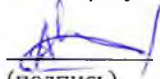


УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета


(подпись) Юнаков Л. П.
«31» 05 2022 Ф.И.О.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ СТАРТОВАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Направление/специальность подготовки	24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика
Специализация/профиль/программа подготовки	Стартовые комплексы и пусковые установки
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	3	108	51	0	17	34	57	0	0	57	зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика

год набора группы: 2022

Программу составил:

Кафедра А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Синильщиков Валерий Борисович, к.т.н., доцент



Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

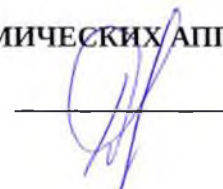
Заведующий кафедрой Долбенков В.Г., к.т.н., снс



Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Долбенков В.Г., к.т.н., снс



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

СТАРТОВАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-3.04 — Способность проектировать и конструировать механические конструкции, системы и агрегаты летательных аппаратов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-3.04

знания:

- научно-технические основы газодинамики старта ракет;
- основные понятия и методологию газодинамики старта и способы снижения воздействия на элементы стартового комплекса и стартующую ракету;

умения:

- анализировать результаты экспериментальных и численных исследований газодинамических и двухфазных течений при старте, силовых, тепловых и иных нагрузок на элементы стартового комплекса и стартующую ракету;
- обосновывать способы снижения газодинамических нагрузок на ракету и элементы стартового комплекса;

навыки:

- использования научной и справочной литературы при проведении расчетов и экспериментальных исследований, анализе результатов и выборе способов снижения нагрузок;
 - навыками организации и проведения расчетов и физического эксперимента в области газодинамики старта;
- анализа результаты экспериментальных и численных исследований газодинамических и двухфазных течений при старте.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **СТАРТОВАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания физико-математической подготовки бакалавра и служит основой для освоения дисциплин: **ГАЗОВЫЕ ПРИВОДЫ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ, ГОСУДАРСТВЕННАЯ ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ, ТЕПЛО И МАССОПЕРЕДАЧА**

