

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной
работе

Лейфа А.В. Лейфа

6 июня 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
«ПРОЧНОСТЬ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»

Специальность 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

Специализация образовательной программы – Пилотируемые и автоматические космические аппараты и системы

Квалификация выпускника – Инженер

Год набора – 2024

Форма обучения – Очная

Курс 4 Семестр 7,8

Экзамен 8 сем

Зачет 7 сем

Общая трудоемкость дисциплины 252.0 (академ. час), 7.00 (з.е)

Составитель В.В. Соловьев, доцент, канд. техн. наук

Институт компьютерных и инженерных наук

Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 12.08.20 № 964

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры стартовых и технических ракетных комплексов

01.02.2024 г. , протокол № 7

Заведующий кафедрой Соловьев В.В. Соловьев

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

6 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

6 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Соловьев В.В. Соловьев

6 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

6 июня 2024 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

является правильное определение нагрузок на отдельные части ЛА, умению выбрать расчётную схему конструкции и выполнять расчёты на прочность и жёсткость при статических и динамических воздействиях.

Задачи дисциплины:

усвоение студентами принципов расчёта на прочность и жёсткость в ракетостроении, проработка основных силовых схем для агрегатов ЛА.

приобретение практических навыков в проведении расчётов на прочность и жёсткость узлов ЛА.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в вариативную часть. Для успешного усвоения материала студенту необходимы знания по дисциплинам математического цикла. Знания, получаемые в ходе изучения данной дисциплины, могут быть использованы для изучения специальных предметов.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-4 Способен осуществлять анализа и оценка работы космических аппаратов, космических систем и их составных частей при подготовке к запуску и в процессе эксплуатации	ИД – 1 ПК-4 Знать: принципы работы и условия эксплуатации разработанных составных частей космических аппаратов и космических систем ИД – 2 ПК-4 Уметь: - анализировать полученные данные при подготовке к запуску и в процессе эксплуатации космических аппаратов, космических систем и их составных частей ИД – 3 ПК-4. Владеть: - сбором аналитической информации, анализ и систематизация показателей эксплуатационно-технических характеристик космических аппаратов, космических систем и их составных частей

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7.00 зачетных единицы, 252.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) дисциплины, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

4.1 – Л (Лекции)

4.2 – Лекции в виде практической подготовки

4.3 – ПЗ (Практические занятия)

4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки

4.5 – ЛР (Лабораторные работы)

4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки

4.7 – ИКР (Иная контактная работа)

4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)

4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)

5 – Контроль (в академических часах)

6 – Самостоятельная работа (в академических часах)

7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	Нагрузки, действующие на летательный аппарат и их нормирование	7	10		8								20	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Выполнение практических работ.
2	Расчёт шпангоутов на действие сосредоточенных и распределённых сил	7	8		8								18.8	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Выполнение практических работ.
3	Расчёт баков на прочность	8	6		6								8	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Выполнение практических работ.
4	Расчёт баков на устойчивость	8	6				4						18	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Выполнение практических работ. Выполнение лабораторных работ.

5	Расчёт подкреплённых негерметичных отсеков	8	6				4					8	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Выполнение практических работ. Выполнение лабораторных работ.
6	Расчёт переходных ферм	8	8		4							16	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Выполнение практических работ.
7	Динамические расчёты конструкций ЛА	8	8		6							16	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Выполнение практических работ.
8	Курсовая работа	8							2			17	Выполнение курсовой работы.
9	Зачет	7								0.2			
10	Экзамен	8									0.3	35.7	
	Итого		52.0		32.0		8.0	2.0	0.2	0.3	35.7	121.8	

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Лекции

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Нагрузки, действующие на летательный аппарат и их нормирование	Силы, действующие на летательный аппарат в полёте. Расчётные силы. Коэффициент безопасности. Понятие перегрузки. Усилия взаимодействия между грузом и корпусом летательного аппарата. Распределение давления жидкости в топливном баке при поступательном движении летательного аппарата. Нагружение корпуса летательного аппарата на участке несущего бака. Нагрузки, передающиеся на корпус летательного аппарата со стороны днищ баков. Распределение нормальных аэродинамических нагрузок по длине

