

Документ подписан простой электронной подписью Информация о владельце: ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич Должность: Ректор Дата подписания: 20.05.2026 23:50:54 Уникальный программный ключ (специальности) 891934b8c2cf7b6350cbe51cdda3096e877f1f3	МИНОВЕРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)	стр. 1
--	--	--------

Рабочая программа дисциплины (модуля)*

Аэрогазодинамический эксперимент

Направление подготовки (специальность)

01.03.02 Прикладная математика и информатика

Направленность (профиль)

Математическое моделирование

Присваиваемая квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2026

*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Миасс 2026 г.



Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
 - 6.1. Перечень видов оценочных средств
 - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
 - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
 - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
 - 7.1. Рекомендуемая литература
 - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
 - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины "Аэрогазодинамический эксперимент" является подготовка студентов к участию в проведении гидроаэрогазодинамических экспериментальных исследований, связанных с их будущей профессиональной деятельностью по профилю "Математическое моделирование".

Задачи дисциплины:

-ознакомление с основами экспериментальной отработки гидроаэрогазодинамических характеристик летательных аппаратов, стартующих из под воды, с действующими на летательный аппарат гидроаэрогазодинамическими силами и моментами и зависимостью этих сил и моментов от климатических параметров движения. с методами и основными экспериментальными установками для экспериментальных исследований;

-ознакомление с основными этапами проведения исследований;

- изучение методов организации и проведения экспериментальных исследований;

- изучение методов обработки и представление результатов экспериментов;

- изучение методов автоматизации экспериментальных исследований.

Результаты обучения по дисциплине направлены на достижения индикаторов:

УК-4.1 Имеет представление о правилах и принципах деловой устной и письменной коммуникации на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах).

УК-4.2 Демонстрирует умение осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах, использовать методы и навыки делового общения.

УК-4.3 Имеет навыки делового общения на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке (ах)

ПК-1.1. Имеет представление о современных методах проведения расчетов параметров нагружения конструкций изделий, включая метод конечных элементов, основах теории теплопередачи, радиационного теплообмена,

современных методах обработки данных,

математических методах проведения баллистических расчетов, основах аэродинамики, методах проектирования ракет.

ПК-1.2. Демонстрирует умение применять современные системы автоматизированного проектирования (САПР), в том числе: пакеты прикладных программ конечно-элементного анализа; пакеты прикладных программ для обработки экспериментальных данных, автоматизации эксперимента.

ПК-1.3. Имеет практический опыт математического моделирования и применения пакетов прикладных программ для решения задач аэрогазодинамики, тепловой защиты, прочности, динамики движения в области РКТ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП:

К.М.03.ДВ.03.01

2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Расчет на прочность

Уравнения математической физики

Теоретическая механика

Физика

Иностранный язык

Основы баллистики

Производственная практика (технологическая (проектно-технологическая) практика)

2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Выполнение и защита выпускной квалификационной работы



Производственная практика (преддипломная практика)

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

УК-4: Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)

Знать:

Для достижения УК-4.1:

знать технические термины и основные понятия аэрогазодинамики на английском языке.

Уметь:

Для достижения УК-4.2:

уметь переводить технические и научные статьи по аэрогазодинамике с английского на русский язык.

Владеть:

Для достижения УК-4.3:

владеть навыками чтения научных статей по аэрогазодинамике на английском языке.

ПК-1: Способен к отработке прочностных, аэродинамических, теплофизических характеристик изделий РКТ на основе современных пакетов прикладных программ, к математическому моделированию в области динамики, баллистики и управления полетом на базе современных компьютерных технологий

Знать:

Для достижения ПК-1.1:

знать теоретическую основу экспериментальных аэрогазодинамических исследований и методы математического планирования экспериментов.

Уметь:

Для достижения ПК-1.2:

уметь выбирать необходимое оборудование, аппаратные средства, составлять структурные схемы автоматизированных систем экспериментальных исследований, применять программное обеспечение для таких систем.