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-3.04
5	9	Раздел 1. Задачи газодинамики старта. 1.1 Общая характеристика задач газодинамики старта. 1.2. Виды воздействия струйных течений и вызванных ими течений воздуха на элементы конструкций стартового комплекса (СК) и ракету. Повреждающий эффект воздействий. 1.3. Требования к уровням нагружения. 1.4. Схемы газоотведения при старте ракет различного назначения. Их краткая характеристика. Достоинства и недостатки. Области применения.	4	2	0	2	2	5
5	9	Раздел 2. Стационарные сверхзвуковые одиночные и блочные струи. 2.1. Одиночная свободная сверхзвуковая расчетная струя. Структура и характеристики. Турбулентность. Смещение, догорание, эжекция. 2.2. Преобразование энергии в турбулентном слое смешения. Понятие о колмогоровском масштабе. 2.3. Соотношения для изменения скоростного напора и энтальпии по оси струи 2.4. Одиночная свободная сверхзвуковая недорасширенная и перерасширенная струя. Ударноволновые структуры и изменение параметров на них. 2.5. Особенности распространения блочных струй.	17	5	3	2	12	10
5	9	Раздел 3. Взаимодействие сверхзвуковых струй с преградами. 3.1. Стационарные и нестационарные режимы взаимодействия струй с преградой, перпендикулярной оси. 3.2. Автомодельная схема взаимодействия. 3.3. Взаимодействие струи с коническим газоотражателем. Структура течения. 3.4. Взаимодействие струи с наклонным односкатным газоотражателем. Структура течения. Понятие о критической точке. Способы оценки давлений. 3.5. Взаимодействие блочной струи с плоской преградой. Возникновение обратных токов. 3.6. Взаимодействие блочной струи с элементами полузаглубленного газохода. 3.7. Взаимодействие струи с поверхностью нулевой отметки.	10	4	2	2	6	10
5	9	Раздел 4. Тепловое воздействие струй ракетных двигателей на преграды. 4.1. Схема теплового воздействия при натекании струи на преграду, перпендикулярную оси. 4.2. Факторы, влияющие на тепловой поток 4.3. Критерияльная методика оценки тепловых потоков 4.5. Тепловые потоки в пятне воздействия струи на преграду, перпендикулярную оси 4.4. Схема теплового воздействия при натекании струи на наклонную преграду. 4.5. Схема теплового воздействия при натекании струи на поверхность нулевой отметки. Факторы, влияющие на теплоотдачу. 4.6. Особенности теплового воздействия на кромки листов металлооблицовки 4.7. Методика, основанная на расчете течений в пограничном слое.	12	6	4	2	6	10
5	9	Раздел 5. Пульсационное и акустическое воздействие струй ракетных двигателей на стартовый комплекс и ракету. 5.1. Основные характеристики пульсаций давления как случайного процесса. 5.2. Акустическое излучение струи. Методики оценки . 5.3. Физические процессы, вызывающие пульсации давления на преграде 5.4. Изменение спектра и общего уровня пульсаций давления на преграде по мере подъема ракеты. 5.5. Полуэмпирическая методика оценки общего уровня и спектральной плотности пульсаций давления на наклонном односкатном газоотражателе. 5.6. Получение реализации давления на поверхности газоотражателя. 5.7. Пульсационные режимы взаимодействия струй с преградами 5.8. Акустическое воздействие на стартующую ракету. Причины и способы снижения. 5.9. Методы снижения пульсационных и акустических нагрузок.	11	6	3	3	5	10
5	9	Раздел 6. Нестационарные процессы при запуске ракетного двигателя и выходе на основной режим тяги. 6.1. Процессы при запуске ракетного двигателя. 6.2. Распространение прямых и отраженных пусковых волн 6.3. Реализация отрывного и безотрывного режима течения на срезе сопла. Перестройка течения. Развитие сверхзвуковой струи 6.4. Пульсационные режимы. Эффект Пауэлла. 6.5. Развитие течения в полузаглубленном стартовом разрежении. Фазы повышенного давления и разрежения 6.6. Проблема донного разрежения и методы ее решения.	8	4	0	4	4	10
5	9	Раздел 7. Минометный старт и старт из проточного контейнера. 7.1. Требования к параметрам в подракетном объеме при минометном старте. 7.2. Способы стабилизации давления в подракетном объеме 7.3. Проблема безударного выхода. 7.4. Проблема раскупорки. 7.5. Затекание струй в контейнер после запуска РД. 7.6. Особенности процессов при старте из проточного контейнера 7.7. Нагрузки на проточный контейнер при старте.	9	4	0	4	5	10
5	9	Раздел 8. Использование систем водоподдачи для снижения тепловых, силовых и акустических нагрузок при старте. 8.1. Схемы водоподдачи при старте отечественных и зарубежных ракет космического назначения. 8.2. Общая характеристика взаимодействия газа с каплями воды. 8.3. Физическая картина процессов при внутрискрутиной и внешнеструйной водоподдаче. 8.4. Использование водоподдачи для снижения силовых и тепловых нагрузок на элементы стартового комплекса. 8.5. Использование водоподдачи для снижения акустических нагрузок на стартующую ракету.	9	4	0	4	5	10
5	9	Раздел 9. Процессы в газовых приводах стартовых комплексов. 9.1. Основные элементы газовых приводов. 9.2. Основные положения нульмерной математической модели газовых приводов 9.3. Уравнения, описывающие горение твердого топлива 9.4. Уравнения, описывающие истечение газа из объема в объем 9.5. Интегральные уравнения массы, концентрации и энергии для объемов 9.6. Минометная схема старта. Проблема заброса давления 9.7. Катапультная схема старта.	19	9	5	4	10	15
5	9	Раздел 10. Комплексное воздействие струйных течений при старте на элементы стартового комплекса и ракету. 10.1. Общая характеристика комплексного воздействия. Его составляющие и их повреждающий эффект. 10.2. Зоны на поверхностях стартового комплекса и ракеты, подвергающиеся наиболее интенсивному воздействию при старте для разных схем старта 10.3. Химическое и эрозийное воздействие 10.4. Затекание газа под листы металлооблицовки. 10.5. Нестационарный прогрев листов металлооблицовки. 10.6. Термонапряжения и термодформации. Пластические деформации. Влияние схемы закрепления листов. 10.7. Квазистационарные силовые нагрузки на элементы конструкции стартовых комплексов	9	7	0	7	2	10

