металлических сплавов и полимерных композиционных материалов. Разработка эскизного чертежа крыла и элементов оперения..

**Занятие 12. Конструирование автомата перекоса.(8 /2 час.)**

Изучение конструктивно-кинематических схем автомата-перекоса. Выбор и расчет параметров гидроусилителей. Разработка эскиза схемы бустерной системы управления вертолетом.

**Занятие 13. Конструирование элементов проводки управления. (4 /- час.)**

Изучение кинематических схем, обеспечивающих независимость каналов управления вертолетом. Изучение принципов конструирования проводки управления. Изучение кинематики командных рычагов управления.

Конструирование участка проводки управления. Разработка эскизного чертежа элемента проводки управления.

**Занятие 14. Конструирование колесного шасси. (4 /2 час.)**

Изучение конструктивно–кинематических схем колесных шасси и принципов конструирования колесных шасси вертолетов различного назначения. Расчет и выбор проектных параметров колесных шасси. Выбор колес шасси. Выбор параметров и расчет амортизатора. Разработка эскиза стойки шасси.

**Занятие 15. Конструирование ползкового шасси. (4 /- час.)**

Изучение принципов конструирования ползкового шасси вертолета. Выбор и расчет параметров ползкового шасси. Разработка эскизного чертежа ползкового шасси.

**Лабораторные работы (- /4 час.)**

**Лабораторная работа №1. (- /4 час.)**

Расчет и проектирование узла механического агрегата вертолета. Определение параметров соединения, разработка его конструкции. Разработка сборочного чертежа узла (эскизный проект).

**III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Конструирование агрегатов вертолета» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства - наименование	
			текущий контроль	промежуточная аттестация
1	ОПК-4: способность организовывать свой труд и самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владеть навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;	знает	УО-1	1-5
		умеет	ПР-7	5-9
		владеет	ПР-2	1-2
2	ПК-1: готовность к решению сложных инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин;	знает	УО-1	10-14
		умеет	ПР-7	14-18
		владеет	ПР-2	3
3	ПК-3: способность освоить и использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций;	знает	УО-1	19-24
		умеет	ПР-7	25-30
		владеет	ПР-2	4-5
4	ПК-4: способность выполнить техническое и технико-экономическое обоснование принимаемых проектно-конструкторских решений, владением методами технической экспертизы проекта;	знает	УО-1	31-36
		умеет	ПР-7	37-40
		владеет	ПР-2	6-7
5	ПК-5: готовность разрабатывать проекты изделий летательных аппаратов и их систем на основе системного подхода к проектированию авиационных	знает	УО-1	41-44
		умеет	ПР-7	45-49
		владеет	ПР-2	8

	конструкций;			
6	ПК-7: готовность разрабатывать рабочую техническую документацию и обеспечивать оформление законченных проектно-конструкторских работ;	знает	УО-1	50-55
		умеет	ПР-7	56-59
		владеет	ПР-2	9-11
7	ПК-9: готовность создавать и сопровождать документацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции;	знает	УО-1	60-66
		умеет	ПР-7	67-73
		владеет	ПР-2	12
8	ПК-22: способность разрабатывать и проектировать экспериментальное оборудование и стенды для проведения исследований;	знает	УО-1	74-79
		умеет	ПР-7	80-83
		владеет	ПР-2	13-14
9	ПСК-2.2: способность и готовность участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов вертолетов и их узлов;	знает	УО-1	84-85
		умеет	ПР-7	86-87
		владеет	ПР-5	88-90
10	ПСК-2.4: способность и готовность к проведению проекторочных расчетов аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета;	знает	УО-1	91-93
		умеет	ПР-7	94-96
		владеет	ПР-5	15

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература.

1. Далин В.Н., Михеев С.В., Конструкция вертолетов – М.: МАИ, 2001.
2. Завалов О.А., Конструкция вертолетов - М.: МАИ, 2004.

3. Башаров Е.А., Дудченко А.А. Конструирование агрегатов вертолетов из полимерных композиционных материалов (учебн. пособие МАИ). –2014.– 268С.
4. Башаров Е.А. Особенности проектирования легких вертолетов (методическое пособие МАИ). - 2016. – 473 С.
5. Богданов Ю.С. , Михеев Р.А., Скулков Д.Д. Конструкция вертолетов М.: Транспорт, 1990. – 270 С.
6. Бойцов В.В., Ганиханов Ш.Ф., Крысий В.Н. Сборка агрегатов вертолѐта. - М.: Машиностроение, 1983. – 342 С.
7. Братухин И.П. Проектирование и конструкции вертолетов. М.: Оборонгиз, - 1955. – 360 С.

#### **Дополнительная литература.**

1. Братухин И.П., Проектирование и конструирование вертолетов. - М.: Оборонгиз, 1955.
2. Миль М. Л., Некрасов А.В., Браверман А.С.,Гродко Л.Н., Лейканд М.А., Вертолеты. Расчет и проектирование. Т 2, Колебания и динамическая прочность. - М.: Машиностроение, 1966 – 1967.
3. Дмитриев И.С., Есаулов С.Ю., Системы управления одновинтовых вертолетов. - М.: Машиностроение, 1969.
4. Тищенко М.Н., Некрасов А.В., Радин А.С., Вертолеты. Выбор параметров при проек-тировании. - М.: Машиностроение, 1976.
5. Далин В.Н., Завалов О.А., Конструирование элементов трансмиссии вертолета. Мето-дические указания к лабораторной работе - М.: МАИ, 1992.
6. Далин В.Н., Завалов О.А., Конструирование механических агрегатов системы управ-ления вертолетом. Методические указания к практическим занятиям - М.: МАИ, 1986.
7. Далин В.Н., Завалов О.А., Конструирование шасси вертолета. Методические указания к лабораторно-практическим занятиям - М.: МАИ, 1987.

8. Далин В.Н., Завалов О.А., Козачук А.Д., Конструирование каркаса вертолета. Методические указания к лабораторно-практическим занятиям. - М.: МАИ, 1989.

#### **Нормативно-правовые материалы**

1. Государственные стандарты Единой системы конструкторской документации - Электронный ресурс – Режим доступа: [http://ivo.garant.ru/#/kind-doclist/62/Акты органов власти:1](http://ivo.garant.ru/#/kind-doclist/62/Акты%20органов%20власти:1)
2. Государственные стандарты Системы разработки и постановки продукции на производство [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/97/9786.shtml>
3. Авиационные правила/ Авиационный регистр МАК – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://armak.mak-iac.org/registr/aviatsionnye-pravila/>

#### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине «Конструирование агрегатов вертолётов» используются следующие информационные технологии и программные продукты:

- Интернет-технологии;
- справочные системы «Консультант Плюс» и «Гарант»;
- стандартный пакет офисных программ;
- система инженерного анализа NX Advanced Simulation;
- система автоматизированного проектирования КОМПАС 3D.
- система прочностного анализа для КОМПАС 3D АРМ FEM.

#### **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Аудиторные занятия включают лекционные, практические и лабораторные занятия. На лекционных занятиях изучаются теоретические

основы дисциплины. Практические занятия проводятся после теоретических занятий и предназначены для закрепления полученных знаний. Практические занятия по дисциплине «Конструирование агрегатов вертолётов» проводятся в форме решения задач по определению конструктивных параметров проектируемых авиационных конструкций, при выполнении практических задач обучающиеся могут пользоваться стандартными и специализированными программными продуктами. Лабораторные работы предназначены для получения знаний, формирования практических умений и навыков создания конструкции и проведения её инженерного анализа в специализированной инженерной системе. Практические и лабораторные работы могут проводиться в групповой форме. Если по теме дисциплины предусмотрено проведение нескольких занятий, то практические работы могут проводиться или после изучения всего лекционного материала, или его определенной части.

На первом занятии преподаватель предоставляет студентам план изучения дисциплины: последовательность тем, рассматриваемые в каждой теме вопросы, трудоёмкость каждой темы, литературу и другие необходимые информационные материалы. Материалы практических и лабораторных занятий предоставляются перед началом практических и лабораторных занятий. В ходе практических и лабораторных занятий преподаватель оказывает студентам помощь при решении задач. По лабораторным работам предусмотрена защита отчетов.

На первых занятиях по дисциплине преподаватель даёт студентам задание для самостоятельной работы и методические указания по её выполнению устанавливает график выполнения и представления результатов самостоятельной работы.

По дисциплине «Конструирование агрегатов вертолётов» предусмотрено выполнение курсовой работы после изучения первой части дисциплины. В начале учебного семестра преподаватель выдаёт студентам

задание для выполнения курсовой работы, устанавливает график выполнения работы и назначает время консультаций.

В процессе изучения дисциплины студенты могут обращаться к преподавателю на консультацию, согласно графику консультаций. Форма взаимодействия между преподавателем и студентами определяется преподавателем.

Важной составляющей изучения дисциплины является формирование у обучающихся навыков работы с информационными источниками, в частности с учебной и научной литературой. Обучающиеся должны пользоваться учебной и научной литературой из предлагаемого списка при подготовке к лекциям, также они могут пользоваться и другой литературой, в которой раскрываются рассматриваемые темы. Особо внимание формированию навыков работы с информационными источниками уделяется при проведении практических, лабораторных занятий и выполнении обучающимися самостоятельной работы.

По завершению изучения дисциплины «Конструирование агрегатов вертолётов» обучающиеся сдают экзамен. Экзамен сдаётся после изучения каждого раздела дисциплины. Преподаватель на первом занятии выдает вопросы к экзамену и типы практических задач, которые обучающийся должен решить на экзамене. В ходе изучения дисциплины обучающиеся могут обращаться к преподавателю для разъяснения вопросов, которые могут вызвать у них трудности на экзамене. Перед экзаменом проводится консультация, согласно установленного графика, на которой обучающиеся могут уточнить непонятные им вопросы.

## **I. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Проведение занятий по дисциплине «Конструирование агрегатов вертолётов» проводится с использованием:

- персональных компьютеров, установленных в вычислительном центре филиала, на которых имеется специализированное программное обеспечение для проведения расчетов на прочность авиационных конструкций (NX Advanced Simulation и APM FEM Компас 3D);
- проектора для проведения учебных занятий.

**Приложение 1**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

**ФИЛИАЛ ДФУ В г. АРСЕНЬЕВЕ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине **«Конструирование агрегатов вертолѐта»**  
Специальность **24.05.07** Самолѐто- и вертолѐтостроение  
специализация **«Вертолѐтостроение»**  
Форма подготовки **очная/ заочная**

**Арсеньев  
2018**

## 1. План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	2 неделя 9 семестра	Конструирование деталей конструкций вертолета	4	Зачтено/не зачтено
2	4 неделя 9 семестра	Конструирование соединений и узлов конструкций вертолета	6	Зачтено/не зачтено
3	6 неделя 9 семестра	Конструирование несущих и рулевых винтов	6	Зачтено/не зачтено
4	8 неделя 9 семестра	Конструирование основных агрегатов трансмиссии	4	Зачтено/не зачтено
5	2 неделя 10 семестра	Конструирование основных элементов силовой установки	4	Зачтено/не зачтено
6	4 неделя 10 семестра	Конструирование каркасных агрегатов	6	Зачтено/не зачтено
7	6 неделя 10 семестра	Конструирование механической проводки системы управления	4	Зачтено/не зачтено
8	7 неделя 10 семестра	Конструирование взлетно-посадочных устройств вертолета	6	Зачтено/не зачтено
9	8 неделя 10 семестра	Выполнение курсовой работы	40	Защита курсовой работы

## 2. Характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению

### Курсовой проект: Конструирование крыла вертолѐта.

Цель курсового проекта – более глубокое и детальное ознакомление студентов с особенностями конструкции вертолѐта и овладение практическими приемами расчета на прочность элементов планера вертолѐта.

Задание на курсовой проект предусматривает решение следующих задач:

1. Выбор прототипа вертолѐта по его характеристикам, являющимися исходными данными к проекту.

2. Определение массовых и геометрических характеристик вертолѐта, необходимых для расчета нагрузок, по выбранному прототипу, компоновка крыла.

3. Назначение эксплуатационной перегрузки и коэффициента безопасности для заданного расчетного случая.

4. Определение нагрузок, действующих на крыло при выполнении вертолѐтом заданного маневра, построение эпюр.

5. выбор типа конструктивно-силовой схемы крыла (лонжеронное, кессонное, моноблочное) и подбор параметров сечения (расстояния от корня крыла до расчетного сечения задается преподавателем).

6. Расчет сечения крыла на изгиб.

7. Расчет сечения крыла на сдвиг.

8. расчет сечения крыла на кручение.

9. Проверка обшивки крыла и стенок лонжерона на прочность и устойчивость.

10. Расчет на прочность элементов крыла (по указанию преподавателя).

Примечания.

1. Необходимый объем расчетов из перечисленных разделов проекта назначается преподавателем индивидуально.

2. Оформление расчетно-пояснительной записки производится в соответствии с ГОСТ 2.105-79.