Владеть:

Для достижения ПК-1.3:

владеть практические навыки постановки экспериментальных гидроаэрогазодинамических исследований, навыки математического планирования экспериментов и применения программного обеспечения.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	- теоретическую основу экспериментальных аэрогазодинамических исследований и методы математического планирования экспериментов;
3.1.2	- Технические термины и основные понятия аэрогазодинамики на английском языке.
3.2	Уметь:
3.2.1	- выбирать необходимое оборудование, аппаратные средства, составлять структурные схемы автоматизированных систем экспериментальных исследований, - применять программное обеспечение для таких систем;
3.2.2	- переводить технические и научные статьи по аэрогазодинамике с английского на русский язык.
3.3	Владеть:
3.3.1	- практические навыки постановки экспериментальных гидроаэрогазодинамических исследований, навыки математического планирования экспериментов и применения программного обеспечения;
3.3.2	- навыками чтения научных статей по аэрогазодинамике на английском языке.



4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану : 144	Виды контроля в семестрах: зачеты 7
в том числе :	
аудиторные занятия : 68	
самостоятельная работа : 75,8	
контактная работа: 68,2 ИКР: 0,2	

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Литература
	Раздел 1. Экспериментальные исследования процессов подводного старта			
1.1	Основные проблемы, связанные с подводным стартом изделия. Характеристики систем, обеспечивающих подготовку и старт изделия (системы герметизации, системы амортизации, системы удержания, системы запуска, системы снижения нагрузок и т.д.). Способы старта, их основные особенности и отличия. Способы снижения нагрузок при старте. Основные аналитические зависимости. Методология отработки подводного старта. Методология проведения эксперимента. Решаемые задачи. Физические процессы, сопровождающие старт изделия из шахты. /Лаб/	7	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
1.2	Моделирование и основные критерии подбора. Основные требования к оборудованию для экспериментальных исследований подводного старта. Гидробаллистические установки (отечественные и зарубежные), методика и техника работы на них. Гидробаллистические установки ГРЦ (гидробаллистические бассейны, глубоководные газодинамические стенды). Основные системы и элементы установок. Возможности исследований и экспериментов. Основные принципы проектирования и разработки моделей. Требования к моделям. Баллистические модели. Тензометрические модели. Основы расчета пороховых двигателей для моделей, вопросы методики и техники их исследований. /Пр/	7	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
1.3	Методики экспериментальных исследований процессов подводного старта. Техника и методика измерений. Бортовая телеметрия. Скоростная киносъемка. Требования к измерениям и обработке результатов измерений. /Ср/	7	18	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2
	Раздел 2. Экспериментальное определение гидродинамических характеристик тел вращения			
2.1	Общие зависимости для гидродинамических сил и моментов. Понятие о присоединённых массах. Безразмерные коэффициенты сил и моментов. Общая проблема сопротивления тел при сплошном обтекании. Сведения из теории пограничного слоя. Методы уменьшения сопротивления (отсос пограничного слоя, эффект полимеров и т.д.). Сопротивление тел с частичной и полной кавитацией. Необходимые требования к форме тела и к режиму движения. Моделирование произвольного неустановившегося движения тела в жидкости при сплошном и кавитационном обтеканиях. Влияние чисел Фруда, Рейнольдса, Эйлера, числа кавитации. /Пр/	7	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2