	для разных схем старта 10.8. Ударно-волновые нагрузки на ракету и элементы конструкции стартовых комплексов для разных схем старта 10.9. Пульсационные нагрузки на ракету и элементы конструкции стартовых комплексов для разных схем старта 10.10. Пластические деформации листов металлооблицовки 10.11. Прочность и малоцикловая усталость элементов конструкции, подвергающихся газодинамическому воздействию при старте.						
Всего за 9 семестр		108	51	17	34	57	100
Всего по дисциплине		108	51	17	34	57	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Задачи газодинамики старта.	Общая характеристика задач газодинамики старта.	2
2	Раздел 2. Стационарные сверхзвуковые одиночные и блочные струи.	Стационарные сверхзвуковые одиночные и блочные струи	2
3	Раздел 3. Взаимодействие сверхзвуковых струй с преградами.	Взаимодействие сверхзвуковых струй с преградами	2
4	Раздел 4. Тепловое воздействие струй ракетных двигателей на преграды.	Тепловое воздействие струй ракетных двигателей на преграды	2
5	Раздел 5. Пульсационное и акустическое воздействие струй ракетных двигателей на стартовый комплекс и ракету.	Пульсационное и акустическое воздействие струй ракетных двигателей на стартовый комплекс и ракету.	3
6	Раздел 6. Нестационарные процессы при запуске ракетного двигателя и выходе на основной режим тяги.	Нестационарные процессы при запуске ракетного двигателя и выходе на основной режим тяги	4
7	Раздел 7. Минометный старт и старт из проточного контейнера.	Минометный старт и старт из проточного контейнера	4
8	Раздел 8. Использование систем водоподдачи для снижения тепловых, силовых и акустических нагрузок при старте.	Использование систем водоподдачи для снижения тепловых, силовых и акустических нагрузок при старте	4
9	Раздел 9. Процессы в газовых приводах стартовых комплексов.	Процессы в газовых приводах стартовых комплексов	4
10	Раздел 10. Комплексное воздействие струйных течений при старте на элементы стартового комплекса и ракету.	Комплексное воздействие струйных течений при старте на элементы стартового комплекса и ракету	7
Всего за 9 семестр			34

3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Стационарные сверхзвуковые одиночные и блочные струи.	Расчет свободной сверхзвуковой осесимметричной струи структурно-элементным методом	3
2	Раздел 3. Взаимодействие сверхзвуковых струй с преградами.	Расчет давлений на газоотражателе в области натекания струи при разных расстояниях от среза сопла	2
3	Раздел 4. Тепловое воздействие струй ракетных двигателей на преграды.	Расчет тепловых потоков в поверхность газоотражателя для разных температур поверхности и нестационарной теплопроводности	4
4	Раздел 5. Пульсационное и акустическое воздействие струй ракетных двигателей на стартовый комплекс и ракету.	Расчет пульсационных нагрузок на газоотражатель	3
5	Раздел 9. Процессы в газовых приводах стартовых комплексов.	Выборе рационального сочетания параметров для системы минометного или катапультного старта.	5
Всего за 9 семестр			17

3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Задачи газодинамики старта.	Самостоятельное изучение дидактической единицы 1.4 по учебной литературе	2
2	Раздел 2. Стационарные сверхзвуковые одиночные и блочные струи.	Оформление отчета по лабораторной работе	2
3		Повторение разделов 4-5 из курса "Струйные течения"	8
4		Подготовка к лабораторной работе	2
5	Раздел 3. Взаимодействие сверхзвуковых струй с преградами.	Самостоятельное изучение дидактических единиц 3.2-3.4 по учебной литературе	4
6		Оформление отчета по лабораторной работе	2
7	Раздел 4. Тепловое воздействие струй ракетных двигателей на преграды.	Оформление отчета по лабораторной работе	2
8		Самостоятельное изучение дидактических единиц 4.1-4.3 по учебной литературе	4
9	Раздел 5. Пульсационное и акустическое воздействие струй ракетных двигателей на стартовый комплекс и ракету.	Самостоятельное изучение дидактических единиц 5.1-5.3 по учебной литературе	3
10		Оформление отчета по лабораторной работе	2
11	Раздел 6. Нестационарные процессы при запуске ракетного двигателя и выходе на основной режим тяги.	Самостоятельное изучение дидактических единиц 6.1-6.3 по учебной литературе	4
12	Раздел 7. Минометный старт и старт из проточного контейнера.	Изучение дидактических единиц 7.1, 7.2, 7.7 по учебной литературе	5
13	Раздел 8. Использование систем водоподдачи для снижения тепловых, силовых и акустических нагрузок при старте.	Самостоятельное изучение дидактических единиц 8.1-8.2 по учебной литературе	5
14	Раздел 9. Процессы в газовых приводах стартовых комплексов.	Оформление отчета по лабораторной работе	4
15		Самостоятельное изучение дидактических единиц 9.6-9.7 по учебной литературе	4
16		Подготовка к лабораторной работе	2
17	Раздел 10. Комплексное воздействие струйных течений при старте на элементы стартового комплекса и ракету.	Самостоятельное изучение дидактической единицы 10.10 по учебной литературе	2
Всего за 9 семестр			57