3. Защита курсового проекта проводится публично, всеми студентами группы в одно время.

Обозначения:

L - размах крыла;

S - площадь крыла;

$\lambda$ - удлинение крыла;  
 $\eta$ - сужение крыла;  
 $\bar{c}$  - относительная толщина профиля сечения крыла;  
 $\bar{c}_{\text{корн.}}$ ,  $\bar{c}_{\text{конц.}}$  - относительная толщина профиля соответственно в  
корневом и  
концевом сечениях крыла;  
 $\chi_{0,25}$  - стреловидность крыла по линии четвертой хорд;  
 $G$ - взлетный вес вертолёта;  
 $G_{\text{кр.}}$  - вес крыла;  
 $b$ - текущая хорда крыла;  
 $b_{\text{корн.}}$  - корневая хорда крыла;  
 $b_{\text{конц.}}$  - концевая хорда крыла;  
 $f$ - коэффициент безопасности;  
 $n_y^{\text{э}}$  - максимальная эксплуатационная перегрузка в направлении оси Y;  
 $P^{\text{э}}$  - эксплуатационная нагрузка;  
 $P$  - расчетная нагрузка;  
 $\tilde{\Gamma}_{\text{пл.}}$  - относительная циркуляция прямого плоского крыла;  
 $\tilde{\Gamma}_{\chi}$  - относительная циркуляция крыла с учетом стреловидности;  
 $q^{\text{аэр}}$  - погонная аэродинамическая нагрузка на крыло;  
 $Q^{\text{аэр}}$  - перерезывающая сила в сечении крыла от аэродинамической  
нагрузки;  
 $M^{\text{аэр}}$  - момент аэродинамической нагрузки в сечении крыла;  
 $q^{\text{кр}}$  - погонная нагрузка от веса крыла;  
 $Q^{\text{кр}}$  - перерезывающая сила от веса крыла;  
 $M^{\text{кр}}$  - момент силы веса в сечении крыла;  
 $q^{\text{топл}}$  погонная нагрузка от веса баков с топливом;  
 $G_{\text{топл}}$  - вес топлива в крыльевых баках;  
 $Q^{\text{топл}}$  - перерезывающая сила от веса баков с топливом;  
 $G_{\text{агр}}$  - вес агрегатов и сосредоточенных грузов;

$M^{\text{топл}}$  - момент сил веса баков с топливом;  
 $Q^{\text{соср}}$  - перерезывающая сила от сосредоточенных масс;  
 $M^{\text{соср}}$  - момент сосредоточенных инерционных сил;  
 $N$  – растягивающее усилие, действующее в панели крыла;  
 $\delta$  - толщина обшивки;  
 $H$  - высота лонжерона;  
 $e$  - шаг стрингеров;  
 $a$  - расстояние между нервюрами;  
 $n$  - число стрингеров;  
 $F_{\text{стр}}$  - площадь сечения стрингера;  
 $F_{\text{л-н}}$  - площадь сечения полки лонжерона;  
 $\delta_{\text{ст}}$  - толщина стенки лонжерона;  
 $\sigma_{\text{в}}$  - напряжение предела прочности материала;  
 $\sigma_{\text{кр}}, \tau_{\text{кр}}$  - напряжения потери устойчивости соответственно при сжатии и сдвиге;  
 $E$  - модуль продольной упругости;  
 $G$  - модуль сдвига;  
 $\nu$  - коэффициент Пуассона.

## МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### 1. Выбор прототипа вертолѐта по его характеристикам

Исходными данными к проекту являются следующие характеристики: размах крыла  $L$ , площадь крыла  $S$ , сужение крыла  $\eta$ , относительная толщина профиля  $\bar{c}$  в корневом и концевом сечениях крыла, стреловидность крыла по линии четвертей хорд  $\chi_{0,25}$ , взлетный вес вертолѐта  $G$ , расчетный случай ( $A$ ,  $A'$ ,  $B$  и т.д.). По геометрическим и массовым характеристикам вертолѐта определяется его прототип, например, по работам.

### 2. Установление массовых и геометрических характеристик вертолѐта, компоновка крыла

Для найденного прототипа выясняются особенности компоновки крыла (количество и расположение двигателей, шасси, топливных баков, органов управления, механизации, сосредоточенных грузов на узлах внешней подвески), вес топлива и агрегатов, расположенных на крыле. В случае, если массовые характеристики агрегатов не удастся найти в литературе, то их величины определяются (по согласованию с преподавателем) с использованием статистических данных для рассматриваемого типа вертолётов.

С использованием найденных геометрических характеристик выполняется эскиз крыла в масштабе 1:5, 1:6, 1:10, 1:25, производится его компоновка (размещение лонжеронов, различных грузов и т.д.). Геометрические характеристики крыла, необходимые для его построения, определяются по формулам:

$$\eta = \frac{b_{корн.}}{b_{конц.}}, \quad S = \frac{b_{корн.} + b_{конц.}}{2} \cdot L, \quad \lambda = \frac{L^2}{S}$$

$$b_{конц.} = \frac{2 \cdot S}{\lambda \cdot (1 + \eta)}$$

Угол стреловидности крыла  $\chi$  задан по линии, проходящей через четверти хорд (рис. 1). На крыле, вычерченном в масштабе, необходимо нанести линию центров тяжести, линию, проходящую через четверти хорд, линию центров давления, условные оси координат и разбить крыло на сечения  $\bar{z} = 0,0,1,0,2,\dots,0,9,0,95,1,0$ . Здесь  $\bar{z} = 2 \cdot z/L$ .

### **3. Назначение эксплуатационной перегрузки и коэффициента безопасности**

Величина эксплуатационной перегрузки и коэффициент безопасности для заданного вертолёта и расчетного случая назначается с использованием работ [2,3,5,6,7] и лекционного материала. В тексте

пояснительной записке необходимо обосновать выбор числовых значений этих параметров. В зависимости от степени потребной маневренности все вертолёты делятся на три класса

Класс А - маневренные вертолёты, к которым относятся вертолёты, совершающие резкие маневры ( $9 \leq n_{y\max}^{\circ} \leq 5$ ). Кратковременно перегрузка для таких вертолётов может достигать 10÷11 единиц.

Класс Б – ограниченно маневренные вертолёты, которые совершают маневр, в основном, в горизонтальной плоскости ( $n_{y\max}^{\circ} = 3 \div 4$ ).

Класс В – неманевренные вертолёты, не совершающие сколь-нибудь резкого маневра ( $n_{y\max}^{\circ} = 2 \div 3$ ).

Транспортные и пассажирские вертолёты относятся к классу В, бомбардировщики к классу Б или В.

Все разнообразие нагрузок, действующих на вертолёт, сводится к расчетным режимам или расчетным случаям, которые сведены в специальный документ. Обозначаются расчетные случаи буквами латинского алфавита с индексами. В таблице 1 приведены некоторые расчетные случаи нагружения вертолёта в полете(аналогичны самолету).

Таблица 1.					
Расчетный случай	Характеристика полета	$n_y$	$q$	$c_y$	$f$
A	Криволинейный полет, соответствующий выходу самолета из пикирования или полету в неспокойном воздухе (для тяжелых самолетов)	$n_{y \max}^{\ominus}$	—	$\dot{y}_{\max}$	1,5
A'	Криволинейный полет, соответствующий максимальному скоростному напору пикирования или планирования	$n_{y \max}^{\ominus}$	$l_{\max}$	—	1,5
B	Маневр самолета с отклоненными элеронами	$0,5 \cdot n_{y \max}^{\ominus}$	$l_{\max}$	—	2,0
C	Вертикальное пикирование самолета	0	$l_{\max}$	0	2,0
D	Вход самолета в пикирование	$-0,5 \cdot n_{y \max}^{\ominus}$	—	$c_{y \min}$	1,5
D'	Полет на отрицательных углах атаки с большой скоростью	$-0,5 \cdot n_{y \max}^{\ominus}$	$l_{\max}$	—	1,5

Коэффициент безопасности  $f$  назначается от 1,5 до 2,0 в зависимости от продолжительности действия нагрузки и повторяемости ее в процессе эксплуатации.

Максимальную эксплуатационную перегрузку при маневре вертолёта с убранной взлетно-посадочной механизацией определяют следующим образом

$$n_{y \max}^{\ominus} = 3,8 \quad \text{при } m \leq 8000 \text{ кг}$$

$$n_{y \max}^{\ominus} = 2,5 \quad \text{при } m > 27500 \text{ кг}$$

Для промежуточных значений полетной массы перегрузка определяется по формуле

$$n_{y \max}^{\ominus} = 1 + \frac{250}{\sqrt{m}}$$

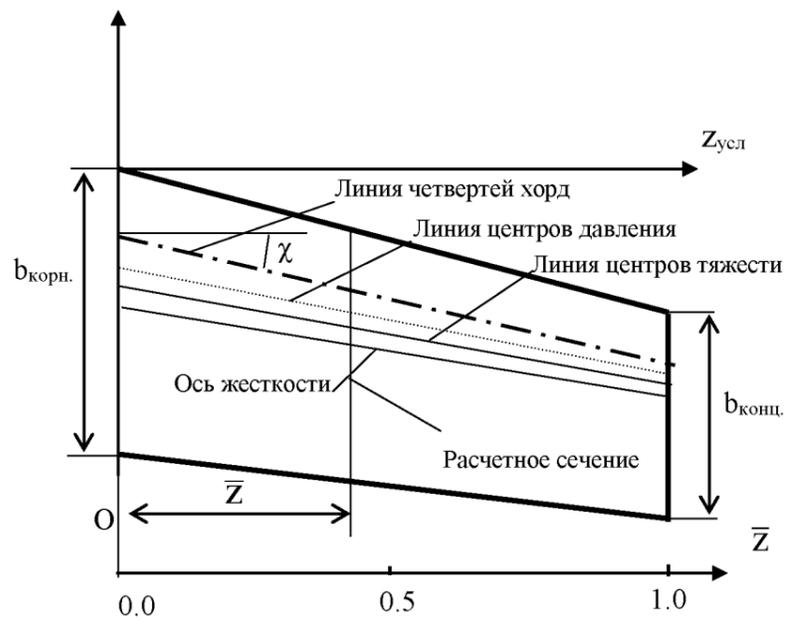


Рис. 1

#### 4. Определение нагрузок, действующих на крыло

Конструкция крыла рассчитывается по разрушающим нагрузкам

$$P_{\text{разр.}} = P^{\circ} \cdot f, \quad P^{\circ} = G \cdot n_y^{\circ}$$

##### 4.1 Определение аэродинамических нагрузок

Аэродинамическая нагрузка распределяется по размаху крыла в соответствии с изменением относительной циркуляции  $\tilde{\Gamma}_{\text{пл.}}$  (при вычислении  $\tilde{\Gamma}_{\text{пл.}}$  коэффициента влияния фюзеляжа и мотогондол можно пренебречь). Значения  $\tilde{\Gamma}_{\text{пл.}}$  следует брать из работы [4], где они задаются в виде графиков или таблиц для различных сечений крыла в зависимости от его характеристик (удлинения, сужения, длины центроплана и т.д.). Можно воспользоваться данными приведенными в таблице 2.

1.1

1.2 Таблица 2

$\bar{z}$	$\tilde{\Gamma}_{\text{пл.}} \text{ при } 2 \leq \lambda \leq 5$			
	$\eta=2$	$\eta=3$	$\eta=4$	$\eta=5$
0	1,2604	1,321	1,3553	1,3792
0,1	1,254	1,3124	1,3454	1,3669
0,2	1,2242	1,2858	1,3152	1,3413
0,3	1,1989	1,2395	1,2625	1,2794
0,4	1,1463	1,1713	1,1857	1,198
0,5	1,0763	1,0811	1,0845	1,0884
0,6	0,9911	0,9727	0,9631	0,9577
0,7	0,8946	0,8622	0,8287	0,8137
0,8	0,7865	0,7241	0,6875	0,6624
0,9	0,6345	0,5664	0,5236	0,4669
0,95	0,4933	0,447	0,3979	0,3817
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Распределение циркуляции по сечениям для трапецевидных крыльев

Расчетная погонная аэро-динамическая нагрузка (направление  $q^{\text{аэр.}}$  прибли-женно можно считать перпендикулярным плос-кости хорд крыла) для плоского крыла при  $0^\circ \leq \chi_{0,25} \leq 10^\circ$

$$q^{\text{аэр.}} = \frac{P_{\text{разр.}}}{L} \cdot \tilde{\Gamma}_{\text{пл.}} \quad (1)$$

Для крыльев со стрело-видностью  $10^\circ \leq \chi_{0,25} \leq 35^\circ$

$$q^{\text{аэр.}} = \frac{P_{\text{разр.}}}{L} \cdot \tilde{\Gamma}_{\chi}, \quad (2)$$

где

$$\tilde{\Gamma}_{\chi} = \left[ \tilde{\Gamma}_{\text{пл.}} - 2 \cdot (1 - \bar{z}) \cdot (1 - \cos\chi) \right] \cdot \frac{1}{\cos\chi} \quad (3)$$

При учете стреловидности не принимается во внимание кривизна крыла. Для крыльев со стреловидностью  $\chi > 35^\circ$  формула (3) дает ошибку в значениях циркуляции до 20 %.

