



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, ЛЕТЧИКА-КОСМОНАВТА А.А. ЛЕОНОВА»

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора

А.В. Троицкий

« _____ » _____ 2023 г.

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»**

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

Специализация №21: Производство и технологическая отработка изделий ракетно-космической техники

Уровень высшего образования: специалитет

Квалификация (степень) выпускника: инженер

Форма обучения: очная, очно-заочная

Королёв
2023

Рабочая программа является составной частью основной профессиональной образовательной программы и проходит рецензирование со стороны работодателей в составе основной профессиональной образовательной программы. Рабочая программа актуализируется и корректируется ежегодно.


Автор: д.т.н., с.н.с. Бершадский В.А. Рабочая программа дисциплины: «Пневмогидравлические системы» – Королев МО: «Технологический университет», 2023.

Рецензент: д.т.н. Лобанов И.Е.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» и Учебного плана, утвержденного Ученым советом Университета.

Протокол № 9 от 11.04.2023 г.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры:

Заведующий кафедрой (ФИО, ученая степень, звание, подпись)	Мороз А.П. д.т.н., с.н.с. 				
Год утверждения (переподтверждения)	2023	2024	2025	2026	2027
Номер и дата протокола заседания кафедры	№ 9 от 28.03.2023г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.

Рабочая программа согласована:

Руководитель ОПОП ВО  Мороз А.П., д.т.н., с.н.с.

Рабочая программа рекомендована на заседании УМС:

Год утверждения (переподтверждения)	2023	2024	2025	2026	2027
Номер и дата протокола заседания УМС	№ 5 от 11.04.2023г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП

Целью изучения дисциплины «Пневмогидравлические системы» является формирование знаний об устройстве и принципе действия пневмогидравлических систем двигательных установок, а так же приобретение способности по их разработке. Изучение этой дисциплины позволит выпускникам успешно решать задачи в профессиональной деятельности, связанные с созданием и эксплуатацией двигательных установок ракетно-космических систем.

Процесс изучения дисциплины направлен на дальнейшее формирование и усиление следующих компетенций:

Общепрофессиональные компетенции (ОПК):

ОПК-1. Способность применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности.

ОПК-4. Способность осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники.

ОПК-5. Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач.

Профессиональные компетенции (ПК):

ПК-1. Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания новых образцов космической техники в соответствии с тактико-техническими характеристиками и техническим заданием.

ПК-2. Способность проектировать космические аппараты, космические системы и их составные части;

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- ознакомление с видами схемного и конструктивного исполнения пневмогидравлических систем и их элементов;
- ознакомление с теплофизическими принципами, используемыми для эффективного функционирования систем;
- освоение способов расчётного определения основных гидравлических и энергетических характеристик элементов систем;

- освоение методов увязки и регулирования параметров основных элементов систем для успешного функционирования двигательной установки.

Показатель освоения компетенции отражают следующие индикаторы:

Трудовые действия:

- Владеет навыками применения современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, при решении задач профессиональной деятельности.

- Владеет навыками моделирования и проектирования процессов, для решения инженерных задач.

- Может формировать рекомендации и заключения по использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей.

Необходимые умения:

- Применять на практике математические и физические модели, методы и средства проектирования и автоматизации инженерных задач.

- Выполнять расчеты с использованием специализированного программного обеспечения.

- Проводить анализ вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей.

- Анализировать перспективы развития как ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий.

Необходимые знания:

- Об особенностях инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем и систем автоматизированного проектирования.

- О единой системе конструкторской документации и основах метрологии, стандартизации и сертификации.

- Об особенностях инженерного синтеза сложных систем и алгоритмов, применяемых в технике для их функционирования.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Пневмогидравлические системы» относится к базовой части блока 1 основной профессиональной образовательной программы подготовки по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов». Она базируется на дисциплинах: «Физика», «Химия», «Механика жидкости и газа», «Термодинамика и теплопередача» и ранее изученных студентами дисциплинах, позволивших частично приобрести необходимые компетенции.

Знания и компетенции, получаемые при освоении дисциплины «Пневмогидравлические системы», являются базовыми при изучении дисциплин: «Основы теории полета КА и баллистики ракет», «Ракетные двигатели», «Математические модели функционирования ракетно-космических систем и комплексов», «Расчет, конструкция и проектирование ракетных двигателей», «Экспериментальная отработка ракетной техники», а также ряда профессиональных дисциплин специальности и выполнения выпускной квалификационной работы специалиста.

3. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины для студентов составляет 5 зачетных единиц, 180 часов. При очной форме обучения дисциплина реализуется на 4-ом курсе в 7-ом семестре кафедрой «Техники и технологии».

При очно-заочной форме обучения дисциплина реализуется на 4-ом курсе в 8-ом семестре кафедрой «Техники и технологии».