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9	Отч. по ЛР	Отч. по ЛР	Отч. по ЛР	Отч. по ЛР	ДР	Отч. по ЛР	КВ	ДР					Отч. по ЛР			ДР	Вопр. Зач. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ЛР – отчет по ЛР;
- КВ – контрольные вопросы;
- Вопр. Зач – вопросы к зачету;
- зач. – зачет.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- отчет по ЛР;
- контрольные вопросы;
- вопросы к зачету.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Теория пластичности. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 36 экз.
2. . Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники. М.: Полиграфикс РПК, 2005, эл. рес.
3. . Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники. М.: Полиграфикс РПК, 2006, эл. рес.
4. А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 26 экз.
5. А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, эл. рес.
6. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, И. В. Тетерина. . Теплопередача. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 86 экз.
7. Е. В. Афанасьев, В. И. Балобан, С. В. Бобышев. . Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004, 175 экз.
8. Е. В. Афанасьев, С. В. Бобышев, И. Л. Добросердов. . Определение параметров поля течения одиночной неизобарической струи. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
9. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Двухфазные течения. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
10. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 30 экз.
11. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017, 50 экз.
12. Ю. А. Круглов, В. П. Зюзликов, Б. Е. Синильщиков. . Системы катапультирования ракет. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. И. Цветков. . Акустические взаимодействия в газовых потоках. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2021, 3 экз.
2. Ю. Ф. Дитякин, Л. А. Клячко, Б. В. Новиков. . Распыливание жидкостей. М.: Машиностроение, 1977, 1 экз.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов..

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

1. Matlab 2015a SP1;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Практические занятия:

1. Matlab 2015a SP1;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced.

6.2. Лабораторные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **СТАРТОВАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А4 СТАРТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:
ПСК-3.04 Способность проектировать и конструировать механические конструкции, системы и агрегаты летательных аппаратов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с с гидрогазодинамическими процессами при старте ракет различного назначения:

- 1) знакомство с видами газодинамических процессов, происходящих при запуске и работе двигательной установки, а также при минометном старте ракеты;
- 2) изучение различных видов нагрузок, действующих на ракету, на элементы стартового сооружения при различных схемах старта ракеты;
- 3) изучение способов снижения различного рода гидрогазодинамических нагрузок, действующих на ракету и стартовое сооружение.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- отчет по ЛР;
- контрольные вопросы;
- вопросы к зачету.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**34 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Задачи газодинамики старта.		
Самостоятельное изучение дидактической единицы 1.4 по учебной литературе	А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (2) . Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: М.: Полиграфикс РПК, 2006 (3) Е. В. Афанасьев, В. И. Балобан, С. В. Бобышев. . Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (1)	2
Итого по разделу 1		2
Раздел 2. Стационарные сверхзвуковые одиночные и блочные струи.		
Оформление отчета по лабораторной работе	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (3)	2
Повторение разделов 4-5 из курса "Струйные течения"	Е. В. Афанасьев, С. В. Бобышев, И. Л. Добросердов. . Определение параметров поля течения одиночной неизобарической струи: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (3-4)	8
Подготовка к лабораторной работе		2
Итого по разделу 2		12
Раздел 3. Взаимодействие сверхзвуковых струй с преградами.		
Самостоятельное изучение дидактических единиц 3.2-3.4 по учебной литературе	А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (3) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (5) Е. В. Афанасьев, В. И. Балобан, С. В. Бобышев. . Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (3)	4
Оформление отчета по лабораторной работе		2
Итого по разделу 3		6
Раздел 4. Тепловое воздействие струй ракетных двигателей на преграды.		
Оформление отчета по лабораторной работе	В. В. Сахин, Е. М. Герлиман, И. В. Тетерина. . Теплопередача: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (4)	2
Самостоятельное изучение дидактических единиц 4.1-4.3 по учебной литературе	. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: М.: Полиграфикс РПК, 2005 (3) А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4)	4