Методика расчета для неплоских крыльев любой формы изложена в работе [1].

По эпюре распределенных нагрузок  $q^{\text{аэр}}$ , вычисленных для 12 сечений по формулам (1) или (2), строятся последовательно эпюры  $Q^{\text{аэр}}$  и  $M^{\text{аэр}}$ . Используя известные дифференциальные зависимости, находим

$$Q^{\text{аэр}} = \int_{L/2}^z q^{\text{аэр}} dz$$

$$M^{\text{аэр}} = \int_{L/2}^z Q^{\text{аэр}} dz$$

Интегрирование проводится численно, используя метод трапеций (рис.2). По результатам вычислений строятся эпюры изгибающих моментов и перерезывающих сил.

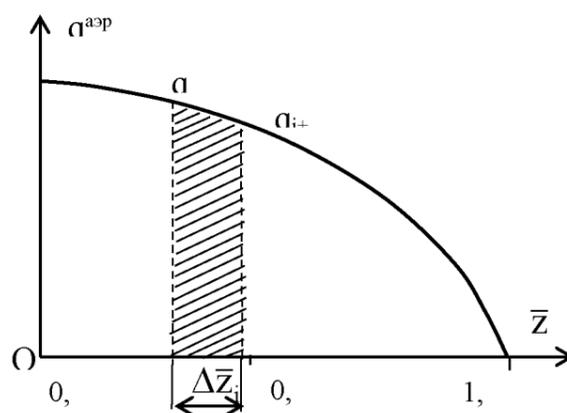


Рис.2

#### 4.2 Определение массовых и инерционных сил

4.2.1 Определение распределенных сил от собственного веса конструкции крыла. Распределение массовых сил по размаху крыла с незначительной погрешностью можно считать пропорциональным аэродинамической нагрузке

$$q^{\text{кр.}} = \frac{G_{\text{кр.}}}{G} \cdot q^{\text{аэр.}}$$

или пропорционально хордам

$$q^{\text{кр.}} = \frac{G_{\text{кр.}} \cdot n_y^3 \cdot f}{S} \cdot b$$

Погонная массовая нагрузка приложена по линии центров тяжести сечений, расположенной, обычно, на 40-50% хорды от носка. По аналогии с аэродинамическими силами определяются  $Q^{\text{кр.}}$  и  $M^{\text{кр.}}$ . По результатам вычислений строят эпюры.

4.2.3 Построение эпюр от сосредоточенных сил. Сосредоточенные инерционные силы от агрегатов и грузов, расположенных в крыле и присоединенных к крылу, приложены в их центрах тяжести и принимаются направленными параллельно аэродинамическим силам. Расчетная сосредоточенная нагрузка

$$P^{\text{соср.}} = G_{\text{соср.}} \cdot n_y^3 \cdot f$$

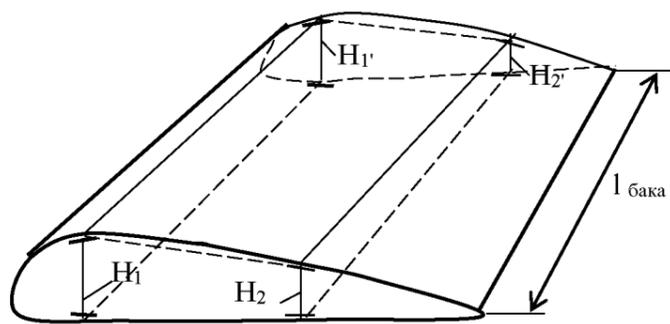


Рис. 4

Результаты приводятся в виде эпюр  $Q^{\text{сопр.}}$  и  $M^{\text{сопр.}}$ . Строятся суммарные эпюры  $Q_{\Sigma}$  и  $M_{x\Sigma}$  от всех сил, приложенных к крылу, с учетом их знаков:

$$Q_{\Sigma} = Q^{\text{аэр.}} + Q^{\text{кр.}} + Q^{\text{сопр.}}$$

$$M_{x\Sigma} = M^{\text{аэр.}} + M^{\text{кр.}} + M^{\text{сопр.}}$$

### 4.3 Вычисление моментов, действующих относительно условной оси

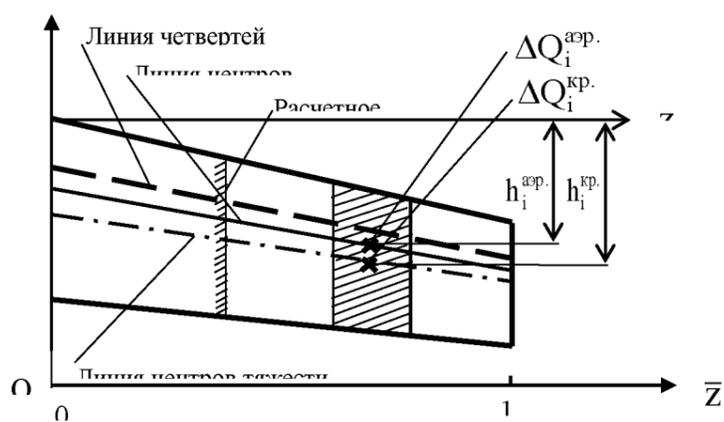


Рис. 5

4.3.1 Определение  $M_{z_{\text{усл.}}}^{\text{аэр.}}$  от аэродинамических сил. Аэродинамические силы действуют по линии центров давления, положение которой считается известным. Вычертив крыло в плане, отметим положение  $\Delta Q_i^{\text{аэр.}}$  на линии центров давления и по чертежу определим  $h_i^{\text{аэр.}}$  (рис.5).

Далее вычисляем  $\Delta M_{Z_{\text{усл.}i}}^{\text{аэр}}$  и  $M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{аэр}}$  по формулам

$$\Delta M_{Z_{\text{усл.}i}}^{\text{аэр}} = \Delta Q_i^{\text{аэр}} \cdot h_i^{\text{аэр}}$$

$$M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{аэр}} = \sum_{i=1}^n \Delta M_{Z_{\text{усл.}i}}^{\text{аэр}}$$

и строим эпюру  $M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{аэр}}$ .

4.3.2. Определение  $M_{Z_{\text{усл.}}}$  от распределенных массовых сил крыла ( $M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{кр.}}$  и  $M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{топл.}}$ ). Массовые силы, распределенные по размаху крыла, действуют по линии центров тяжести его конструкции (см. рис. 5).

$$\Delta M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{кр.}} = \Delta Q_i^{\text{кр.}} \cdot h_i^{\text{кр.}},$$

где  $\Delta Q_i^{\text{кр.}}$  - расчетная сосредоточенная сила от веса части крыла между двумя соседними сечениями;  $h_i^{\text{кр.}}$  - плечо от точки приложения силы  $\Delta Q_i^{\text{кр.}}$  до оси  $Z_{\text{усл.}}$ . Аналогично вычисляются значения  $\Delta M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{топл.}}$ . По расчетам строятся эпюры  $M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{кр.}}$  и  $M_{Z_{\text{усл.}}}^{\text{топл.}}$ .

4.3.3 Определение  $M_{Z_{\text{усл.}}}$  от сосредоточенных сил.

$$M_{Z_{\text{усл.}i}}^{\text{соср.}} = P_i^{\text{соср.}} \cdot h_i^{\text{соср.}},$$

где  $P_i^{\text{соср.}} = P_i \cdot n_y^3 \cdot f$ , расчетный вес каждого агрегата или груза;  $h_i^{\text{соср.}}$  - расстояние от центра тяжести каждого агрегата или груза до оси.

После вычисления  $M_{Z_{\text{усл.}i}}^{\text{соср.}}$  определяется суммарный момент  $M_{Z_{\text{усл.}}}^{\Sigma}$  от всех сил, действующих на крыло, и строится эпюра  $M_{Z_{\text{усл.}}}^{\Sigma}$  (имеется ввиду алгебраическая сумма).

$$M_{Z_{усл.}}^{\Sigma} = M_{Z_{усл.}}^{аэр.} + M_{Z_{усл.}}^{кр.} + M_{Z_{усл.}}^{топл.} + M_{Z_{усл.}}^{сопр.}$$

#### 4.4 Определение расчетных значений $M_{изг.}$ и $M_{кр.}$ для заданного сечения крыла

Для определения  $M_{изг.}$  и  $M_{кр.}$  следует:

- найти приближенное положение центра жесткости (рис. 6)

$$x_{ц.ж.} = \frac{\sum_{i=1}^m H_i^2 \cdot l_i^2}{\sum_{i=1}^m H_i^2},$$

где  $H_i$  - высота  $i$ -го лонжерона;  $l_i$  - расстояние от выбранного полюса А до стенки  $i$ -го лонжерона;  $m$  – количество лонжеронов;

- вычислить момент относительно оси  $Z$ , проходящей через приближенное положение центра жесткости и параллельной оси  $Z_{усл.}$

$$M_Z^{\Sigma} = Q_{\Sigma} \cdot a - M_{Z_{усл.}}^{\Sigma};$$

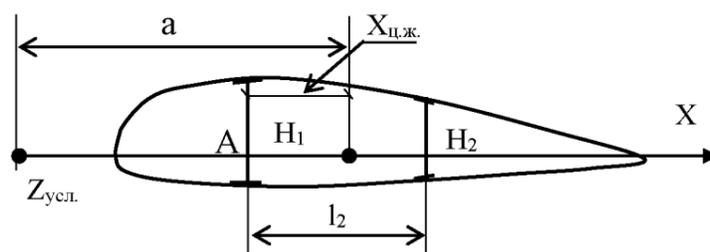


Рис.6

- для стреловидного крыла сделать поправку на стреловидность (рис.7) по формулам

$$M_{кр.} = M_{z_1}^{\Sigma} = M_z^{\Sigma} \cdot \cos\chi - M_x^{\Sigma} \cdot \sin\chi$$

$$M_{\text{изг.}} = M_{x_1}^{\Sigma} = M_z^{\Sigma} \cdot \sin\chi + M_x^{\Sigma} \cdot \cos\chi$$

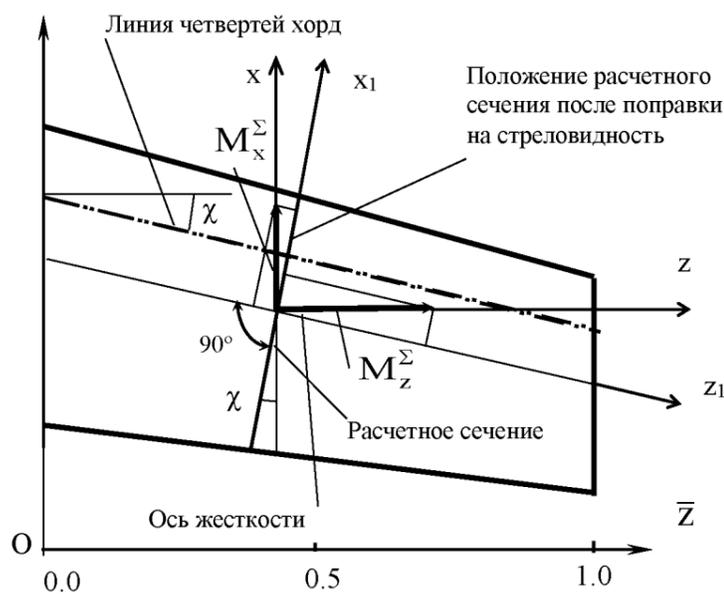


Рис. 7

## 5. Выбор конструктивно-силовой схемы крыла, подбор параметров расчетного сечения

### 5.1 Выбор конструктивно- силовой схемы крыла

Тип конструктивно-силовой схемы крыла выбирается с использованием рекомендаций, изложенных в лекциях и работах [1,2,3,7].

### 5.2 Выбор профиля расчетного сечения крыла

Относительная толщина профиля расчетного сечения определяется по формуле (4). Из работы [9] выбирается симметричный (для простоты) профиль, соответствующий по толщине  $\bar{c}$  рассматриваемому типу вертолёта и составляется таблица 3. Подобранный профиль вычерчивается на миллиметровой бумаге в масштабе (1:10, 1:25). В случае отсутствия в справочнике профиля необходимой толщины можно взять из справочника наиболее близкий по толщине профиль и все данные пересчитать по формуле

Таблица 3.

$x\%$	$y_B\%$	$y_H\%$	$y_B^{(см)}$	$y_H^{(см)}$	$h = y_B^{(см)} + y_H^{(см)}$
0					
10					
...					
100					

$$y = y_{справ.} \cdot \frac{\bar{c}}{\bar{c}_{справ.}}$$

где  $y$  – расчетное значение ординаты;  $y_{справ.}$  – табличное значение ординаты;  $\bar{c}_{справ.}$  – табличное значение относительной толщины профиля крыла.