Таблица 1

Виды занятий	Всего часов	Семестр 7	Семестр 8	Семестр ...	Семестр ...
Общая трудоемкость	180	180			
ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Аудиторные занятия	64	64			
Лекции (Л)	32	32			
Практические занятия (ПЗ)	32	32			
Лабораторные работы (ЛР)					
Практическая подготовка					
Самостоятельная работа	116	116			
Курсовые работы (проекты)					
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа	+	+			
Текущий контроль знаний	Тест	+			
Вид итогового контроля	Экзамен /зачет	Экзамен			
ОЧНО-ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Аудиторные занятия	32		32		
Лекции (Л)	16		16		
Практические занятия (ПЗ)	16		16		
Лабораторные работы (ЛР)					
Практическая подготовка					
Самостоятельная работа	148		148		

Курсовые работы (проекты)					
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа	+		+		
Текущий контроль	Тест				
Вид итогового контроля	Экзамен /зачет		Экзамен		

4. Содержание дисциплины (модуля)

4.1.Разделы дисциплины и виды занятий

Наименования разделов, виды занятий и коды компетенций по дисциплине приведены в таблице 2. Продолжительность занятий студентов очной и очно-заочной форм обучения указаны в столбцах таблицы 2 в виде дроби (очная/очно-заочная).

Таблица 2

Наименование разделов	Лекции, часы	Практ. занятия, часы	Занятия в интер-акт. форме, часы	Практи-ческая подготов-ка, часы	Код компетенций
Тема 1. Состав и назначение пневмогидравлических систем и агрегатов двигательной установки	2/1	2/1	2/1		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2
Тема 2. Топливные баки и система заправки баков	2/1	2/1	2/1		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2
Тема 3. Виды устройства и особенности функционирования систем топливоподачи	4/2	4/2	2/1		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2
Тема 4. Особенности устройства и работы турбонасосных агрегатов ЖРД	4/1	4/1	2/1		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2
Тема 5. Основные параметры и характеристики насосов ТНА	4/1	4/2	2/1		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2
Тема 6. Основные параметры и характеристики турбин ТНА	2/1	2/2	2/1		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2
Тема 7. Совместная работа турбины и насосов ТНА	8/2	8/4	2/1		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2

Тема 8. Системы наддува топливных баков и эффективность их работы	4/2	4/2	2/1		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2
Тема 9. Особенности управления функционированием топливных систем и агрегатов двигательной установки	2/1	2/1	-		ОПК-1,ОПК-4 ОПК-5,ПК-1, ПК-2
Итого:	32/12	32/16	16/8		

4.2. Содержание тем дисциплины

Тема 1 - Состав и назначение пневмогидравлических систем и агрегатов двигательной установки: назначение и основные характеристики двигательной установки; виды, назначение агрегатов пневмогидравлических систем ДУ, состав и особенности их функционирования.

Тема 2 - Топливные баки и система заправки баков: конструктивное исполнение и требуемый объём топливных баков; процесс заправки компонентами топлива и обеспечение необходимых эксплуатационных характеристик топливных баков в полёте.

Тема 3 – Виды и особенности функционирования систем топливоподачи в зависимости от способов: создания давления КТ; использования рабочего тела после турбины ТНА; получения рабочего тела на входе в турбину ТНА. Основные преимущества замкнутой схемы подачи топлива в камеру двигателя.

Тема 4 - Особенности устройства и работы турбонасосных агрегатов ЖРД: устройство и компоновка ТНА; виды и особенности работы насосов ТНА; виды и особенности работы турбин ТНА; нагрузки, действующие на элементы ТНА; особенности действия осевой силы и её компенсация.

Тема 5 - Основные параметры и характеристики насосов: параметры насосов; энергетические и кавитационные характеристики насосов; совместная работа насосов и пневмогидравлической системы.

Тема 6 - Основные параметры и характеристики турбин: параметры турбин; энергетические характеристики турбин.

Тема 7- Совместная работа турбин и насосов: особенности совместной работы на запуске ТНА; энергетическая увязка параметров турбин и насосов; влияние давления в камере двигателя на параметры системы топливоподачи; влияние рода рабочего тела на параметров системы топливоподачи.

Тема 8 - Системы наддува топливных баков и эффективность их работы: принципы реализации рабочего наддува топливных баков; варианты схем си-

стем наддува; характер изменений давления и температуры в баке, эффективность процесса наддува.

Тема 9 - Особенности управления функционированием систем и агрегатов: виды управления и регулирования агрегатами пневмогидросистем; регулирование подачи компонентов топлива в камеру двигателя; устройство основных исполнительных элементов системы топливоподачи; способы управления параметрами траектории движения в полёте.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

1. Лекции, подготовленные преподавателем в соответствии с темами 1-9, которые указаны в разделе 4.2.
2. Текущие задания преподавателя на подготовку к практическим занятиям по темам 1-9.
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины «Пневмогидравлические системы», приведенные в «Приложении 2» к настоящей рабочей программе

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Структура фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Пневмогидравлические системы» приведена в «Приложении 1» к настоящей программе.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учебник // М: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2016. - 406 с.
2. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок / Под редакцией Д.А. Ягодникова // М: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2015. - 223с.
3. Беляев Е.Н., Воробьёв А.Г. Энергетическая увязка параметров ЖРД: учебное пособие // М: Изд-во МАИ.2016. - 66 с.
4. Гуртовой А.А., Иванов А.В., Скоромохов Г.И. Расчёт и конструирование агрегатов ЖРД : учебное пособие// Воронеж: Изд-во ВГТУ.2016. - 167 с.