		<p>корпуса летательного аппарата. Распределение продольных аэродинамических нагрузок о длине корпуса летательного аппарата. Определение осевой силы в сечениях корпуса летательного аппарата. Определение перерезывающих сил в сечениях корпуса летательного аппарата.</p> <p>Вычисление изгибающего момента в сечениях корпуса летательного аппарата.</p>
2	Расчёт шпангоутов на действие сосредоточенных и распределённых сил	<p>Назначение шпангоутов в конструкциях летающих аппаратов. Уравновешивание шпангоута. Дифференциальные уравнения равновесия кругового кольца. Расчёт шпангоута, нагруженного системой равных радиальных сил. Расчёт шпангоута на действие радиальной силы. Расчёт шпангоута на действие сосредоточенной касательной силы и на действие сосредоточенного момента. Расчёт шпангоута при произвольном нагружении методом наложения. Расчёт шпангоута с учётом его упругости. Подбор сечения силового шпангоута. Поверочный расчёт силового шпангоута. Пример подбора сечения и проверки прочности шпангоута. Расчёт шпангоута, нагруженного системой равных сосредоточенных скручивающих моментов. Расчёт шпангоута на распределённые нагрузки.</p>
3	Расчёт баков на прочность	<p>Особенности работы баков. Расчёт эллипсоидальной торовой оболочки. Расчёт днищ баков на внутреннее давление. Напряжения в днищах баков от гидростатического давления. Напряжения обечайках несущих баков. Пример расчёта несущего бака.</p>
4	Расчёт баков на устойчивость	<p>Уравнения устойчивости цилиндрической оболочки. Устойчивость цилиндрической оболочки при равномерном осевом сжатии. Устойчивость цилиндрического бака при действии меридиональных сжимающих напряжений. Устойчивость цилиндрической оболочки при действии внешнего давления (формула Папковича). Пределы применимости формулы Папковича. Устойчивость бака при действии касательных напряжений.</p>
5	Расчёт подкреплённых негерметичных отсеков	<p>Особенности работы негерметичных подкреплённых отсеков. Закритическое поведение оболочки при осевом сжатии. Закритическое поведение оболочки при сдвиге. Расчётная схема отделимого негерметичного отсека. Расчёт основных напряжений. Расчёт вторичных напряжений. Организация вычислений. Методика приближённого расчёта. Несущая способность отсека при осевом сжатии. Несущая способность отсека при истом изгибе. Несущая способность отсека при сдвиге. Пример приближённого расчёта отделяемого отсека.</p>

		Подбор сечений силовых элементов
6	Расчёт переходных ферм	Геометрия переходной фермы. Расчёт усилий в стержнях переходной фермы. Подбор сечения стержней переходной фермы. Определение перемещений переходной фермы.
7	Динамические расчёты конструкций ЛА	Аналитическое представление диаграмм деформирования конструктивных материалов. Разрушающие напряжения для растянутых элементов конструкций. Разрушающие напряжения для сжатых элементов. Разрушающие напряжения для элементов, работающих на сдвиг

5.2. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
Нагрузки, действующие на летательный аппарат и их нормирование	Нагрузки на корпус ЛА
Расчёт шпангоутов на действие сосредоточенных и распределённых сил	Расчёт шпангоутов Расчёт усилий взаимодействия массы с корпусом
Расчёт баков на прочность	Расчёт шпангоута в соединении пологого сферического днища с обечайкой
Расчёт переходных ферм	Расчёт усилий в стержнях переходной фермы
Динамические расчёты конструкций ЛА	Определение усилий взаимодействия агрегатов с корпусом

5.3. Лабораторные занятия

Наименование темы	Содержание темы
Расчёт баков на прочность	Исследование напряжённого состояния кругового шпангоута
Расчёт баков на устойчивость	Исследование напряжённого состояния цилиндрической тонкостенной
Расчёт подкреплённых негерметичных отсеков	Исследование напряжённого состояния косоугольного кессона
Напряжённое состояние цилиндрического бака	Исследование напряжённого состояния цилиндрического бака с полусферическими днищами

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	Нагрузки, действующие на летательный аппарат и их нормирование	Конспект по теме.	20