Для стреловидного крыла следует сделать поправку на стреловидность по формулам

$$b' = b \cdot \cos\chi,$$

$$\bar{c}' = \frac{\bar{c}}{\cos\chi}$$

### 5.3 Подбор параметров сечения (ориентировочный расчет)

#### 5.3.1 Определение нормальных усилий, действующих на панели крыла

Для последующих расчетов будем считать положительными направления  $M_{изг.}$  и  $Q_\Sigma$  в расчетном сечении (рис. 8). Пояса лонжеронов и стрингеры с присоединенной обшивкой воспринимают изгибающий момент  $M_{изг.}$ . Усилия, нагружающие панели, можно определить из выражения

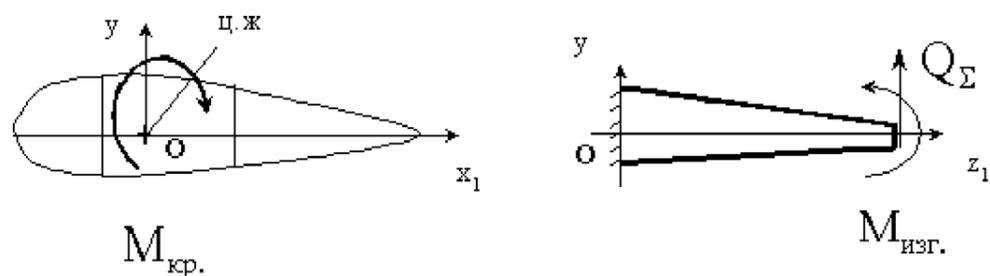


Рис. 8

$$N = \pm \frac{M_{изг.}}{H_{ср.}}$$

где  $H_{ср.} = \frac{F}{B}$ ;  $F$  – площадь поперечного сечения крыла, ограниченная крайними лонжеронами;  $B$  – расстояние между крайними лонжеронами; (рис. 9).

Для растянутой панели усилие  $N$  принять со знаком плюс, для сжатой – со знаком минус.

На основе статистических данных в расчете следует принять усилия, воспринимаемые полками лонжеронов -  $N_{л-на} = \alpha \cdot N$ ,  $N_{стр.} = \beta \cdot N$ ,  $N_{обш.} = \gamma \cdot N$ .

Значения коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  даны в таблице 4 и зависят от типа крыла.

Таблица 4.

Тип крыла	Значения коэффициента		
	◇	◇	◇
Кессонное	0,70	0,20	0,1
Моноблочное	0,30	0,45	0,25

5.3.2. Определение толщины обшивки. Толщину обшивки  $\delta$  для растянутой зоны определяют по 4-ой теории прочности:

$$\delta_{расч.} = \frac{1}{\sigma_6} \cdot \sqrt{\left(\frac{M_{изг.} \cdot \gamma}{H_{сп.} \cdot B}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{M_{кр.}}{2 \cdot H_{сп.} \cdot B}\right)^2},$$

где  $\sigma_6$  - напряжение предела прочности материала обшивки;  $\gamma$  - коэффициент, значение которого приведено в таблице 4. Для сжатой зоны толщину обшивки следует принять равной  $\delta_{сж.} = 1,3 \cdot \delta_{расч.}$ .

5.3.3 Определение шага стрингеров и нервюр. Шаг стрингеров  $\ell$  и нервюр  $a$  выбирают с таким расчетом, чтобы поверхность крыла не имела недопустимой волнистости.

Для расчета прогибов обшивки считаем ее свободно опертой на стрингеры и нервюры (рис. 10). Наибольшее значение прогиба достигается в центре рассматриваемой пластины:

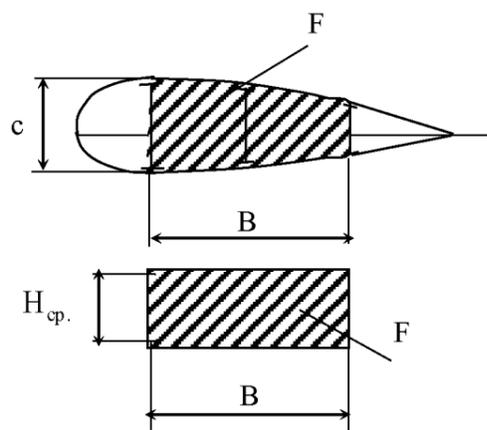


Рис. 9

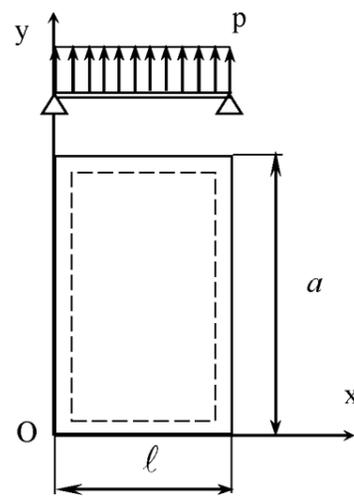


Рис. 10

$$w = d \cdot \frac{p \cdot \ell^4}{D},$$

где  $p = P/S$  - удельная нагрузка на крыло;  $D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$  - цилиндрическая жесткость обшивки. Значения коэффициентов  $d$  в зависимости от  $a/\ell$  приведены в работе [8]. Обычно это отношение равно 3.

Расстояние между стрингерами и нервюрами следует выбирать так, чтобы  $w/\ell \leq 0,02 \div 0,002$ .

Число стрингеров в сжатой панели

$$n_{сж.} = \frac{B_o}{\ell},$$

где  $B_o$  - длина дуги обшивки сжатой панели.

Количество стрингеров в растянутой панели следует уменьшить на 20%. Как отмечалось выше, расстояние между нервюрами  $a = 3 \cdot \ell$ .

5.3.4 Определение площади сечения стрингеров. Площадь сечения стрингера в сжатой зоне в первом приближении

$$F_{стр.сж.} = \frac{N_{стр.}}{\sigma_{кр.стр.} \cdot n_{сж.}},$$

где  $\sigma_{кр.стр.}$  - критическое напряжение стрингеров в сжатой зоне ( в первом приближении  $\sigma_{кр.стр.} = 0,5 \div 0,6 \sigma_\sigma$  ).

Площадь сечения стрингеров в растянутой зоне

$$F_{стр.раст.} = \frac{N_{стр.}}{\sigma_\sigma \cdot 0,9n_{раст.}},$$

где  $\sigma_\sigma$  - предел прочности материала стрингера при растяжении.

5.3.5 Определение площади сечения лонжеронов. Площадь полок лонжеронов в сжатой зоне

$$F_{л.сж.} = \frac{N_{л-н}}{\sigma_{кр.л-н}},$$

где  $\sigma_{кр.л-н}$  - критическое напряжение при потере устойчивости полки лонжерона.  $\sigma_{кр.л-н} \approx 0,8\sigma_v$  (берется предел прочности материала лонжерона).

Площадь каждой полки двухлонжеронного крыла находится из условий

$$\frac{F_{л-н1}}{F_{л-н2}} = \frac{H_1^2}{H_2^2}, F_{л-н сж.} = F_{л-н1} + F_{л-н2}, \quad (5)$$

а для трехлонжеронного крыла

$$\frac{F_{л-н1}}{F_{л-н2}} = \frac{H_1^2}{H_2^2}, \frac{F_{л-н2}}{F_{л-н3}} = \frac{H_2^2}{H_3^2}, F_{л-н сж.} = F_{л-н1} + F_{л-н2} + F_{л-н3} \quad (6)$$

Площадь лонжеронов в растянутой зоне

$$F_{л-н раст.} = \frac{N_{л-н}}{\sigma_v \cdot k},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий ослабление поясов лонжеронов крепежными отверстиями; при заклепочном соединении  $k = 0,9 \div 0,95$ .

Площадь каждой полки находится аналогично площади в сжатой зоне из условий (5) или (6).

5.3.6 Определение толщины стенок лонжеронов. Предполагаем, что вся перерезывающая сила воспринимается стенками лонжеронов

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где  $Q_i$  - сила, воспринимаемая стенкой  $i$ -го лонжерона. Для трехлонжеронного крыла ( $n=3$ )

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{H_1^2}{H_2^2}, \quad \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{H_2^2}{H_3^2},$$

где  $H_1, H_2, H_3$  - высоты стенок лонжеронов в расчетном сечении крыла.

Толщина стенки

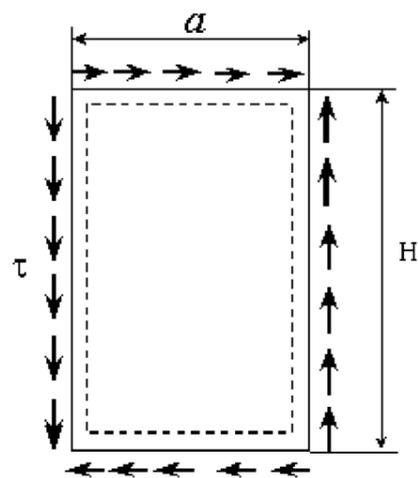


Рис. 11

$$\delta_{ст.i} = \frac{Q_i}{H_i \cdot \tau_{кр.i}}. (7)$$

Здесь  $\tau_{кр.i}$  - критическое напряжение потери устойчивости стенки лонжерона крыла от сдвига (рис. 11). Для вычислений  $\tau_{кр.i}$  следует принять все четыре стороны стенки свободно опертыми:

$$\tau_{кр.i} = k_{\tau_i} \cdot 0,9 \cdot E \cdot \left( \frac{\delta_{ст.i}}{H_i} \right)^2, \quad (8)$$

где  $k_{\tau_i} = 5,60 + 3,78 \cdot \left( \frac{H_i}{a} \right)^2$  при  $a > H_i$ , при  $a < H_i$  следует заменить в (8)  $H_i$  на  $a$ , а в формуле для  $k_{\tau_i} - \left( \frac{H_i}{a} \right)$  на  $\left( \frac{a}{H_i} \right)$ . Формула (8) справедлива для  $\tau_{кр.i} \leq \tau_{шт}$ .

Подставляя значения  $\tau_{кр.i}$  из (8) в (7), находим толщину стенки  $i$ -го лонжерона

$$\delta_{ст.i} = \sqrt[3]{\frac{Q_i \cdot H_i}{0,9 \cdot k_{\tau_i} \cdot E}}$$

## 6. Расчет сечения крыла на изгиб

Для расчета сечения крыла на изгиб вычерчивается профиль расчетного сечения крыла, на котором размещаются пронумерованные стрингеры и лонжероны (рис.12). В носике и хвостике профиля следует располагать стрингеры с большим шагом, чем между лонжеронами. Расчет сечения крыла на изгиб проводится методом редуционных коэффициентов и последовательных приближений.

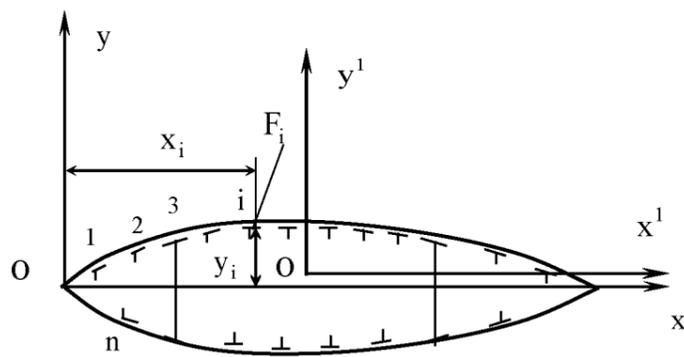


Рис. 12

### 6.1 Порядок расчета первого приближения

Определяются в первом приближении приведенные площади поперечного сечения продольных ребер (стрингеров, поясов лонжеронов) с присоединенной обшивкой

$$F_i^{\text{пр.}} = F_{i\Sigma} \cdot \Phi_i^1, \quad F_{i\Sigma} = F_i + F_{i\text{прис.}}^{\text{обш.}}, \quad (9)$$

где  $F_i$  - действительная площадь сечения  $i$ -го ребра;  $F_{i\text{прис.}}^{\text{обш.}}$  - присоединенная площадь обшивки ( $F_{i\text{прис.}}^{\text{обш.}} = 0,8 \cdot \delta \cdot \ell$  - для растянутой панели,  $F_{i\text{прис.}}^{\text{обш.}} = 30 \cdot \delta^2$  - для сжатой панели);  $\Phi_i^1$  - редуционный коэффициент первого приближения.

Если материал полок лонжеронов и стрингеров разный, то следует сделать приведение к одному материалу через редуционный коэффициент по модулю упругости

$$\Phi_{iE} = \frac{E_i}{E_o},$$

где  $E_i$  - модуль материала  $i$ -го элемента;  $E_o$  - модуль материала, к которому приводится конструкция (как правило, это материал пояса самого нагруженного лонжерона). Тогда

$$\Phi_{i\Sigma}^1 = \Phi_i^1 \cdot \Phi_{iE}$$

В случае разных материалов поясов лонжеронов и стрингеров в формулу (9) вместо  $\Phi_i^1$  подставляется  $\Phi_{i\Sigma}^1$ .