Дополнительная литература:

1. Козлов А.А., Новиков В.Н., Соловьёв Е.В. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок. // М: Машиностроение, 1988. 352 с.

2. Овсяников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчёт агрегатов питания ЖРД. // М: Машиностроение, 1986. 376 с.
3. Беляев Н.М. Расчёт пневмогидравлических систем ракет. // М: Машиностроение, 1983. 219 с.
4. Пневмогидравлические системы двигательных установок с жидкостными ракетными двигателями / Под редакцией В.Н.Челомея // М: Изд-во Машиностроение, 1978. 240 с.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Интернет-ресурсы:

<http://www.biblioclub.ru/>

<http://www.rucont.ru/>

<http://www.znaniium.com/>

<http://www.book.ru>

<http://e.lanbook.com/>

<http://www.biblio-online.ru>

[Ebrary](#)

<http://ies.unitech-mo.ru/>

<http://unitech-mo.ru/>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины приведены в Приложении 2 к настоящей рабочей программе.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень программного обеспечения: MSOffice, RAMUS.

Информационные справочные системы:

1. Информационные ресурсы образовательной среды «МГОТУ».
2. Информационно-справочные системы «Консультант+», «Гарант».
3. Рабочая программа и методическое обеспечение по дисциплине «Пневмогидравлические системы».

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия. Аудитория оснащена:
- презентационной техникой (проектор, экран);
- комплект электронных презентаций/слайдов.

Практические занятия. Аудитория оснащена:

- компьютерным классом с проектором для интерактивного обучения, оборудованным современными лицензионными программно-техническими средствами: операционная система не ниже Windows XP; офисные программы MSOffice 7, AIFusion Process Modeler, RAMUS, рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;

- рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет.

**Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации
обучающихся по дисциплине (модулю)**

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)
«ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»**

Направление подготовки: 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»

Специализация: №21 «Производство и технологическая обработка изделий ракетно-космической техники»

Уровень высшего образования: специалитет

Квалификация (степень) выпускника: инженер

Форма обучения: *очная, очно-заочная*

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Таблица 1

Индекс компетенции	Содержание компетенций	Темы дисциплины, обеспечивающие формирование компетенций	Результаты изучения дисциплины, обеспечивающие формирование компетенций обучающегося		
			Трудовые действия	Необходимые умения	Необходимые знания
ОПК-1	Способность применять естественнонаучные и общепрофессиональные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности.	Темы 1-9	Владеет навыками применения современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства.. Владеет навыками моделирования и проектирования процессов, для решения инженерных задач. Может формировать рекомендации и заключения по использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей.	Применять на практике математические и физические модели, методы и средства проектирования и автоматизации инженерных задач. Выполнять расчеты с использованием специализированного программного обеспечения. Проводить анализ вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей.	Об особенностях инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем и систем автоматизированного проектирования. О единой системе конструкторской документации и основах метрологии, стандартизации и сертификации. Об особенностях инженерного синтеза сложных систем и алгоритмов, применяемых в технике для их функционирования.
ОПК-4	Способность осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах	Темы 1-9			

	жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники.				
ОПК-5	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач.	Темы 1-9			
ПК -1	Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания новых образцов космической техники в соответствии с тактико-техническими характеристиками и техническим заданием.	Темы 1-9			
ПК-2	Способность проектировать космические аппараты, космические системы и их составные части.	Темы 1-9			

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код компетенции	Инструменты, оценивающие сформированность компетенции	Этапы и показатель оценивания компетенции	Критерии оценивания компетенции на различных этапах формирования и шкалы оценивания
ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ПК -1 ПК-2	Тестирование	<p>А) Полностью сформирована, освоена на высоком уровне: 90% правильных ответов.</p> <p>Б) Частично сформирована, освоена на продвинутом уровне: 70% правильных ответов; освоена на базовом уровне: от 51% правильных ответов.</p> <p>В) Не сформирована: менее 50% правильных ответов</p>	<p>Проводится письменно и в виде доклада. Время, отведенное на процедуру - 30 минут, максимальная оценка 5 баллов.</p> <p>Критерии оценки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - неудовлетворительно менее 50% правильных ответов; - удовлетворительно от 51 % правильных ответов; - хорошо от 70% правильных ответов; - отлично от 90% правильных ответов.