	Е. В. Афанасьев, В. И. Балобан, С. В. Бобышев. . Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (5)	
Итого по разделу 4		6
Раздел 5. Пульсационное и акустическое воздействие струй ракетных двигателей на стартовый комплекс и ракету.		
Самостоятельное изучение дидактических единиц 5.1-5.3 по учебной литературе	А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (6) А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (6) . Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: М.: Полиграфикс РПК, 2006 (3)	3
Оформление отчета по лабораторной работе	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. И. Цветков. . Акустические взаимодействия в газовых потоках: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2021 (3,4)	2
Итого по разделу 5		5
Раздел 6. Нестационарные процессы при запуске ракетного двигателя и выходе на основной режим тяги.		
Самостоятельное изучение дидактических единиц 6.1-6.3 по учебной литературе	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (4) . Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: М.: Полиграфикс РПК, 2005 (3) А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (5)	4
Итого по разделу 6		4
Раздел 7. Минометный старт и старт из проточного контейнера.		
Изучение дидактических единиц 7.1, 7.2, 7.7 по учебной литературе	А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (6) Е. В. Афанасьев, В. И. Балобан, С. В. Бобышев. . Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (6)	5
Итого по разделу 7		5
Раздел 8. Использование систем водоподдачи для снижения тепловых, силовых и акустических нагрузок при старте.		
Самостоятельное изучение дидактических единиц 8.1-8.2 по учебной литературе	Ю. Ф. Дитякин, Л. А. Клячко, Б. В. Новиков. . Распыливание жидкостей: М.: Машиностроение, 1977 (2-3) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Двухфазные течения: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (3) . Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: М.: Полиграфикс РПК, 2005 (3)	5
Итого по разделу 8		5
Раздел 9. Процессы в газовых приводах стартовых комплексов.		
Оформление отчета по лабораторной работе	Ю. А. Круглов, В. П. Зюзликов, Б. Е. Синильщиков. . Системы катапультирования ракет: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1,4) А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (6)	4
Самостоятельное изучение дидактических единиц 9.6-9.7 по учебной литературе		4
Подготовка к лабораторной работе		2
Итого по разделу 9		10
Раздел 10. Комплексное воздействие струйных течений при старте на элементы стартового комплекса и ракету.		
Самостоятельное	. Теория пластичности: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.	2

изучение дидактической единицы 10.10 по учебной литературе	Устинова, 2018 (3) А. П. Маштаков, Р. В. Красильников. . Физические основы пуска: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (5)	
Итого по разделу 10		2

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы к зачету;
- контрольные вопросы;
- отчет по ЛР;
- зачет.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Вопросы к зачету

1. Схемы газотопления в стартовых комплексах.
2. Одиночная свободная сверхзвуковая расчетная струя. Структура и характеристики. Турбулентность. Смешение, догорание, эжекция. Преобразование энергии в турбулентном слое смешения. Понятие о Колмогоровском масштабе.
3. Соотношения для изменения скоростного напора и энтальпии по оси осесимметричной стационарной сверхзвуковой свободной струи
4. Одиночная свободная сверхзвуковая недорасширенная и перерасширенная струя. Ударно-волновые структуры и изменение параметров на них.
5. Особенности распространения блочных струй. Влияние ветра на распространение свободных одиночных и блочных струй
6. Стационарные и нестационарные режимы взаимодействия струй с преградой, перпендикулярной оси. Автомодельная схема взаимодействия.
7. Взаимодействие струи с коническим газотражателем. Структура течения
8. Взаимодействие струи с наклонным односкатным газотражателем. Структура течения. Понятие о критической точке. Способы оценки давлений.
9. Взаимодействие блочной струи с элементами полузаглубленного газозода и с поверхностью нулевой отметки.
10. Схема теплового воздействия при натекании струи на преграду, перпендикулярную оси. Факторы, влияющие на тепловой поток. Критериальная методика оценки тепловых потоков
11. Схема теплового воздействия при натекании струи на наклонную преграду. Схема теплового воздействия при натекании струи на поверхность нулевой отметки. Факторы, влияющие на теплоотдачу. Особенности теплового воздействия на кромки листов металлооблицовки
12. Основные характеристики пульсаций давления как случайного процесса. Физические процессы, вызывающие пульсации давления на преграде
13. Изменение спектра и общего уровня пульсаций давления на преграде по мере подъема ракеты. Получение реализации давления на поверхности газотражателя.
14. Пульсационные режимы взаимодействия струй с преградами. Акустическое воздействие на стартующую ракету. Причины и способы снижения.
15. Нестационарные процессы в сопле и на выходе из сопла при запуске ракетного двигателя и выходе на основной режим тяги
16. Нестационарные процессы в полузаглубленном сооружении при запуске ракетного двигателя и выходе на основной режим тяги
17. Общая характеристика комплексного воздействия. Его составляющие и их повреждающий эффект. Химическое и эрозионное воздействия
18. Нестационарный прогрев листов металлооблицовки.
19. Термонапряжения и термодформации. Пластические деформации. Влияние схемы закрепления листов. Понятие о малоциклового усталости
20. Требования к параметрам в подракетном объеме при минометном старте. Способы стабилизации давления в подракетном объеме
21. Проблема безударного выхода. Проблема раскупорки. Затекание струй в контейнер после запуска

РД.