Определяем координаты  $x_i$  и  $y_i$  центров тяжести сечений продольных элементов профиля относительно произвольно выбранных осей  $x$  и  $y$  (рис. 12) и вычисляем статические моменты элементов  $F_i^{\text{пр.}} \cdot x_i$  и  $F_i^{\text{пр.}} \cdot y_i$ .

Определяем координаты центра тяжести сечения первого приближения по формулам

$$x_c^1 = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^{\text{пр.}} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i^{\text{пр.}}}, \quad y_c^1 = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^{\text{пр.}} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n F_i^{\text{пр.}}}$$

Через найденный центр тяжести проводим оси  $x^1$  и  $y^1$  (ось  $x^1$  удобно выбрать параллельной хорде сечения) и определяем координаты центров тяжести всех элементов сечения относительно новых осей.

Вычисляем моменты инерции (осевые и центробежный) приведенного сечения относительно осей  $x^1$  и  $y^1$ :

$$I_{x^1}^{\text{пр.}} = \sum_{i=1}^n F_i^{\text{пр.}} \cdot y_i^{12}, \quad I_{y^1}^{\text{пр.}} = \sum_{i=1}^n F_i^{\text{пр.}} \cdot x_i^{12}, \quad I_{x^1 y^1}^{\text{пр.}} = \sum_{i=1}^n F_i^{\text{пр.}} \cdot x_i^1 \cdot y_i^1$$

Определяем угол поворота главных центральных осей сечения:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot I_{x^1 y^1}^{\text{пр.}}}{I_{y^1}^{\text{пр.}} - I_{x^1}^{\text{пр.}}}$$

Если угол  $\alpha$  будет больше  $5^\circ$ , то оси  $x^1$  и  $y^1$  следует повернуть на этот угол (положительное значение угла соответствует вращению осей по часовой стрелке) и далее вести расчет относительно главных центральных осей. В целях упрощения расчета угол  $\alpha$  рекомендуется вычислять только при расчетах последнего приближения. Обычно, если ось  $x^1$  выбрана параллельно хорде сечения, угол  $\alpha$  оказывается незначительным и им можно пренебречь.

Определяем напряжения в элементах сечения в первом приближении

$$\sigma_i^1 = \frac{M_{\text{изг.}}}{I_{x^1}^{\text{пр.}}} \cdot y_i^1 \cdot \varphi_i^1 \cdot \varphi_E$$

Полученные напряжения  $\sigma_i^1$  сравниваем с  $\sigma_{\text{кр.л-н}}$  и  $\sigma_{\text{кр.стр.}}$  для сжатой панели и с  $\sigma_{\text{в.л-н}}$  и  $\sigma_{\text{в.стр.}}$  - для растянутой панели.

## 6.2 Определение критических напряжений стрингеров

Критическое напряжение стрингера  $\sigma_{\text{кр.стр.}}$  вычисляется из условия общей и местной форм потери устойчивости. Для вычисления  $\sigma_{\text{кр.стр.}}$  общей формы потери устойчивости используем выражение

$$\sigma_{\text{кр.стр.}} = \sigma_{\text{в.}} \cdot \frac{1 + \nu}{1 + \nu + \nu^2}, \quad (10)$$

где  $v = \frac{\sigma_v}{\sigma_{кр.э}}$ . Здесь  $\sigma_{кр.э}$  - критическое напряжение, вычисленное по формуле Эйлера:

$$\sigma_{кр.э} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}, \quad \lambda = \frac{v \cdot a}{i_x}, \quad (11)$$

где  $\mu$  - коэффициент, зависящий от условий опирания концов стрингера;  $a$  - шаг нервюр;  $\lambda$  - гибкость стрингера с присоединенной обшивкой;  $i_x$  - радиус инерции относительно центральной оси сечения.

В формуле (11) под  $i_x$  следует понимать  $i_{min}$ , но в целях упрощения положение главной инерциальной оси считаем совпадающим с осью  $x$ .

В свою очередь

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F_{стр.}^{пр.}}}$$

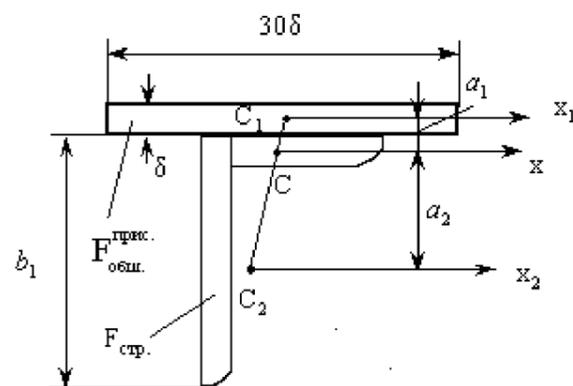


Рис.13

где  $I_x$  - момент инерции стрингера с присоединенной обшивкой относительно оси  $x$  (рис.13);  $F_{стр.}^{пр.}$  - площадь сечения стрингера с присоединенной обшивкой. Ширина присоединенной обшивки берется равной  $30 \delta$  (рис.13).

$$F_{стр.}^{пр.} = F_{стр.} + F_{обш.}^{прис.}$$

При этом

$$I_x = I_{x_1} + F_{обш.}^{прис.} \cdot a_1^2 + I_{x_2} + F_{стр.} \cdot a_2^2,$$

где  $I_{x_1}$  - момент инерции присоединенной обшивки относительно собственной центральной оси  $x_1$  (обычно значения  $I_{x_1}$  - малы);  $I_{x_2}$  - момент инерции стрингера относительно собственной центральной оси  $x_2$ .

Для вычисления  $\sigma_{кр.стр.}$  местной формы потери устойчивости рассмотрим потерю устойчивости свободной полки стрингера как пластины, шарнирно опертой по трем сторонам (рис.14). На рис. 14 обозначено:  $a$  – шаг нервюр;  $b_1$  – высота свободной полки стрингера (рис.13). Для рассматриваемой пластинки  $\sigma_{кр.}$  вычисляется по асимптотической формуле (10), в которой

$$\sigma_{кр.э} = 0,9 \cdot k_{\sigma} \cdot E \left( \frac{\delta_c}{b_1} \right)^2,$$

где  $k_{\sigma}$  – коэффициент, зависящий от условий нагружения и опирания пластины,  $\delta_c$  – толщина свободной полки стрингера.

Для рассматриваемого случая

$$k_{\sigma} = 0,425 + \left(\frac{b_1}{a}\right)^2$$

Для сравнения с действительными напряжениями, полученными в результате редуцирования, выбирается меньшее напряжение, найденное из расчетов общей и местной потери устойчивости.

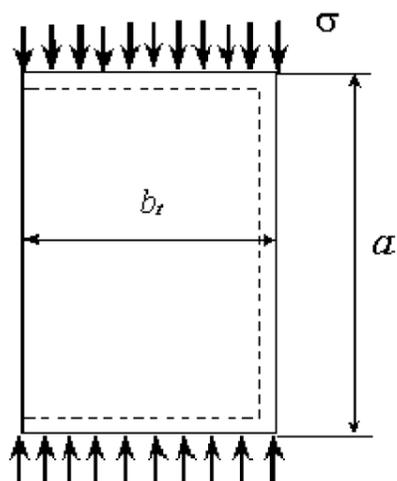


Рис. 14

В процессе редуцирования необходимо обратить внимание на следующее: если напряжения в сжатой полке лонжерона окажутся больше или равными разрушающим в любом из приближений, то конструкция крыла не способна выдержать расчетную нагрузку и ее надо усилить. Дальнейшие приближения в этом случае делать не следует. Если в каком-либо сжатом стрингере с номером "k" (с присоединенной обшивкой) напряжение  $\sigma_k^i$  окажется меньше  $\sigma_{кр.стр.k}$ , то редуциционный коэффициент для него и в последующем приближении следует оставить прежним  $\varphi_k^{i+1} = \varphi_k^i$ ; если в каком-либо сжатом стрингере (с присоединенной обшивкой) с номером "m" напряжение  $\sigma_m^i$  окажется больше  $\sigma_{кр.стр.m}$  то в последующем приближении редуциционный коэффициент следует вычислять по формуле

$$\varphi_m^{i+1} = \frac{\sigma_{\text{кр.стр. } m} \cdot y_{\text{л-на}}^i}{\sigma_{\text{л-на}}^i \cdot y_m^i} ;$$

если ни в одном стрингере напряжение  $\sigma_j^i$  не превысит  $\sigma_{\text{кр.стр. } j}$ , то конструкция явно перетяжелена и требует облегчения.

В растянутой зоне уточнение редуционных коэффициентов в процессе последовательных приближений ведется так же, но сравнение расчетных напряжений ведется не с  $\sigma_{\text{кр.стр.}}$ , а с  $\sigma_{\text{в}}$ .

В результате мы получаем новые уточненные редуционные коэффициенты последующего приближения  $\varphi_j^{i+1}$ . Далее рассчитываем следующее приближение в том же порядке и снова уточняем редуционные коэффициенты. Расчет продолжается до тех пор, пока редуционные коэффициенты двух последующих приближений практически совпадут (в пределах 5%).

## 7. Расчет сечения крыла на сдвиг

Расчет сечения крыла на сдвиг ведется без учета влияния кручения (поперечная сила  $Q_{\Sigma}$  считается приложенной в центре жесткости сечения, полагая, что на сдвиг работают стенки лонжеронов и обшивка).

### 7.1 Порядок расчета

Для расчета многоконтурного сечения на сдвиг делаются продольные разрезы в панелях таким образом, чтобы контур стал открытым. Для сечения крыла разрезы удобно делать в плоскости хорд в носке крыла и в стенках лонжеронов (рис. 15). В местах разрезов прикладываются неизвестные замыкающие погонные касательные усилия  $q_1, q_{II}, q_{III}$ .

Погонные касательные усилия  $q_i$  в обшивке панелей сечения крыла определяются как сумма погонных касательных усилий  $q_{oi}$  в незамкнутом контуре и замыкающих усилий  $q_l, q_n, q_m$ . Усилия  $q_{oi}$  определяются формулой

$$q_{oi} = -\frac{Q_\Sigma \cdot S_{1,i-1}^{отс.}}{I_x^{ред}}, \quad (12)$$

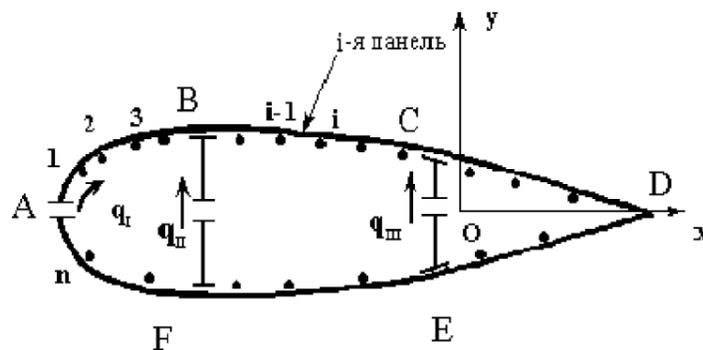


Рис. 14

где  $Q_\Sigma$  - расчетная поперечная сила;

$$S_{1,i-1}^{отс.} = \sum_{k=1}^{k=i-1} y_k \cdot F_k^{пр.}$$

статический момент площади части сечения, ограниченного 1-м и (i-1) - м ребрами (принятый порядок нумерации ребер очевиден из рис. 14);  $I_x^{ред}$  - главный момент инерции всего сечения, причем положение центра тяжести берется из последнего приближения расчета на изгиб.

В формуле (12) направление поперечной силы  $Q_\Sigma$  считается положительным при его совпадении с положительным направлением оси y, т.е. вверх. Положительные направления потоков касательных усилий совпадают с направлением обхода начала координат по часовой стрелке.