2	Расчёт шпангоутов на действие сосредоточенных и распределённых сил	Подготовка отчета к выполнению практических работ. Защита работы Конспект по теме.	18.8
3	Расчёт баков на прочность	Подготовка отчета к выполнению практических работ. Защита работы Конспект по теме.	8
4	Расчёт баков на устойчивость	Подготовка отчета к выполнению практических работ. Защита работы Конспект по теме.	18
5	Расчёт подкреплённых негерметичны отсеков	Подготовка отчета к выполнению практических работ. Защита работы Конспект по теме.	8
6	Расчёт переходных ферм	Подготовка отчета к выполнению практических работ. Защита работы Конспект по теме.	16
7	Динамические расчёты конструкций ЛА	Подготовка отчета к выполнению практических работ. Защита работы Конспект по теме.	16
8	Курсовая работа	Тема курсовой работы "Расчет прочности летательного аппарата" (по вариантам)	17

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Интегральная модель образовательного процесса по дисциплине формируют технологии методологического уровня: технология поэтапного формирования умственных действий, технология развивающего обучения, элементы технологии развития критического мышления, самоуправление. На занятиях используются методы активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением модуля обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал модуля. При чтении лекции используются мультимедийные презентации. При выполнении практических работ используется прием интерактивного обучения «Кейс- метод»: студентам выдается задание для подготовки к выполнению работы; с преподавателем обсуждается цель работы и ход её выполнения; цель анализируется с разных точек зрения, выдвигаются гипотезы, делаются выводы, анализируются полученные результаты. Рекомендуется использование информационных технологий при организации коммуникаций со студентами для предоставления информации, выдача рекомендаций и консультирования по оперативным вопросам (электронная почта).

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Примерные вопросы к зачёту

7 семестр

1. Силы, действующие на летательный аппарат в полёте.
2. Расчётные силы.
3. Коэффициент безопасности.
4. Понятие перегрузки.
5. Усилия взаимодействия между грузом и корпусом летательного аппарата.
6. Распределение давления жидкости в топливном баке при поступательном движении летательного аппарата.
7. Нагружение корпуса летательного аппарата на участке несущего бака.
8. Нагрузки, передающиеся на корпус летательного аппарата со стороны днищ баков.
9. Распределение нормальных аэродинамических нагрузок по длине корпуса летательного

аппарата.

10. Распределение продольных аэродинамических нагрузок о длине корпуса летательного аппарата.
11. Определение осевой силы в сечениях корпуса летательного аппарата.
12. Определение перерезывающих сил в сечениях корпуса летательного аппарата.
13. Вычисление изгибающего момента в сечениях корпуса летательного аппарата.
14. Назначение шпангоутов в конструкциях летательных аппаратов.
15. Уравновешивание шпангоута.
16. Дифференциальные уравнения равновесия кругового кольца.
17. Расчёт шпангоута, нагруженного системой равных радиальных сил.
18. Расчёт шпангоута на действие радиальной силы.
19. Расчёт шпангоута на действие сосредоточенной касательной силы и на действие сосредоточенного момента.
20. Расчёт шпангоута при произвольном нагружении методом наложения.
21. Расчёт шпангоута с учётом его упругости.
22. Подбор сечения силового шпангоута.
23. Поверочный расчёт силового шпангоута.
24. Пример подбора сечения и проверки прочности шпангоута.
25. Расчёт шпангоута, нагруженного системой равных сосредоточенных скручивающих моментов.
26. Расчёт шпангоута на распределённые нагрузки.