2.2	Основные методы и установки для определения позиционных характеристик тел вращения. Гидроканалы, гидролотки. Гидродинамические трубы (отечественные и зарубежные). Основные системы. Характеристики. Возможности. Большие скоростные гидродинамические трубы ГРЦ с горизонтальным и вертикальным рабочими участками. Особенности. Оборудование гидродинамических труб. Решаемые задачи. Модели изделий и их элементов для испытаний в гидродинамических трубах. Некоторые методики экспериментальных исследований. Влияние на гидродинамические характеристики тел вращения при сплошном и кавитационном обтеканиях: границ потока, стенок и свободной поверхности, боковых и донных державок. Методика учёта влияния стенок рабочего участка большой скоростной гидродинамической трубы на результаты исследований. /Лаб/	7	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
2.3	Методы и установки для определения нестандартных гидродинамических характеристик в специальных случаях. /Ср/	7	16	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2
Раздел 3. Экспериментальное определение аэрогазодинамических характеристик тел вращения				
3.1	Системы осей координат в экспериментальной аэрогазодинамике. Силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полете. Составляющие аэродинамических сил и моментов. Коэффициенты аэродинамических сил и моментов, коэффициент давления. Понятие о теории подобия в аэродинамике. Основные критерии подобия. /Пр/	7	8	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
3.2	Принцип устройства аэродинамических труб. Трубы дозвуковых, трансзвуковых, сверхзвуковых и гиперзвуковых скоростей. Особенности аэродинамических отраслевых установок. Модели изделий и их элементов для испытаний в аэродинамических трубах и газодинамических барокамерах. Классификация и общие требования. Особенности типовых испытаний: весовые, дренажные, калориметрические, струйные, кинематические, бросковые. Взаимное влияние аэродинамических труб и моделей. Взаимное влияние моделей и подвесок. Точность и сходимость исследований. Современные методы физических исследований моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах, в том числе тензометрические методы исследований, оптические методы исследований. Измерение давлений, скоростей, температур. Системы для регистрации, обработки и анализа результатов физических исследований в аэродинамических трубах. Газодинамические барокамеры (отечественные и зарубежные). Большой вакуумно-динамический стенд ГРЦ, особенности, решаемые задачи. Моделирование процессов. Автоматизация экспериментальных исследований. /Лаб/	7	8	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
3.3	Метод газогидравлической аналогии. Суть метода, основные принципы, расчетные зависимости, критерии подобия. Экспериментальная установка (гидролоток). Практические приложения метода при исследовании летательных аппаратов. /Ср/	7	16	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2
Раздел 4. Аэробаллистический эксперимент				



4.1	Методы аэробаллистических исследований, их особенности. Баллистические стенды (отечественные и зарубежные). Аэробаллистические трассы. Аэробаллистические трубы. Газодинамические параметры баллистических установок. Высокоскоростные метательные устройства (одноступенчатые газодинамические МУ, многоступенчатые газодинамические МУ, электродинамические МУ и т.д.). Области моделирования. /Пр/	7	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
4.2	Аппаратура и техника измерений. Регистрация моментов пролета. Синхронизирующая аппаратура. Измерение скорости летательных тел. Методы измерения интервалов времени, визуализация и системы фотографирования. Импульсные источники света, импульсное рентгенографирование. Телеметрические методы. /Лаб/	7	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
4.3	Методика определения коэффициентов сопротивления. Результаты некоторых аэробаллистических исследований, в том числе нестандартных исследований. Методы измерения интервалов времени, визуализация и системы фотографирования. Импульсные источники света, импульсное рентгенографирование. Телеметрические методы. /Ср/	7	10	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2
Раздел 5. Методы и средства измерений при гидрогазодинамических исследованиях				
5.1	Первичные преобразователи (датчики), используемые при исследованиях (датчики давлений, силы, перемещений, линейных и угловых скоростей, ускорений, тепловых потоков и т.д.). Основные принципы работы датчиков (пьезоэлектрический эффект, эффект измерения электрической емкости, тензорезистивный эффект, электромагнитные явления и т.д.). Многокомпонентные гидродинамические и аэродинамические весы. Конструкции весов с донным и боковым креплением моделей. Основные особенности и отличия. /Лаб/	7	8	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
5.2	Визуальные и оптические методы исследований параметров среды и моделей в гидроаэрогазодинамических установках. Системы измерений, регистрации и обработки результатов измерений. Показатели точности. Методы оценки суммарной погрешности экспериментального определения гидроаэрогазодинамических характеристик. Оценка погрешности пересчета результатов модельных испытаний на натурные условия. Автоматизация эксперимента и обработки данных. Автоматизированные системы на гидродинамических и аэрогазодинамических стендах ГРЦ. /Пр/	7	8	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2
5.3	Визуальные и оптические методы исследований параметров среды и моделей в гидроаэрогазодинамических установках. Системы измерений, регистрации и обработки результатов измерений. Показатели точности. Методы оценки суммарной погрешности экспериментального определения гидроаэрогазодинамических характеристик. Оценка погрешности пересчета результатов модельных испытаний на натурные условия. /Ср/	7	15,8	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2
5.4	Индивидуальные консультации/ИКР /ИКР/	7	0,2	Л1.3