<p>ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ПК -1 ПК-2</p>	<p>Контрольная</p>	<p>А) Полностью сформирована, освоена на высоком уровне: 90% правильных ответов. Б) Частично сформирована, освоена на продвинутом уровне: 70% правильных ответов; освоена на базовом уровне: от 51% правильных ответов. В) Не сформирована: менее 50% правильных ответов</p>	<p>Проводится в письменной форме или в форме доклада. Выбор оптимального метода решения задачи (1 балл). Умение применить выбранный метод (1 балл). Логический ход решения правильный, но имеются арифметические ошибки в расчетах (1 балл). Решение задачи и получение правильного результата (2 балла). Задача не решена вообще (0 баллов). Максимальная оценка – 5 баллов.</p>
--	--------------------	--	---

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

3.1 Примеры вопросов, типичных для проведения тестирования:

1. Какой из перечисленных параметров определяет характеристическую скорость полёта:
 - тяга двигателя;
 - расход топлива;
 - скорость истечения продуктов сгорания.
2. Какой элемент ПГС обеспечивает достижения требуемых энергетических характеристик ракетной ступени:
 - топливные баки;
 - система подачи топлива;
 - камера двигателя.
3. Основные преимущества замкнутой схемы двигательной установки (ДУ):
 - надёжность;
 - экономичность;
 - безопасность.
4. Основной недостаток открытой схемы ДУ:
 - малая тяга;
 - малая удельная тяга;
 - малая надёжность.

5. Какая из схем процесса при использовании рабочего тела после турбины позволяет получить максимальную удельную тягу:
 - жидкость - жидкость;
 - газ - жидкость;
 - газ – газ.
6. Укажите основное преимущество насосной системы подачи топлива по сравнению с вытеснительной:
 - уменьшение веса ДУ;
 - уменьшение тяги ДУ;
 - увеличение продолжительности работы ДУ.
7. Укажите вид насосов наиболее применяемых в турбонасосных агрегатах:
 - осевые;
 - центробежные;
 - вихревые.
8. Укажите вид турбин наиболее применяемых в ТНА двигателей замкнутой схемы:
 - осевые реактивные;
 - осевые активные;
 - центробежные.
9. Какие потери энергии в насосах оказывают наибольшее влияние на изменение действительного напора по сравнению с теоретическим напором:
 - объёмные;
 - гидравлические;
 - механические.
10. Определите вид зависимости для расчёта действительного напора насоса от объёмного расхода:
 - $c_{2u} \cdot u_2 - c_{1u} \cdot u_1$;
 - $(p_2 - p_1) / \gamma$;
 - $i_2 - i_1$.
11. Определите относительную скорость на входе в насос при рассмотрении плана скоростей на рис.1:
 - c_1 ;
 - u_1 ;
 - w_1 .

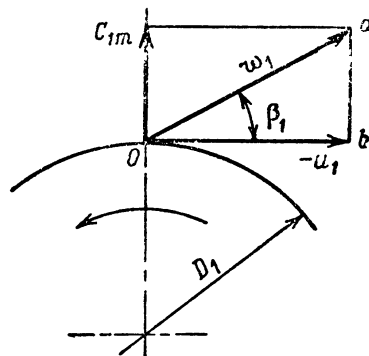


Рис.1

12. Определите вид характеристики насоса, приведенной на рис.2:
 – напорная;
 – кавитационная;
 – энергетическая.

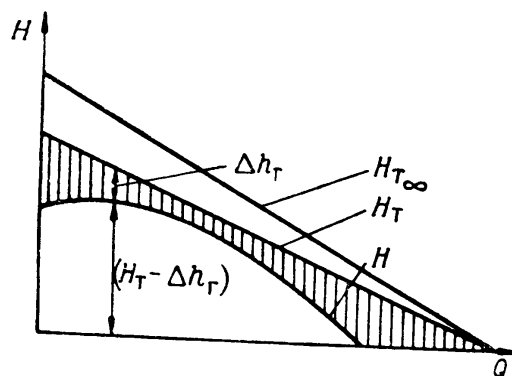


Рис.2

13. Какой параметр определяет максимально допустимые обороты ТНА:
 – потребный напор насоса;
 – перепад давления на турбине;
 – антикавитационный запас.
14. Какая величина коэффициента n_s позволяет определить размеры колеса быстроходного центробежного насоса:
 – $n_s = 40 - 80$;
 – $n_s = 80-150$;
 – $n_s = 150-300$.
15. Какое из значений коэффициента $C_{кр}$ соответствует насосу с наилучшими антикавитационными свойствами:
 – $C_{кр} = 10^3 - 2 \cdot 10^3$;
 – $C_{кр} = 2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^3$;
 – $C_{кр} = 3 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^3$.
16. Укажите схему компоновки насосов и турбин ТНА, имеющих наибольшее применение в ЖРД (рис.3):
 – одновальная совместная -А;
 – редукторная раздельная -Б;
 – двух-вальная раздельная -В.