Для определения замыкающих потоков погонных касательных усилий  $q_l, q_n, q_m$  составляем канонические уравнения

$$[A] \cdot \{q\} + \{A_0\} = \{0\}$$

Коэффициенты канонических уравнений (элементы матрицы  $[A]$  и вектора  $\{A_0\}$ ) определяются выражениями:

$$a_{11} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{ABCDEF}} \frac{l_i}{\delta_{i\text{ред.}}}, \quad a_{22} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{BCDEFB}} \frac{l_i}{\delta_{i\text{ред.}}}, \quad a_{33} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{CDEC}} \frac{l_i}{\delta_{i\text{ред.}}},$$

(здесь суммирование ведется по панелям, где  $q_I, q_{II}, q_{III}$  не равны нулю соответственно),

$$a_{12} = a_{21} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{BCDEF}} \frac{l_i}{\delta_{i\text{ред.}}}, \quad a_{23} = a_{32} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{CDE}} \frac{l_i}{\delta_{i\text{ред.}}},$$

$$a_{13} = a_{31} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{CDE}} \frac{l_i}{\delta_{i\text{ред.}}},$$

(здесь суммирование ведется по панелям, где  $q_I, q_{II}; q_{II}, q_{III}; q_I, q_{III}$  соответственно не равны нулю),

$$a_{10} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{ABCDEF}} \frac{l_i \cdot q_{oi}}{\delta_{i\text{ред.}}}, \quad a_{20} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{BCDEF}} \frac{l_i \cdot q_{oi}}{\delta_{i\text{ред.}}}, \quad a_{30} = \frac{1}{G_0} \cdot \sum_{\text{CDE}} \frac{l_i \cdot q_{oi}}{\delta_{i\text{ред.}}},$$

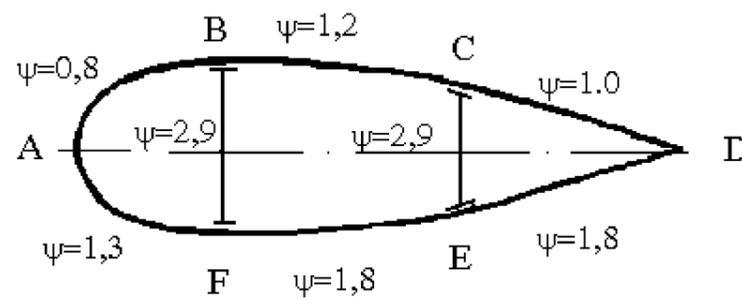


Рис.15

(здесь суммирование ведется по панелям, где  $q_I, q_{0i}; q_{II}, q_{0i}; q_{III}, q_{0i}$  - соответственно не равны нулю). Здесь  $l_i$  - длина  $i$ -той панели;  $G_o$  - приведенный модуль сдвига (для обшивки из дюрала  $G_o = 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2}$ );  $\delta_{i\text{ред.}}$  - редуцированная толщина обшивки  $\delta_{i\text{ред.}} = \delta_i \cdot \Psi$ ;  $\Psi$  - редуцирующий коэффициент обшивки.

Модуль сдвига обшивки панели крыла не равен модулю сдвига материала обшивки, а зависит еще от ее кривизны, толщины, шага нервюр и стрингеров (размеров подкрепляющей клетки), подкрепляющих профилей, характера нагружения пластины. Значения модуля сдвига более или менее точно определяются опытным путем для данной конструкции. В расчете приходится большей частью пользоваться средними величинами  $G$ , полученными из испытаний аналогичных конструкций. Так как

$$\Psi = \frac{G}{G_o},$$

то при вычислении мы будем пользоваться значениями редуцирующих коэффициентов, приведенными на рис. 15. Значения коэффициента  $\Psi$  для обшивки из другого материала следует умножить на  $\Phi_E$ .

Определяем погонные сдвиги в панелях как соответствующую сумму погонных касательных усилий в открытом контуре и замыкающих интенсивностей:

$$q_{\Sigma}^{\text{сдв.}} = q_{0i} + q_I + q_{II} + q_{III}$$

По результатам расчета строим схему потоков погонных касательных усилий по контуру сечения.

## 8. Расчет сечения крыла на кручение

### 8.1 Определение положения центра жесткости сечения крыла

Положение центра жесткости определяется по формуле

$$x_{\text{ц.ж.}}^{\text{уточн.}} = \frac{2}{Q_{\Sigma}} \cdot (q_I \cdot F_I + q_{II} \cdot F_{II} + q_{III} \cdot F_{III} + \sum_{i=1}^n q_{oi} \cdot \omega_i),$$

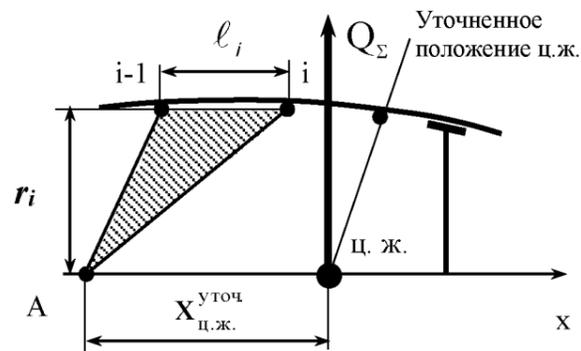


Рис. 16

где  $F_I, F_{II}, F_{III}$  - площади контуров ABCDEFA, BCDEFB, CDEC соответственно (рис. 15), которые подсчитываются по чертежу сечения крыла;  $q_I, q_{II}, q_{III}$  - потоки погонных касательных усилий, полученные в результате расчета сечения на сдвиг от силы  $Q_{\Sigma}$ ;  $q_{oi}$  - потоки погонных касательных усилий в открытом контуре сечения крыла от сдвига;  $\omega_i$  - секториальная площадь, соответствующая  $i$  - той панели (рис. 16). Приближенно значения  $\omega_i$  можно вычислить как площадь треугольника

$$\omega_i \approx \frac{1}{2} \cdot l_i \cdot r_i,$$

где  $r_i$  - длина перпендикуляра, опущенного из произвольно выбранного полюса А (в качестве такого полюса можно взять координату предварительно определенного центра жесткости) на хорду дуги элемента контура сечения  $l_i$ .

## 8.2 Определение потока касательных усилий от кручения

При расчете на кручение замыкающие потоки касательных усилий  $q_I^{\text{кр.}}, q_{II}^{\text{кр.}}, q_{III}^{\text{кр.}}$  определяются из системы уравнений

$$[A] \cdot \{q\} + = 2 \cdot \xi \{F\},$$

$$2 \cdot \{F\}^T \cdot \{q\} = M_{\text{кр.уточн.}}$$

Здесь компоненты вектора  $\{F\}$  -  $F_I, F_{II}, F_{III}$  - площади контуров ABCDEFA, BCDEFB, CDEC (см. рис. 15);  $\xi$  - относительный угол закручивания сечения;  $M_{\text{кр.уточн.}}$  - крутящий момент относительно уточненного положения центра жесткости сечения, определяемый из выражения

$$M_{\text{кр.уточн.}} = M_{\text{кр.}} \pm Q_{\Sigma} \cdot d$$

Здесь  $d$  - расстояние между приближенным и уточненным положениями центров жесткости сечения крыла.

Значения коэффициентов  $a_{ij}$  канонических уравнений (13) те же, что при расчете на сдвиг. После определения потоков замыкающих касательных усилий  $q_I^{\text{кр.}}, q_{II}^{\text{кр.}}, q_{III}^{\text{кр.}}$  при кручении, суммарные погонные сдвиговые усилия находим подобно расчету на сдвиг, положив  $q_{oi} = 0$ , т.е.

$$q_{i\Sigma}^{\text{кр.}} = q_I^{\text{кр.}} + q_{II}^{\text{кр.}} + q_{III}^{\text{кр.}}$$

По результатам расчета строим суммарную эпюру потоков погонных касательных усилий от сдвига и кручения  $q_{i\Sigma}^{\text{сдв+кр}}$  по контуру расчетного сечения крыла. При построении суммарной эпюры положительные значения потоков откладываем внутрь контура сечения.

## 9. Проверка обшивки и стенок лонжеронов на прочность и устойчивость

В результате проверочного расчета должно быть дано заключение о прочности подобранного сечения крыла. Для этого обшивка и стенки лонжеронов проверяются на прочность и устойчивость.

Максимальные нормальные напряжения, действующие на соответствующую панель обшивки (или стенки лонжерона) с учетом  $\varphi_E$

$$\sigma_{\text{обш max}} = \sigma_{i \text{ max}} \cdot \frac{E_{\text{обш}}}{E_{\text{стр}}},$$

а значения редуцированного коэффициента обшивки находятся по выражению

$$\varphi_{\text{обш}} = \frac{b_{\text{прис.}}}{b},$$

где  $b_{\text{прис.}} = 30 \cdot \delta$  - для сжатой зоны;  $b_{\text{прис.}} = 0,8 \cdot \ell$  - для растянутой зоны;  $\ell$  - ширина рассматриваемой панели обшивки (шаг стрингеров). Тогда средние нормальные напряжения в панелях обшивки

$$\sigma_{\text{ср. обш.}} = \varphi_{\text{обш}} \cdot \sigma_{\text{обш max}}.$$

Касательные напряжения, действующие в обшивке (или стенке лонжерона) от сдвига и кручения, вычисляются как

$$\tau_{i\Sigma} = \frac{q_{i\Sigma}^{\text{сдв+кр}}}{\delta_i}.$$

Критические касательные напряжения  $\tau_{\text{кр}}$  вычисляются аналогично  $\sigma_{\text{кр}}$  по формуле

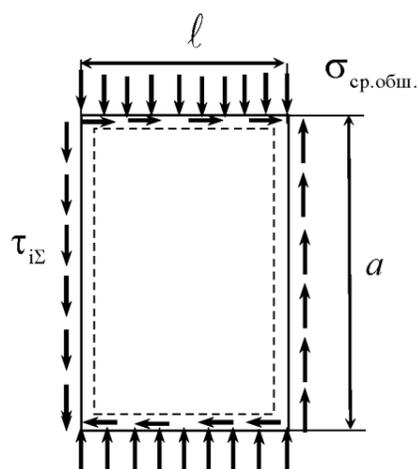


Рис. 17

$$\tau_{кр} = \tau_{в} \cdot \frac{1 + \nu^*}{1 + \nu^* + \nu^{*2}},$$

$$\text{где } \tau_{в} = 0,7 \cdot \sigma_{в}, \quad \nu^* = \frac{\tau_{в}}{\tau_{кр.э}}, \quad \tau_{кр.э} = 0,9 \cdot E \cdot k_{\tau} \cdot \left(\frac{\delta_i}{b}\right)^2.$$

Значения коэффициента  $k_{\tau}$  берется из работы [8] для пластины шарнирно опертой по контуру.

Для оценки устойчивости элементов крыла вычисляется коэффициент

$$k_{кр} = \left( \frac{\sigma_{ср.обш.}}{\sigma_{кр}} \right) + \left( \frac{\tau_{i\Sigma}}{\tau_{кр}} \right)^2.$$

Значения коэффициента  $k_{кр}$  позволяют судить о работе обшивки (стенки лонжерона) на устойчивость при одновременном действии сжатия и сдвига (рис. 17). Растянутая панель находится в этом случае в облегченных условиях и в данном случае не рассматривается. Если  $k_{кр} < 1$ , то потери устойчивости не произойдет, при  $k_{кр} > 1$  пластинка потеряет устойчивость.

Потеря устойчивости не является критерием потери несущей способности конструкции.

При проверке обшивки на прочность вычисляются значения коэффициента  $k_{пр}$  с использованием четвертой теории прочности:

$$k_{пр} = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{общ}}^2 + 3 \cdot \tau_{i\Sigma}^2}}{\sigma_B} \leq 1, \quad (14)$$

$$\text{где } \sqrt{\sigma_{\text{общ}}^2 + 3 \cdot \tau_{i\Sigma}^2} = \sigma_{\text{экв}}^{IV}.$$

Для стенок лонжеронов  $\sigma_{\text{max}} = 0$  (чистый сдвиг) коэффициент  $k_{пр}$  вычисляется по формуле (14) до потери устойчивости и, если стенка потеряла устойчивость, то по выражению

$$k_{пр} = \frac{2 \cdot \tau_{i\Sigma}}{\sigma_B} \leq 1.$$

Значения коэффициента  $k_{пр} < 1$  позволяют сделать вывод о том, что условие прочности соблюдается.