Примерные вопросы к экзамену

8 семестр

1. Особенности работы баков.
2. Расчёт эллипсоидальной торовой оболочки.
3. Расчёт днищ баков на внутреннее давление. Напряжения в днищах баков от гидростатического давления.
4. Напряжения в обечайках несущих баков.
5. Уравнения устойчивости цилиндрической оболочки.
6. Устойчивость цилиндрической оболочки при равномерном осевом сжатии.
7. Устойчивость цилиндрического бака при действии меридиональных сжимающих напряжений.
8. Устойчивость цилиндрической оболочки при действии внешнего давления(формула Папковича).
9. Пределы применимости формулы Папковича.
10. Устойчивость бака при действии касательных напряжений.
11. Особенности работы негерметичных подкреплённых отсеков.
12. Закритическое поведение обшивки при осевом сжатии.
13. Закритическое поведение обшивки при сдвиге.
14. Расчётная схема отделяемого негерметичного отсека.
15. Расчёт основных напряжений.
16. Расчёт вторичных напряжений. Организация вычислений.
17. Методика приближённого расчёта.
18. Несущая способность отсека при осевом сжатии.
19. Несущая способность отсека при истом изгибе.
20. Несущая способность отсека при сдвиге.
21. Подбор сечений силовых элементов.
22. Геометрия переходной фермы.
23. Расчёт усилий в стержнях переходной фермы.
24. Подбор сечения стержней переходной фермы.
25. Определение перемещений переходной фермы.
26. Аналитическое представление диаграмм деформирования конструкционных материалов.
27. Разрушающие напряжения для растянутых элементов конструкций.
28. Разрушающие напряжения для сжатых элементов.

29. Разрушающие напряжения для элементов, работающих на сдвиг.

Курсовая работа

Расчёт нагрузок и исследование прочности силовых элементов ракеты-носителя. Имеется 10 различных вариантов ракет. Индивидуальность задания на курсовую работу достигается выбором одного из данных вариантов, 10 назначением конкретного времени при полёте ракеты-носителя, для которого выполняются расчёты, а также указанием индивидуальных физических и геометрических параметров, необходимых для расчёта

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) литература

1. Расчет на прочность элементов конструкции летательного аппарата : учебное пособие / А. Д. Припадчев, А. А. Горбунов, А. Г. Магдин, Е. М. Езерская. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. — 156 с. — ISBN 978-5-9729-0791-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/123833.html> (дата обращения: 04.06.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2. Абдулхаков, К. А. Расчет на прочность элементов конструкций : учебное пособие / К. А. Абдулхаков, В. М. Котляр, С. Г. Сидорин. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012. — 119 с. — ISBN 978-5-7882-1324-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62576.html> (дата обращения: 04.06.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

3. Гречух, И. Н. Прочность ракетных конструкций : учебное пособие / И. Н. Гречух, Л. И. Гречух. — Омск : ОмГТУ, 2019. — 251 с. — ISBN 978-5-8149-2862-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/149078> (дата обращения: 04.06.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Каратушин, С. И. Конструкционная прочность : учебное пособие / С. И. Каратушин, И. Н. Титух. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2020. — 39 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172209> (дата обращения: 04.06.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Гречух, Л. И. Прочность конструкций. Отдельные главы : учебное пособие / Л. И. Гречух, О. Л. Прусова. — Омск : ОмГТУ, 2016. — 62 с. — ISBN 978-5-8149-2296-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/149079> (дата обращения: 04.06.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Прочность, устойчивость и колебания ферменных и рамных конструкций аэрокосмических систем : учебное пособие / А. В. Беляев, Д. М. Биденко, Ю. И. Клюев, Б. Г. Попов. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 80 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/62037> (дата обращения: 04.06.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	7-Zip	Бесплатное распространение по лицензии GNU LGPL http://www.7-zip.org/license.txt .
2	ANSYS 10	Договор №218 от 11.12.2015.
3	LibreOffice	Бесплатное распространение по лицензии GNU LGPL https://ru.libreoffice.org/about-us/license/

4	Учебный комплект: Система прочностного анализа АРМ FEM V16 для КОМПАС-3D V16	Лицензионное соглашение №070A15 от 16.12.2015, 50 рабочих мест по сублицензионному договору № Ец-15-000060 от 08.12.2015.
5	https://www.iprbookshop.ru	Электронная библиотечная система «Ай Пи Ар Медиа», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия
6	https://e.lanbook.com	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	https:// www.vniiem.ru/ru/	АО «Научно- производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические системы имени А.Г. Иосифьяна»
2	https://keldysh-space.ru/	Исследовательский центр им. М.В. Келдыша. На сайте в открытом доступе размещены полные тексты публикаций сотрудников центра, материалы конференций, патенты.
3	www.laspacespace.ru	АО «НПО им. С.А. Лавочкина»
4	www.samspace.ru	АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Занятия по дисциплине проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, лабораторных работ с лабораторным оборудованием, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам. Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам и к электронной информационно- образовательной среде университета. Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно- образовательную среду университета.