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

6.1. Перечень видов оценочных средств

Перевод англоязычных научных статей
Лабораторные работы
Вопросы к зачету



6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Пример статьи для перевода см. в приложении.

Англоязычные научные статьи для перевода могут быть взяты из Вестника РФФИ, издание на английском языке.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Предусмотренный программой курса цикл работ содержит как непосредственное выполнение лабораторного практикума студентами, так и их участие в экспериментально-исследовательских работах, проводимых АО «ГРЦ Макеева». Этот лабораторный практикум предназначен для ознакомления с экспериментальными методами и средствами гидроаэрогазодинамических исследований, должен способствовать более глубокому усвоению лекционной части курса, пониманию физического смысла рассматриваемых вопросов и привитию навыков использования современной измерительной аппаратуры.

Лабораторная работа №1. Отстрелы модельных двигателей.

Расчёт модельного порохового двигателя. Отработка режимов двигателя на газодинамическом стенде. Измерения внутрикамерного давления, температуры.

Лабораторная работа №2. Глубоководный газодинамический стенд.

Модель изделия. Модель шахтной установки. Энергоузел. Расчёт параметров движения и внутришахтных газодинамических процессов для конкретной модели изделия, модели шахтной установки и модели энергоузла. Средства измерения. Требования к средствам измерения. Исследования параметров движения в шахте, внутришахтных газодинамических процессов при движении модели изделия в шахте (пуски на глубоководном газодинамическом стенде). Анализ результатов пусков.

Лабораторная работа №3. Гидробаллистический бассейн.

Баллистическая модель изделия. Модель шахтной установки. Энергоузел. Расчёт параметров процессов подводного старта для конкретной баллистической модели, модели шахтной установки, модели энергоузла. Средства измерения. Требования к средствам измерения. Бортовой регистратор для регистрирования измеряемых параметров.

Исследования процессов подводного старта при старте баллистической модели из модельной шахтной установки (пуски в гидробаллистическом бассейне). Анализ результатов пусков.

Тензометрическая модель изделия. Модель шахтной установки. Энергоузел. Расчёт гидродинамических нагрузок при старте конкретной тензометрической модели из модельной шахтной установки. Средства измерения. Требования к средствам измерения. Исследования гидродинамических нагрузок при старте тензометрической модели из модельной шахтной установки (пуски в гидробаллистическом бассейне). Анализ результатов пусков.

Лабораторная работа №4. Большая скоростная гидродинамическая труба с горизонтальным рабочим участком.

Модели изделий и их элементов для испытаний в гидродинамической трубе. Эталонные модели. Гидродинамические трёхкомпонентные весы «Тритон ЗПС-3» и «Тритон-ЗПС-4». Средства измерения параметров скоростного потока воды в рабочем участке гидротрубы, углов атаки модели. Весовые испытания модели в гидродинамической трубе при сплошном и двухфазном обтеканиях (проливка конкретной модели, первичная обработка экспериментальных данных). Определение позиционных гидродинамических характеристик модели (коэффициентов продольной силы, нормальной силы и продольного момента) по полученным экспериментальным данным. Анализ результатов испытаний.

Лабораторная работа №5. Большая скоростная гидродинамическая труба с вертикальным рабочим участком.

Особенности проведения испытаний при наддуве и вакуумировании гидродинамической трубы. Каверны в горизонтальных и вертикальных потоках жидкости (особенности и отличия). Испытания типовой модели изделия с кавитатором в вертикальном потоке жидкости. Развитые естественная (паровая) и искусственная (газовая) каверны в вертикальном потоке жидкости. Определение числа кавитации потока. Определение числа кавитации для развитой каверны. Изучение параметров и структуры каверны на прозрачных полумоделах. Влияние чисел Фруда и кавитации на геометрические параметры осесимметричной развитой каверны (длина каверны, наибольший диаметр поперечного сечения каверны) в вертикальном потоке жидкости. Построение графических зависимостей.