**Приложение 2**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

**ФИЛИАЛ ДФУ В Г. АРСЕНЬЕВЕ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Конструирование агрегатов вертолѐта»**  
**Специальность 24.05.07 Самолѐто- и вертолѐтостроение**  
**специализация «Вертолѐтостроение»**  
**Форма подготовки очная/ заочная**

**Арсеньев**  
**2018**

**Паспорт  
фонда оценочных средств по дисциплине  
«Конструирование агрегатов вертолѐта»**

(наименование дисциплины, вид практики)

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-4: способность организовывать свой труд и самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владеть навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;	Знает	методы проведения научных исследований
	Умеет	способность к работе в коллективе, способностью в качестве руководителя подразделения, лидера группы работников
	Владеет	навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований
ПК-1: готовность к решению сложных инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин;	Знает	математические и естественнонаучные дисциплины в области принятия решений сложных инженерных задач
	Умеет	решать сложные инженерные задачи с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин
	Владеет	знаниями математических и естественнонаучных дисциплин в решении сложных инженерных задач
ПК-3: способность освоить и использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций;	Знает	передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций
	Умеет	использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций
	Владеет	передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций
ПК-4: способность выполнить техническое и технико-экономическое обоснование принимаемых проектно-конструкторских решений, владением методами технической экспертизы проекта;	Знает	методы технического и технико-экономического обоснования принимаемых проектно-конструкторских решений
	Умеет	принимать экономически обоснованные проектно-конструкторские решения
	Владеет	методами технической экспертизы проекта

ПК-5: готовность разрабатывать проекты изделий летательных аппаратов и их систем на основе системного подхода к проектированию авиационных конструкций;	Знает	основы системного подхода к проектированию авиационных конструкций
	Умеет	разрабатывать проекты изделий летательных аппаратов и их систем на основе системного подхода к проектированию авиационных конструкций
	Владеет	основами системного подхода к проектированию авиационных конструкций
ПК-7: готовность разрабатывать рабочую техническую документацию и обеспечивать оформление законченных проектно-конструкторских работ;	Знает	ЕСТД по оформлению законченных проектно-конструкторских работ
	Умеет	разрабатывать рабочую техническую документацию законченных проектно-конструкторских работ
	Владеет	навыками разработки рабочей технической документации и оформлением законченных проектно-конструкторских работ
ПК-9: готовность создавать и сопровождать документацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции;	Знает	состав и структуру документации, необходимой для поддержки всех этапов цикла разрабатываемой конструкции
	Умеет	создавать и сопровождать документацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции
	Владеет	навыками создания и сопровождения документации, необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции
ПК-22: способность разрабатывать и проектировать экспериментальное оборудование и стенды для проведения исследований;	Знает	порядок проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований
	Умеет	разрабатывать техническое задание (технические условия) на проектирование экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований
	Владеет	навыками разработки и проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований
ПСК-2.2: способность и готовность участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов вертолетов и их узлов;	Знает	конструктивно-силовые схемы агрегатов вертолетов и их узлов различных типов вертолетов
	Умеет	анализировать конструктивно-силовые схемы и определять основные тактико-технические характеристики вертолетов
	Владеет	способностью и готовностью участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов вертолетов и их узлов
ПСК-2.4: способность	Знает	методики проведения проектировочных расчетов

и готовность к проведению проектировочных расчетов аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета;		аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета
	Умеет	производить расчет аэродинамических и летных характеристик вертолета, рассчитывать отдельные узлы и детали на прочность, определять экономическую целесообразность создания вертолета
	Владеет	методиками проектировочных расчётов аэродинамики, динамики полёта, прочности и экономики проектируемого вертолётa

### КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства - наименование	
			текущий контроль	промежуточная аттестация
1	ОПК-4: способность организовывать свой труд и самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владеть навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;	знает	УО-1	1-5
		умеет	ПР-7	5-9
		владеет	ПР-2	1-2
2	ПК-1: готовность к решению сложных инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин;	знает	УО-1	10-14
		умеет	ПР-7	14-18
		владеет	ПР-2	3
3	ПК-3: способность освоить и использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций;	знает	УО-1	19-24
		умеет	ПР-7	25-30
		владеет	ПР-2	4-5
4	ПК-4: способность выполнить техническое и технико-экономическое обоснование принимаемых проектно-конструкторских решений, владением	знает	УО-1	31-36
		умеет	ПР-7	37-40
		владеет	ПР-2	6-7

	методами технической экспертизы проекта;			
5	ПК-5: готовность разрабатывать проекты изделий летательных аппаратов и их систем на основе системного подхода к проектированию авиационных конструкций;	знает	УО-1	41-44
		умеет	ПР-7	45-49
		владеет	ПР-2	8
6	ПК-7: готовность разрабатывать рабочую техническую документацию и обеспечивать оформление законченных проектно-конструкторских работ;	знает	УО-1	50-55
		умеет	ПР-7	56-59
		владеет	ПР-2	9-11
7	ПК-9: готовность создавать и сопровождать документацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции;	знает	УО-1	60-66
		умеет	ПР-7	67-73
		владеет	ПР-2	12
8	ПК-22: способность разрабатывать и проектировать экспериментальное оборудование и стенды для проведения исследований;	знает	УО-1	74-79
		умеет	ПР-7	80-83
		владеет	ПР-2	13-14
9	ПСК-2.2: способность и готовность участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов вертолетов и их узлов;	знает	УО-1	84-85
		умеет	ПР-7	86-87
		владеет	ПР-5	88-90
10	ПСК-2.4: способность и готовность к проведению проектировочных расчетов аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета;	знает	УО-1	91-93
		умеет	ПР-7	94-96
		владеет	ПР-5	15

**Шкала оценивания уровня сформированности компетенций по  
дисциплине «Конструирование агрегатов вертолѐта»**

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
<p>ОПК-4: способность организовывать свой труд и самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владеть навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;</p>	знает (пороговый уровень)	методы проведения научных исследований	Знает основы и методы организации научно-исследовательской деятельности; методов моделирования и поискового конструирования	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владением навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований в типовых ситуациях и в ситуациях повышенной сложности, а также в нестандартных и непредвиденных ситуациях, создавая при этом новые правила и алгоритмы действий.
	умеет (продвинутый)	способность к работе в коллективе, способностью в качестве руководителя подразделения, лидера группы работников	Умеет выполнять разработку методик теоретических и экспериментальных исследований; выполнять теоретические и экспериментальные исследования	Способность выполнять разработку методик теоретических и экспериментальных исследований; выполнять теоретические и экспериментальные исследования

	владеет (высокий)	навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований	Владеет навыками разработки методик теоретических и экспериментальных исследований	Способность разрабатывать методики теоретических и экспериментальных исследований
ПК-1: готовность к решению сложных инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин;	знает (пороговый уровень)	математические и естественнонаучные дисциплины в области принятия решений сложных инженерных задач	основные понятия и методы аналитической геометрии, линейной алгебры, математического анализа; законы физики для решения инженерных задач в авиастроении; о роли инженера, имеющего базовые знания математических и естественнонаучных дисциплин в авиационном производстве, истории авиации;	Знание основных понятий и методов аналитической геометрии, линейной алгебры, математического анализа, законов физики для решения инженерных задач в авиастроении;
	умеет (продвинутый)	решать сложные инженерные задачи с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин	применять математические методы, законы физики, основы теоретической механики для решения типовых инженерных задач в авиастроении; применять математические методы и вычислительную технику для проектирования типовых авиационных конструкций; воспринимать новые знания и умения в области авиастроения;	Умение работать с математическими и физическими моделями для решения инженерных задач с применением вычислительной техники.

	владеет (высокий)	знаниями математических и естественнонаучных дисциплин в решении сложных инженерных задач	навыками решения стандартных математических задач; навыками применения законов физики, основ теоретической механики для решения типовых инженерных задач в авиастроении; навыками работы с системами автоматического проектирования, моделирования для решения типовых инженерных задач; навыками работы с распространенными системами автоматизированного проектирования и моделирования;	Умение использовать законы физики, теоретической механики для решения типовых инженерных задач с применением систем автоматизированного проектирования и моделирования;
ПК-3: способность освоить и использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций;	знает (пороговый уровень)	Передовые разработки в области конструирования агрегатов вертолёта и их систем.	Знание передовых разработок, которые могут найти применение в конструкции вертолёта.	- способность назвать передовые разработки, которые смогут найти применение в конструкции вертолёта.
	умеет (продвинутый)	Использовать передовые разработки в авиастроении и смежных областях техники для выполнения работ по разработке авиационных конструкций.	Умение найти применение передовым разработкам в авиастроении и смежных областях техники в создании авиационных конструкций.	- способность применить передовые разработки в науки и техники при создании авиационных конструкций.
	владеет (высокий)	Способностью использования передового опыта науки и техники при разработке авиационных конструкций.	Владение способностью разработки конструкции вертолётов на базе передовых разработок в авиастроении и смежных областях науки и техники.	- способность разработать конструкцию вертолётов с использованием передовых разработок в науки и техники.
ПК-4: способность выполнить и технико-экономическое обоснование принимаемых проектно-конструкторских решений, владением методами	знает (пороговый уровень)	основные пакеты прикладных программ для проведения расчетов по конструированию агрегатов вертолёта; алгоритмах расчета летных, аэродинамических, объемно-весовых, конструктивно-силовых характеристик вертолёта различного целевого	Знание основных пакетов прикладных программ для конструированию агрегатов вертолёта	Способность применения пакетов прикладных программ для конструированию агрегатов вертолёта
			Знание нормативной базы сертификации авиационной техники	Способность применения нормативной базы сертификации авиационной техники

технической экспертизы проекта;		назначения и его частей; нормативной базе сертификации авиационной техники в РФ;		
	умеет (продвинутой)	выполнить техническое и технико-экономическое обоснование типового элемента конструкции вертолѐта; применять нормы сертификации к деятельности по разработке проектов авиационной техники; проводить технические расчѐты по типовым проектам, их техническую экспертизу;	Знание методик сравнительного экономического обоснования вариантов проектируемых типовых элементов вертолѐта	Способность применять знания по экономическому обоснованию типового элемента конструкции вертолѐта;
			Знание норм сертификации к проектированию авиационной техники, в частности конструирования агрегатов вертолѐта	Способность применять знания по сертификации проектирования авиационной техники
	владеет (высокий)	навыками технического и технико-экономического обоснования типовых проектов; выполнить техническое и технико-экономическое обоснование типового элемента конструкции вертолѐта; применять нормы сертификации к деятельности по разработке проектов авиационной техники; проводить технические расчѐты по типовым проектам, их техническую экспертизу;	Знание методик сравнительного экономического обоснования вариантов проектируемых типовых элементов вертолѐта	Способность применять знания по экономическому обоснованию типового элемента конструкции вертолѐта;
Знание норм сертификации к проектированию авиационной техники, в частности конструирования агрегатов вертолѐта			Способность применять знания по сертификации проектирования авиационной техники	
ПК-5: готовность разрабатывать проекты изделий летательных аппаратов и их систем на основе системного подхода к проектированию авиационных конструкций;	знает (пороговый уровень)	Основы системного подхода к проектированию авиационных конструкций, последовательность работ при разработке конструкций вертолѐтов и их систем.	Знание порядка разработки конструкций вертолѐтов и их систем, в том числе и на основе системного подхода.	- способность перечислить последовательность этапов разработки вертолѐтов и их систем, раскрыть содержание работ, выполняемых на каждом этапе; - способность дать определение понятия «система», назвать свойства системы и принципы системного подхода в проектировании.
	умеет (продвинутой)	На основе системного подхода разрабатывать конструкции вертолѐтов и их систем.	Умение поставить цель, задачи, определить последовательность и содержание работ по разработке агрегатов вертолѐтов.	- способность сформулировать задание по разработке агрегатов летательных аппаратов; - способность определить вид работ, их последовательность,

				исполнителей при проектировании агрегатов вертолётов.
	владеет (высокий)	Инструментами и методами разработки конструкций вертолётов и их систем.	Владение принципами системного подхода в проектировании; владение способностью поставить цель и задачи конструкторской работы, выбрать методы и инструменты их достижения.	- способность назвать принципы системного анализа применительно к проектированию авиационных конструкций; - способность поставить цель и задачи проектирования; - способность выбирать методы и инструменты решения задач в проектировании авиационных конструкций.
ПК-7: готовность разрабатывать рабочую техническую документацию и обеспечивать оформление законченных проектно-конструкторских работ;	знает (пороговый уровень)	Состав, порядок разработки и оформления технической документации законченных работ по разработке конструкций вертолётов.	Знание форм, порядка разработки и оформления конструкторской документации.	- способность назвать формы конструкторской документации; - способность назвать порядок разработки и утверждения конструкторской документации в соответствии с ЕСКД; - способность перечислить правила оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД.
	умеет (продвинутый)	Разрабатывать и оформлять техническую документацию на разработанные конструкции вертолётов.	Умение разработать и оформить конструкторскую документацию на проектируемые агрегаты вертолётов.	- способность по результатам выполнения работ разрабатывать и оформлять конструкторскую документацию.
	владеет (высокий)	Способностью разрабатывать и оформлять техническую документацию на конструкции вертолётов.	Владение способностью разработки и оформления конструкторской документации на агрегаты вертолётов.	- способность разработать и оформить конструкторскую документацию на проектируемые агрегаты вертолётов.