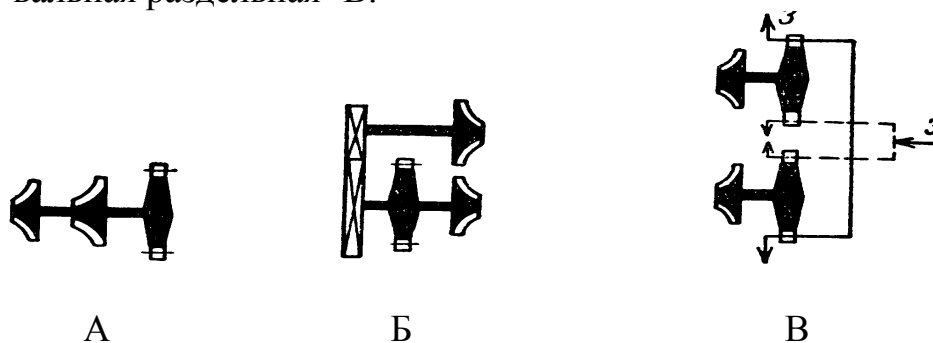


Рис.3

17. Определите максимально допустимую величину температуры газа на входе в турбину ТНА для работы по схеме с дожиганием окислительного газа (ДОГГ):
- 300 К;
 - 750 К;
 - 1100 К.
18. Определите формулу для расчёта располагаемой мощности турбины:
- $M_k \cdot n$;
 - $Q_{ж} \cdot H \cdot \rho_{ж} / \eta$;
 - $m_T \cdot L_T \cdot \eta$.
19. Как увеличение оборотов ТНА влияет на антикавитационные качества насосов:
- увеличивает;
 - не изменяет;
 - уменьшает.
20. Какая плоскость в изображении лопаточной машины называется меридиональной:
- плоскость, перпендикулярная оси вращения;
 - плоскость, проходящая через ось вращения;
 - плоскость, содержащая векторы окружной, относительной и абсолютной скоростей.
21. На какие узлы наибольшее влияние оказывает действие осевых и радиальных сил при функционировании ТНА:
- колёса насосов;
 - колёса турбины;
 - подшипниковые опоры вала.
22. Укажите способ регулирования расхода рабочего тела в ПГС с минимальными изменениями потребной мощности турбины:
- применение дросселя в потоке;
 - использование закольцовки в потоке;
 - изменение оборотов насоса.
23. Укажите способ подачи рабочего тела для наиболее устойчивого вывода ТНА на расчётный режим по оборотам:
- от независимого источника получения газа в составе ТНА;
 - от раскручиваемых основных насосов ТНА в газогенератор;
 - от предварительно раскручиваемых насосов БТНА в газогенератор.
24. Укажите применяемый способ улучшения антикавитационных свойств насоса за счёт изменения параметров рабочего тела:
- давления;
 - температуры;
 - плотности.
25. При каком значении действительного соотношения количеств топлива, делённого на теоретическое соотношение, реализуется схема с подачей на турбину восстановительного газа (ДВГГ):

- $\alpha \gg 1$;
 - $\alpha \approx 1$;
 - $\alpha \ll 1$.
26. Укажите основное назначение предпускового газового объема в топливном баке ДУ:
- контроль предварительного уровня топлива;
 - компенсация температурного расширения топлива;
 - демпфирование колебаний давления топлива при запуске.
27. Определите схему расположения топливных баков «О» и «Г», обеспечивающих минимальное изменение центровки ракетной ступени:
- бак за баком, бак «О» впереди;
 - бак за баком, бак «Г» впереди;
 - бак «Г» внутри бака «О».
28. Определите главное назначение системы наддува топливных баков из перечисленных ниже:
- обеспечение бескавитационной работы топливных насосов;
 - обеспечение необходимой прочности оболочки топливных баков;
 - уменьшение потерь компонентов топлива на испарение.
29. Определите наиболее рациональный способ получения рабочего тела для наддува бака с криогенным топливом:
- газогенератор жидкостный или пороховой;
 - использование инертного газа, хранимого в баллонах;
 - испарение в теплообменнике основного компонента топлива.
30. Выберите из перечисленных ниже факторов тот, который способствует наиболее эффективному использованию газа наддува:
- способ подачи газа в бак;
 - давление и температура газа на входе в бак;
 - теплофизические характеристики газа.

3.2 Примеры контрольных заданий

Задание №1:

1. Определите назначение и состав двигательной установки (ДУ).
2. Сформулируйте основные понятия принятых условных обозначений «ПГС и АСУ».
3. Поясните виды и основное назначение систем и агрегатов, входящих в ПГС ДУ.
4. Определите и охарактеризуйте состав систем и агрегатов, входящих в ПГС ДУ.
5. Задача. Определить тягу и удельную тягу двигательной установки при следующих исходных данных:
 - давление в камере сгорания = 60 кгс/см^2 ;
 - расход горючего (жидкого водорода) при подаче в камеру = $2,3 \text{ кг/с}$;
 - соотношение компонентов топлива = $5,5$;

- давление на выходе из сопла двигателя = $0,1 \text{ кгс/см}^2$;
- давление в окружающей среде = $0,02 \text{ кгс/см}^2$;
- диаметр сопла двигателя = $1,2 \text{ м}$;
- продуктом сгорания в камере является водяной пар.