22. Нагрузки на открытый контейнер при старте крылатых ракет
23. Схемы водоподачи при старте отечественных и зарубежных ракет космического назначения.
24. Физическая картина процессов при внутривстрельной водоподаче. Использование водоподачи для снижения нагрузок на РКН и СК.
25. Инженерный подход к приближенному расчету термодинамики газовых приводов
26. Минометная схема старта
27. Катапультная схема старта

Контрольные вопросы

Контроль в форме контрольных вопросов проводится по результатам изучения разделов 2-6. Каждому студенту задается один вопрос по базовым понятиям курса, особенностям течений или нагрузкам, действующим на ракету или стартовый комплекс. Ответ должен быть дан без подготовки. Опрос считается успешно пройденным, если студент дал верное по смыслу определение понятия, качественно точно описал характер течения, зоны наибольшего воздействия и порядки величин. Перечень контрольных вопросов имеется в УМК дисциплины

Отчет по ЛР

По результатам каждой лабораторной работы студенты оформляют отчеты в бумажном виде, включающие цели работы, основные формулы и результаты в форме числовых значений, таблиц и графиков.

Студент допускается к защите, если основные искомые величины определены правильно с погрешностью не более 1% и при наличии правильно оформленного отчета.

Защита проходит в форме ответов на вопросы преподавателя (3 вопроса).

Лабораторная работа считается защищенной при правильных ответах не менее, чем на 2 вопроса.

Задания на лабораторные работы представлены в УМК дисциплины

Зачет

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Студент допускается к зачету при условии успешной защиты всех лабораторных работ и правильного ответа на контрольный вопрос.

Зачет по дисциплине проходит в форме устных ответов на вопросы из списка, приведенного в пункте "Вопросы к зачету".

Оценка выставляется после собеседования со студентом в соответствии со следующими критериями:

- оценка ЗАЧТЕНО – полное раскрытие вопроса при среднем или высоком уровне владения материалом;
- оценка НЕ ЗАЧТЕНО – в иных случаях.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-3.04	
5	9	Раздел 1. Задачи газодинамики старта.	4	2	0	2	2	5	Вопросы к зачету
5	9	Раздел 2. Стационарные сверхзвуковые одиночные и блочные струи.	17	5	3	2	12	10	Вопросы к зачету, Отчет по ЛР, Контрольные вопросы
5	9	Раздел 3. Взаимодействие сверхзвуковых струй с преградами.	10	4	2	2	6	10	Вопросы к зачету, Отчет по ЛР, Контрольные вопросы
5	9	Раздел 4. Тепловое воздействие струй ракетных двигателей на преграды.	12	6	4	2	6	10	Вопросы к зачету, Отчет по ЛР, Контрольные вопросы
5	9	Раздел 5. Пульсационное и акустическое воздействие струй ракетных двигателей на стартовый комплекс и ракету.	11	6	3	3	5	10	Вопросы к зачету, Отчет по ЛР, Контрольные вопросы
5	9	Раздел 6. Нестационарные процессы при запуске ракетного двигателя и выходе на основной режим тяги.	8	4	0	4	4	10	Вопросы к зачету, Контрольные вопросы
5	9	Раздел 7. Минометный старт и старт из проточного контейнера.	9	4	0	4	5	10	Вопросы к зачету, Отчет по ЛР
5	9	Раздел 8. Использование систем водоподдачи для снижения тепловых, силовых и акустических нагрузок при старте.	9	4	0	4	5	10	Вопросы к зачету
5	9	Раздел 9. Процессы в газовых приводах стартовых комплексов.	19	9	5	4	10	15	Вопросы к зачету, Отчет по ЛР
5	9	Раздел 10. Комплексное воздействие струйных течений при старте на элементы стартового комплекса и ракету.	9	7	0	7	2	10	Вопросы к зачету
Всего за 9 семестр			108	51	17	34	57	100	
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	100	