ПК-9: готовность создавать и сопровождать документацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции;	знает (пороговый уровень)	состав и структуру документации, необходимой для поддержки всех этапов цикла разрабатываемой конструкции	Знание принципов и способов учета в проектной документации требований безопасности и экологичности в оборудованию, применяемому при проектировании и конструировании агрегатов вертолѐта	Способность применения принципов и способов учета в проектной документации требований безопасности и экологичности в оборудованию, применяемому при проектировании и конструировании агрегатов вертолѐта
	умеет (продвинутый)	создавать и сопровождать документацию, необходимую для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции	Знания требований безопасности и экологичности при создании и сопровождении документации, необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла типовой разрабатываемой конструкции;	Способность применения знаний по безопасности и экологичности при создании и сопровождении документации, необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла типовой разрабатываемой конструкции;
	владеет (высокий)	навыками создания и сопровождения документации, необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла разрабатываемой конструкции	Знание принципов учета в проектной документации и требований безопасности и экологичности к оборудованию и техническим системам на всех этапах жизненного цикла разрабатываемой конструкции;	Способность применения знаний и принципов учета в проектной документации и требований безопасности и экологичности к оборудованию и техническим системам на всех этапах жизненного цикла разрабатываемой конструкции;
ПК-22: способность разрабатывать и проектировать экспериментальное оборудование и стенды для проведения исследований;	знает (пороговый уровень)	порядок проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований	Знает теоретические и практические методы в области проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований	Знание современных наборов прикладных программ и компьютерной графики для проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований

	умеет (продвинутый)	разрабатывать техническое задание (технические условия) на проектирование экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований	Умеет выбирать методические материалы в области проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований, используя современные информационные технологии.	Способность применять на практике современные информационные технологии, т.к. Internet, электронные справочники, электронные библиотеки в области прикладных программ и компьютерной графики для проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований
	владеет (высокий)	навыками разработки и проектирования экспериментального оборудования и стендов для проведения исследований	Владеет практическими навыками разработки и проектирования экспериментального оборудования и стендов, используя прикладные программы и компьютерную графику для проведения исследований конструкций вертолѐта.	Способность разрабатывать и проектировать экспериментальное оборудование и стенды, используя прикладные программы и компьютерную графику для проектирования для проведения исследований конструкций вертолѐта.
ПСК-2.2: способность и готовность участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов вертолетов и их узлов;	знает (пороговый уровень)	конструктивно-силовые схемы агрегатов вертолетов и их узлов различных типов вертолетов	Знает современные тенденции развития вертолѐтостроения; основные этапы проектирования вертолѐта в целом и отдельных частей; основы проектирования и основные методы расчетов на прочность, жесткость, динамику и устойчивость, долговечность машин и конструкций, трение и износ узлов машин;	Знание устройства авиационных летательных аппаратов и их систем; технологию проектирования вертолѐтов их агрегатов и систем; основные требования и методы обеспечения эксплуатационной технологичности и надежности летательных аппаратов;

	<p>умеет (продвину- тый)</p>	<p>анализировать конструктивно-силовые схемы и определять основные тактико-технические характеристики вертолетов</p>	<p>Умеет анализировать конструкцию современных вертолётов их агрегатов и систем; применять информационные технологии для решения задач проектирования вертолёт; составлять конструкторскую документацию на проектируемый вертолёт;</p>	<p>Способность анализировать характеристики конструкции современных вертолётов их агрегатов и систем; составлять производственную документацию для изготовления деталей, узлов и агрегатов вертолёт на серийном авиационном предприятии; проектировать авиационные конструкции и системы с использованием информационных технологий; выполнять и читать чертежи и другую конструкторскую документацию; конструировать элементы конструкций вертолёт с учетом обеспечения прочности, устойчивости и долговечности;</p>
	<p>владеет (высокий)</p>	<p>способностью и готовностью участвовать в разработке конструктивно-силовых схем агрегатов вертолётов и их узлов</p>	<p>Владеет опытом расчёта на прочность авиационных конструкций; опытом расчета массы, несущих и рулевых винтов, трансмиссии, двигателей, топливной системы, фюзеляжа, крыла и оперения, автомата перекоса, элементов управления и шасси вертолета; навыками осуществления компоновки вертолёт; основами автоматизированного проектирования и конструирования.</p>	<p>Способность с современными системами автоматического проектирования, моделирования и технологической подготовки производства; конструировать типовые узлы машин и элементы конструкций вертолёт; рассчитывать и численными методами прикладной механики деталей машин и элементов конструкций; применять методы математического и компьютерного моделирования механических систем</p>

				и процессов; выбирать материалы по критериям прочности, долговечности, износостойкости.
ПСК-2.4: способность и готовность к проведению проектировочных расчетов аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета;	знает (пороговый уровень)	методики проведения проектировочных расчетов аэродинамики, динамики полета, прочности и экономики проектируемого вертолета	Знает основные законы аэродинамики и динамики полета вертолѐта; процесс формирования аэродинамического облика вертолѐта; основы механики полета вертолета, силы и моменты, действующие на вертолет при его движении, условия его балансировки, условия обеспечения требуемого уровня его маневренности, методы исследования устойчивости и управляемости вертолета и их улучшение с помощью автоматических систем;	Способность применять знания основ механики полета вертолета для решения практических задач динамики полета вертолета на основе современных методов расчета и эксперимента; учитывать требования законов динамики полета при разработке и эксплуатации вертолетной техники; понимать физическую сущность и методы оценки основных летных ограничений летательных аппаратов, их зависимость от различных эксплуатационных факторов и конструктивно-компоновочных особенностей летательных аппаратов;
	умеет (продвинутый)	производить расчет аэродинамических и летных характеристик вертолета, рассчитывать отдельные узлы и детали на прочность, определять экономическую целесообразность создания вертолета	Умеет разрабатывать проекты изделий летательных аппаратов и их систем на основе системного подхода к проектированию авиационных конструкций с учетом решения проблем динамики полета; анализировать влияние требований динамики полета на параметры и конструкцию летательного аппарата, его систем	Способность разрабатывать проекты вертолѐтов различного целевого назначения с учетом задач динамики полета; проводить проектировочные расчеты динамики полета вертолета; практически работать на персональном компьютере решая задачи моделирования динамики полета летательного аппарата, используя системные и

			и подсистем, особенности их технической и летной эксплуатации;	прикладные программные средства; составлять алгоритмы решаемых прикладных задач динамики полета и осуществлять их реализацию на персональном компьютере;
	владеет (высокий)	методиками проектных расчётов аэродинамики, динамики полёта, прочности и экономики проектируемого вертолётa	Владеет основами построения, законами управления, принципами действия и влияния на динамику полета летательного аппарата основных автоматических систем (подсистем) управления движением вертолётa, его стабилизации, систем улучшения устойчивости и управляемости, предотвращения выхода на критические режимы полета или вывода из них.	Способность выполнять расчет балансировки вертолётa, расчет кинематических параметров движения вертолётa, расчет потребных отклонений органов управления вертолётom, расчет эффективности управления вертолётa использовать методы исследования устойчивости движения вертолётa, методы выбора параметров вертолётa, обеспечивающих эффективность управления вертолётa.

### Вопросы к зачету / экзамену

1. Требования, предъявляемые к элементам конструкции вертолётa.
2. Надежность элементов конструкции вертолётa. Пути ее обеспечения.
3. Долговечность конструкции. Пути ее обеспечения.
4. Основные положения статической прочности конструкции.  
Определение коэффициента безопасности, запаса прочности.
5. Причины и характер усталостных разрушений конструкции.
6. Усталостная прочность металлов.
7. Усталостная прочность композитов.
8. Жесткость конструкции. Основные понятия.
9. Основные этапы, принципы и правила конструирования деталей и узлов.

10. Основные принципы выбора материалов деталей.
11. Основные правила формирования конструктивно-силовой схемы деталей.
12. Выбор и расчет сечения детали работающей на изгиб.
13. Выбор и расчет сечения детали работающей на продольное сжатие.
14. Мероприятия по обеспечению усталостной прочности деталей.
15. Улучшение характеристик усталости путем уменьшения концентрации напряжений.
16. Конструктивные способы уменьшения концентрации напряжений в деталях.
17. Формообразование деталей, способствующих уменьшению концентрации нагрузок в деталях.
18. Выбор рациональной технологии изготовления и упрочнения деталей.
19. Основные правила проектирования деталей, изготавливаемых механической обработкой.
20. Основные правила проектирования деталей, изготавливаемых холодной и горячей штамповкой.
21. Основные правила проектирования деталей, изготавливаемых из композитов.
22. Проектирование деталей из композитов, изготавливаемых методом выкладки.
23. Проектирование деталей из композитов, изготавливаемых методом намотки.
24. Виды и типы соединений деталей, применяемых в конструкции вертолета.
25. Концентрация нагрузки и напряжений в резьбовом соединении и способы ее уменьшения.
26. Предварительная затяжка резьбового соединения как один из основных способов увеличения усталостной прочности резьбового соединения.

27. Расчет резьбовых соединений на статическую прочность в зависимости от характера направления внешней нагрузки на соединение.
28. Расчет резьбовых соединений на усталостную прочность.
29. Выбор посадок, шага резьбы и длины свинчивания резьбовых деталей.
30. Проектирование и расчет шлицевых соединений.
31. Проектирование и расчет шлицевых соединений.
32. Проектирование и расчет заклепочных соединений.
33. Проектирование и расчет сварных соединений.
34. Фреттинг-коррозия в соединениях и пути ее устранения.
35. Особенности проектирования соединений деталей из композитов.
36. Проектирование групповых резьбовых соединений.
37. Анализ конструктивно-кинематических схем втулки несущего винта.
38. Выбор параметров V-образного торсиона втулки несущего винта.
39. Выбор параметров и конструирование горизонтального и вертикального шарнира втулки несущего винта.
40. Выбор материала для основных элементов лопасти.
41. Параметры, определяющие ресурс сферического эластомерного подшипника.
42. Общие требования к элементам несущего винта.
43. Расчет и конструирование торсиона осевых шарниров втулки несущего винта.
44. Конструктивно-кинематические схемы рулевых винтов.
45. Выбор и расчет сечений лонжерона с учетом требований статической прочности.
46. Расчет и конструирование осевого шарнира с подшипником качения.
47. Требование статической прочности лонжерона лопасти.
48. Формирование комлевой и концевой части лопасти.
49. Основные этапы и содержание процесса конструирования лопасти несущего винта.
50. Выбор характеристик демпфера вертикального шарнира втулки.

51. Способы повышения ресурса лопасти несущего винта.
52. Отстройка лопасти несущего винта от флаттера.
53. Пути совершенства втулок несущего винта.
54. Способы повышения выносливости элементов стыка лопасти с втулкой несущего винта.
55. Основные этапы процесса конструирования лопасти несущего винта.
56. Требования к конструкции лопастей несущего винта.
57. Влияние формы лонжерона на массовые и жесткостные характеристики лопасти.
58. Расчет и конструирование игольчатых подшипников горизонтальных и вертикальных шарниров.
59. Конструирование осевого шарнира втулки несущего винта с упорным роликовым подшипником.
60. Анализ кинематических схем главного редуктора вертолета.
61. Конструктивно-кинематические схемы втулок рулевых винтов.
62. Конструирование сферического эластомерного подшипника втулки несущего винта.
63. Расчет и конструирование вала несущего винта.
64. Выбор параметров трансмиссионного вала рулевого винта.
65. Типы и виды компенсирующих муфт трансмиссии.
66. Конструктивно-силовые схемы крепления двигателей на вертолете.
67. Анализ типов пылезащитных устройств двигателя вертолета.
68. Типы и виды топливных систем вертолета.
69. Требования, предъявляемые к системе управления вертолетом.
70. Конструктивно-кинематическая схема системы управления одновинтового вертолета.
71. Конструктивно-кинематическая схема системы управления вертолета соосной схемы.
72. Конструктивно-кинематическая схема канала управления циклическим шагом несущего винта.

73. Назначение и выбор параметров регулятора взмаха лопастей.
74. Конструктивно-кинематические схемы автоматов перекоса
75. Конструирование жесткой проводки управления.
76. Включение автопилота в систему управления
77. Конструирование тросовой проводки управления.
78. Назначение и выбор параметров регулятора взмаха лопастей.
79. Конструктивно-кинематическая схема автомата-перекоса.
80. Выбор параметров гидроусилителя системы управления.
81. Обеспечение независимости каналов управления вертолетом.
82. Характеристика загрузочного механизма. Выбор его параметров.
83. Основные принципы формирования конструктивно-силовой схемы фюзеляжа.
84. Требования, предъявляемые к конструкции фюзеляжа.
85. Элементы продольного набора каркаса вертолета и их назначение.
86. Элементы поперечного набора каркаса вертолета и их назначение.
87. Формирование конструктивно-силовой схемы фюзеляжа.
88. Формирование конструктивно-силовой схемы крыла.
89. Основные силовые элементы крыла, принципы проекторочного расчета конструкции крыла.
90. Конструирование лонжерона крыла.
91. Требования, предъявляемые к взлетно-посадочным устройствам вертолета.
92. Анализ схем шасси.
93. Выбор колес шасси.
94. Отстройка от «земного резонанса» и ее влияние на выбор параметров амортизатора шасси.
95. Выбор параметров амортизатора шасси.
96. Проектирование ползкового шасси.

**Примерное содержание методических рекомендаций, определяющих процедуры оценивания результатов освоения дисциплины «Конструирование агрегатов вертолѐта»**

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Конструирование агрегатов вертолѐта» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Рекомендуются следующие формы контроля текущей успеваемости студентов:

- периодическая проверка конспектов лекций;
- опрос на практических занятиях;
- защита индивидуальных расчетно-проектировочных работ;
- защита курсовых работ;
- проверка контрольных работ с разбором на консультации и практических занятиях нерешенных примеров и задач и типичных ошибок.