Задание №2:

1. Конструктивное исполнение топливных баков и воспринимаемые ими нагрузки.
2. Виды топливных баков в зависимости от возникающих эксплуатационных нагрузок и особенностей компоновки ДУ.
3. Основные особенности системы заправки топливных баков и режимов проведения операций заправки КТ.
4. Основные факторы, определяющие требования к устройству забора КТ из баков.
5. Основные факторы, определяющие требования к устройству демпфирования колебаний КТ в баках.
6. Задача. Определить объёмы топливных баков (горючего и окислителя) ДУ с ЖРД при следующих исходных данных:
 - тяга двигателя $R = 20 \text{ тс}$ в течение времени непрерывной работы $\tau = 600 \text{ с}$;
 - удельная тяга двигателя $I_{\text{уд}} = 355 \text{ с}$;
 - компоненты топлива (КТ) – кислород и керосин, имеющие соответственно температуру $T_{\text{жo}} = 90,2 \text{ К}$ и $T_{\text{жг}} = 300 \text{ К}$;
 - решение задачи осуществить с учётом гарантированных запасов, непроизводительных затрат и потерь КТ, внутрибаковых устройств и необходимого газового объёма.

Задание №3:

1. Перечислите основные факторы, определяющие виды применяемых систем топливоподачи.
2. Определите область применения, преимущества и недостатки вытеснительной и насосной систем топливоподачи.
3. Определите область применения, преимущества и недостатки открытой и замкнутой систем топливоподачи.
4. Определите область применения, преимущества и недостатки систем топливоподачи типа ДОГГ, ДВГГ, ДБГГ.
5. Поясните преимущества и недостатки систем топливоподачи типа жидкость-жидкость, газ-жидкость, газ-газ.
6. Задача. Разработать схемы пневмогидросистем двигательных установок (ДУ) следующих вариантов: 1 вар. – открытая; 2вар. - замкнутая с ДОГГ; 3 вар. - замкнутая с ДБГГ.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Формой контроля знаний по дисциплине «Пневмогидравлические системы» являются две текущие аттестации в форме теста и контрольной, итоговый контроль осуществляется в форме экзамена.

Таблица 3

Неделя текущего/промежуточного контроля	Вид оценочного средства	Код компетенций, оценивающий знания, умения, навыки	Содержание оценочного средства	Требования к выполнению	Срок сдачи результатов	Критерии оценки по содержанию и качеству с указанием баллов
В соответствии с графиком учебного процесса	Контрольная	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ПК -1 ПК-2	Результаты выполнения контрольных заданий	Домашние задания с докладом устно в аудитории	На практических занятиях в аудитории	Максимальная оценка – 5 баллов. Критерии оценки: 1.Правильный выбор метода решения (1балл). 2.Умение объяснить логический ход решения (2 балла). 3.Получение правильного результата при решении (2 балла). 4.Задача не решена (0 баллов).
В соответствии с графиком учебного процесса	Тестирование	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ПК -1 ПК-2	35 тестов для ответа на вопросы	Письменно в аудитории в течение 40 минут	На следующий день после проведения	Максимальная оценка – 5 баллов. Критерии оценки: -удовлетворительно - от 50% правильных ответов; - хорошо - от 70% правильных ответов; - отлично - от 90% правильных ответов.
В соответствии с графиком учебного процесса	Экзамен	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ПК -1 ПК-2	2 вопроса в каждом билете	Устно в аудитории в течение 20 минут	В день проведения	Максимальная оценка – 5 баллов. Критерии оценки: «Отлично»: знание основных понятий предмета; умение использовать и применять полученные знания на практике; работа на практических занятиях; знание основных научных теорий, изучаемых предметов; ответ на вопросы билета. «Хорошо»: •знание основных понятий предмета; •умение использовать

						<p>и применять полученные знания на практике;</p> <ul style="list-style-type: none"> • работа на практических занятиях; • знание основных научных теорий, изучаемых предметов; • ответы на вопросы билета • неправильно решено практическое задание <p>«Удовлетворительно»: демонстрирует частичные знания по темам дисциплин; незнание, неумение использовать и применять полученные знания на практике; не работал на практических занятиях; «Неудовлетворительно»: демонстрирует частичные знания по темам дисциплин; незнание основных понятий предмета; неумение использовать и применять полученные знания на практике; не работал на практических занятиях; не отвечает на вопросы.</p>
--	--	--	--	--	--	--

Итоговое начисление баллов по дисциплине осуществляется в соответствии с разработанной и внедренной балльно-рейтинговой системой контроля и оценивания уровня знаний и внеучебной созидательной активности обучающихся.