Лабораторная работа №6. Газодинамические барокамеры.

Газодинамические барокамеры. Большой вакуумно-динамический стенд ГРЦ. Типовые модели для проведения экспериментальных исследований в газодинамических барокамерах. Основные средства измерения. Участие в типовом эксперименте на газодинамической барокамере или большом вакуумно-динамическом стенде.

Лабораторная работа №7. Математическая обработка результатов эксперимента.

Ошибки измерений (грубые, систематические, случайные). Косвенные измерения. Методы оценки суммарной



погрешности экспериментального определения гидроаэродинамических характеристик. Обработка данных при определении безразмерного коэффициента силы лобового сопротивления осесимметричного тела вращения.

6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

Перевод текста. Англоязычные научные статьи для перевода могут быть взяты из Вестника РФФИ, издание на английском языке.

Вопросы к зачёту.

1. Необходимость проведения наземной (лабораторной) гидроаэрогазодинамической отработки. Основные этапы отработки.
2. Основные проблемы, связанные с подводным стартом.
3. Способы подводного старта, их основные особенности и отличия.
4. Способы снижения гидродинамических нагрузок при подводном старте.
5. Основные аналитические зависимости подводного старта.
6. Физические процессы, сопровождающие подводный старт модели изделия из шахты.
7. Этапы подводного старта, их характерные особенности.
8. Моделирование подводного старта, основные критерии подобия.
9. Основные требования к оборудованию для экспериментальных исследований подводного старта.
10. Гидробаллистические установки (отечественные и зарубежные) для экспериментальных исследований подводного старта. Основные системы и элементы этих установок.
11. Баллистические модели и тензомодели для экспериментальных исследований подводного старта. Их особенности и отличия. Требования к моделям.
12. Аналитические зависимости расчёта силы тяги модельного твердотопливного двигателя. Методика и оборудование для экспериментального определения силы тяги и давления модельного РДДТ.
13. Методика экспериментального определения гидродинамических и шахтных параметров при движении модели изделия в шахте (глубоководный газодинамический стенд).
14. Методика экспериментального определения гидродинамических нагрузок с использованием тензометрических моделей (гидробаллистический бассейн).
15. Методика исследований процессов подводного старта (после выхода из шахты) при движении модели изделия на подводном участке (гидробаллистический бассейн).
16. Средства измерения, применяемые при исследованиях процессов подводного старта. Требования к ним. Бортовой регистратор для регистрирования измеряемых параметров.
17. Метод газогидравлической аналогии при изучении и исследовании процессов подводного старта.
18. Общие зависимости для гидродинамических сил и моментов. Безразмерные коэффициенты сил и моментов.
19. Понятие о присоединённых массах. Экспериментальные методы определения коэффициентов присоединённых масс тел заданной формы.
20. Системы осей координат в экспериментальной гидродинамике. Опишите связанную и скоростную системы координат при проведении весовых испытаний в большой скоростной гидродинамической трубе.
21. Общая проблема сопротивления тел при движении в воде в режиме сплошного обтекания. Методы уменьшения сопротивления. Сопротивление тел с частичной и полной кавитацией.
22. Моделирование произвольного неустановившегося движения тела в жидкости при сплошном и кавитационном обтеканиях. Критерии Фруда, Рейнольдса, Эйлера, числа кавитации.
23. Позиционные гидродинамические характеристики тел вращения. Основные методы и экспериментальное оборудование (отечественное и зарубежное) для их определения.
24. Большие скоростные гидродинамические трубы ГРЦ с горизонтальным и вертикальным рабочими участками. Основные системы. Особенности, характеристики.
25. Модели изделий и их элементов для испытаний в гидродинамических трубах. Особенности и требования к моделям (в зависимости от вида испытаний). Эталонные модели.
26. Задачи весовых испытаний моделей при сплошном и двухфазном обтеканиях в гидродинамических трубах. В чём заключается методика проведения весовых испытаний?
27. Какие гидродинамические характеристики можно определить на основании весовых испытаний? Где и как можно использовать результаты подобных испытаний?
28. Гидродинамические трёхкомпонентные весы «Тритон ЗПС-3» и «Тритон-ЗПС-4». Их особенности и отличия. Принцип действия этих гидродинамических весов. Каким образом в данных весах учитывается взаимное влияние компонент?
29. Определение кавитации. Природа возникновения кавитации. Стадии кавитации. Методы организации развитых кавитационных течений.