5. Типовые вопросы, выносимые на экзамен

1. Определите основное назначение и состав двигательной установки (ДУ),
запишите формулы для расчёта основных характеристик ДУ. Поясните виды и основное назначение систем и агрегатов, входящих в ПГС ДУ.
2. Изобразите и поясните конструктивное исполнение топливных баков,
перечислите воспринимаемые ими нагрузки и напишите формулу для расчёта объёма топливного бака. Определите виды топливных баков в зависи-

мости от возникающих эксплуатационных нагрузок и особенностей компоновки ДУ.

3. Перечислите основные особенности системы заправки топливных баков

и режимов проведения операций заправки КТ, напишите формулу для расчёта массы топлива, заправляемого в бак. Определите требования к устройству забора КТ из баков и к устройству демпфирования колебаний КТ в баках.

4. Изобразите основные особенности вытеснительной и насосной схем систем топливоподачи. Определите область применения, преимущества и недостатки этих систем топливоподачи.

5. Изобразите основные особенности открытой и замкнутой систем топливоподачи. Определите область применения, преимущества и недостатки этих систем. Поясните основное отличие и эффективность этих схем при реализации процессов типа жидкость-жидкость, газ-жидкость, газ-газ.

6. Изобразите основные особенности схем систем топливоподачи типа ДОГГ, ДВГГ, ДБГГ и укажите область применения, преимущества и недостатки этих схем.

7. Назовите основные агрегаты ТНА и виды их исполнения. Изобразите схемы компоновок ТНА, определите их преимущества и недостатки.

8. Перечислите основные параметры, характеризующие работу насосов, и напишите расчётные зависимости для определения напора, мощности и КПД насоса.

9. Перечислите энергетические характеристики насосов, поясните их графическое изображение и особенности изменений. Напишите расчётную зависимость для коэффициента быстроходности насоса и объясните особенности его влияния на выбор вида насоса.

10. Изобразите графически кавитационные характеристики насосов и пояснение особенностей их изменений. Обоснуйте особенности определения частоты вращения насосов в зависимости от компоновки ТНА.

11. Определите понятие потребного напора насоса при работе в магистрали топливоподачи и напишите зависимость для его расчёта. Поясните влияние гидравлического сопротивления расходной магистрали и частоты вращения насоса на определение потребного напора.

12. Определите понятия потребная и располагаемая мощность турбины и запишите расчётные зависимости для их определения. Укажите основные параметры, определяющие располагаемую мощность турбины, и характер их влияния.

13. Определите, что представляют собой характеристики турбины, а также адиабатическая скорость истечения в турбине и её значение. Охарактери-

зуйте коэффициент полезного действия турбины и виды потерь, определяющих его величину. Поясните влияние параметров турбины на располагаемую мощность.

14. Задачи, решаемые на практике для обеспечения совместной работы турбины и насосов. Сформулируйте условия гарантированного запуска ТНА и устойчивой работы при раскрутке насосов, а также условия, определяющие требуемую продолжительность запуска ТНА.

15. Определите основные принципы и решаемые задачи по увязке параметров турбины и насосов. Изложите процедуру энергетической увязки параметров турбины и насосов с использованием графического способа. Определите факторы влияния давления в камере и типа газогенератора на параметры системы топливоподачи.

16. Определите основное назначение и принципы реализации рабочего наддува топливных баков. Обоснуйте основные факторы, влияющие на процесс наддува и величину давления в баке, и определите характер их влияния.

17. Расскажите о вариантах схем систем наддува и изобразите их особенности. Перечислите примеры конструктивного исполнения распылителей газа наддува и изобразите характер изменения давления и температуры в баке.

18. Расскажите о способе расчётного определения потребного расхода и необходимого запаса газа наддува. Сформулируйте понятие эффективности процесса наддува топливного бака и определите основные факторы, влияющие на её величину.

19. Определите виды регулирования и управления элементами ПГС для обеспечения нормального функционирования двигательной установки. Расскажите о применяемых способах регулирования подачи компонентов топлива в двигатель.

20. Определите виды и назначение исполнительных элементов систем топливоподачи. Расскажите о принципах действия отсечных клапанов и гидравлических регуляторов расхода жидких компонентов топлива, пневмоуправляющих клапанов и редукторов давления газа.

21. Перечислите основные проблемы и задачи, требующие специального управления элементами ПГС ДУ в условиях полёта. Поясните функционирование схемы регулирования РКС и схемы регулирования СОБ.

22. Поясните существо проблем, требующих специального управления элементами ПГС ДУ в условиях полёта. Поясните функционирование схемы стабилизации ЛА на траектории полёта по тангажу, рысканию и крену.

**Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
(модуля)**

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
И ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО
ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
«ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»**

Направление подготовки: 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»

Специализация: №21 "Производство и технологическая отработка изделий ракетно-космической техники"

Уровень высшего образования: специалитет

Квалификация (степень) выпускника: инженер

Форма обучения: *очная, очно-заочная*

**Королёв
2023**

Общие положения

Целью изучения дисциплины «Пневмогидравлические системы» является формирование знаний об устройстве и принципе действий пневмогидравлических систем двигательных установок, а так же приобретение способности по их разработке. Изучение этой дисциплины позволит выпускникам успешно решать задачи в профессиональной деятельности, связанные с созданием и эксплуатацией двигательных установок ракетно-космических систем.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- ознакомление с видами схемного и конструктивного исполнения пневмогидравлических систем и их элементов.
- ознакомление с теплофизическими принципами, используемыми для эффективного функционирования систем.
- освоение способов расчётного определения основных гидравлических и энергетических характеристик элементов систем.
- освоение методов увязки и регулирования параметров основных элементов систем для успешного функционирования двигательной установки.

1. Указания по проведению практических (семинарских) занятий

Проведение практических занятий по предмету «Пневмогидравлические системы» обусловлено необходимостью:

- подтверждения, что студенты понимают функциональное назначение элементов пневмогидравлических систем и теплофизические принципы, обеспечивающие их работоспособность в составе двигательной установки;
- приобретения студентами навыков расчётного определения основных параметров и характеристик элементов пневмогидравлических систем.

Практические занятия по предмету «Пневмогидравлические системы» рекомендуется проводить на основе обсуждения ответов или докладов студентов, а также результатов решения практических задач по каждой из тем 1-9, названия которых приведены в таблице 2 рабочей программы.

Примеры вопросов и задач для тестирования и проведения практических занятий приведены в разделе 3 Приложения 1 к программе. При этом каждый из обучающихся должен выступить на практических занятиях не менее 2-х раз в семестре по теоретическому вопросу и решению практических задач.

3. Указания по проведению лабораторного практикума

Проведение лабораторного практикума в рабочей программе по предмету «Пневмогидравлические системы» не предусмотрено.

4. Рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов должна быть направлена на использование научно-технической литературы для углубленного изучения предмета и систематизации знаний. В результате самостоятельной работы студенты должны приобрести навыки подготовки докладов и электронных презентаций, умение находить рациональные технические решения на основе самостоятельно подготовленных материалов. В таблице 4.1 для примера приведены виды самостоятельной работы, которые могут быть предложены студентам по предмету «Пневмогидравлические системы»

Таблица 4.1

№ п/п	Наименования тем дисциплины	Виды самостоятельной работы
1	Темы 1-9, перечисленные в разделе 4.2 рабочей программы	Подготовка ответов на теоретические вопросы и решения задач по каждой из тем 1- 9 с обсуждением на практических занятиях.
2	Научно-исследовательская работа по одной из тем 1-9, перечисленных в разделе 4.2 рабочей программы	Подготовка реферата (доклада) на основе углубленного и расширенного изучения одной из тем, предложенных преподавателем, для обсуждения на кафедре или на конференции

5.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учебник // М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016.406 с.
2. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок / Под редакцией Д.А. Ягодникова // М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. 223с.
3. Беляев Е.Н., Воробьёв А.Г. Энергетическая увязка параметров ЖРД: учебное пособие // М: Изд-во МАИ. 2016. 66 с.
4. Гуртовой А.А., Иванов А.В., Скоромохов Г.И. Расчёт и конструирование агрегатов ЖРД : учебное пособие// Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2016.167 с.

Дополнительная литература:

1. Козлов А.А., Новиков В.Н., Соловьёв Е.В. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок. // М: Машиностроение, 1988. 352 с.
2. Овсяников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчёт агрегатов питания ЖРД. // М: Машиностроение, 1986. 376 с.
3. Беляев Н.М. Расчёт пневмогидравлических систем ракет. // М: Машиностроение, 1983. 219 с.

4. Пневмогидравлические системы двигательных установок с жидкостными ракетными двигателями / Под редакцией В.Н.Челомея // М: Изд-во Машиностроение

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной в сети «Интернет»

Интернет-ресурсы:

<http://www.biblioclub.ru/>

<http://www.rucont.ru/>

<http://www.znaniium.com/>

<http://www.book.ru>

<http://e.lanbook.com/>

<http://www.biblio-online.ru>

[Elibrary](#)

<http://ies.unitech-mo.ru/>

<http://unitech-mo.ru/>

Электронные ресурсы образовательной среды «МГОТУ».

1. <http://biblioclub.ru/index.php>- библиоклуб (университетская библиотека);

2. <http://www.znaniium.com> - электронно-библиотечная система Znaniium.com!;

3. <http://e.lanbook.com> - электронно-библиотечная система издательства «Лань»;

4. <http://www.rucont.ru/> - Национальный цифровой ресурс Руконт - межотраслевая электронная библиотека (ЭБС);

7. Перечень информационных технологий, перечень программного обеспечения:

MSOffice, RAMUS.