30. Принципы моделирования кавитационных течений. Критерии Фруда, Рейнольдса, Вебера, число кавитации. Какими путями можно достигать низких чисел кавитации (на примере анализа аналитической зависимости числа кавитации)?

31. Практические пути использования развитой кавитации для объектов, движущихся под водой, в том числе и при подводном старте.

32. Методика образования искусственной каверны за счёт поддува газа. Коэффициент расхода поддуваемого газа, от каких параметров он зависит ?

33. Каверны в горизонтальных и вертикальных потоках жидкости (особенности и отличия). Влияние чисел Фруда и кавитации на геометрические параметры осесимметричной развитой каверны в вертикальном потоке жидкости.

34. Необходимость введения поправок к результатам измерений, получаемых при экспериментальных исследованиях гидродинамических характеристик тел вращения в гидродинамических трубах. Перечислить основные поправки (с объяснениями) для больших скоростных гидродинамических труб.

35. Основы методики учёта влияния стенок рабочего участка большой скоростной гидродинамической трубы, взаимного влияния подвесных устройств и модели на результаты экспериментальных исследований.

36. Силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полёте. Коэффициенты аэродинамических сил и моментов, коэффициент давления.

37. Основные критерии подобия в экспериментальной аэродинамике. Критерии подобия по сжимаемости и по вязкости среды.

38. Классификация аэродинамических труб, виды и типы. Принцип устройства аэродинамических труб. Особенности и основные параметры отраслевых аэродинамических труб.

39. Модели изделий (тел вращения) и их элементов для испытаний в аэродинамических трубах и газодинамических барокамерах. Модели для типовых испытаний. Основные требования к моделям (в том числе к размеру моделей). Нестандартные модели.

39. Особенности типовых испытаний: весовые, дренажные, калориметрические, струйные, кинематические, бросковые.

40. Методика проведения дренажных испытаний. Средства измерения. Расчёт аэродинамических коэффициентов по диаграммам распределения давления на поверхности тела вращения.

41. Методика проведения весовых испытаний. Принцип действия тензометрических аэродинамических весов. Расчёт аэродинамических коэффициентов на основании результатов весовых испытаний.

42. Газодинамические барокамеры. Исследуемые газодинамические задачи при отработке летательных аппаратов. Барокамеры ЦНИИМАШ (г.Королёв). Большой вакуумно-динамический стенд ГРЦ, особенности.

43. Моделирование газодинамических процессов при проведении исследований в газодинамических барокамерах. Основные критерии подобия. Виды испытаний. Способы имитации струй двигателей.

44. Методы бросковых испытаний. Их основные особенности и отличия от испытаний в аэродинамических трубах. Преимущества, недостатки. Аэробаллистические трубы. Области моделирования. Нестандартные исследования.

45. Аэробаллистические трассы (отечественные и зарубежные). Открытая аэробаллистическая трасса, основные параметры, особенности. Измерение скорости полёта тел вращения на трассе. Методы регистрации моментов полёта на трассе.

46. Метательные устройства (пороховые, одноступенчатые и двухступенчатые легкогазовые пушки). Модели для экспериментальных аэробаллистических исследований, основные требования при проектировании, особенности и отличия. Поддоны для моделей и способы их отделения от моделей в полёте.

47. Методики экспериментального определения коэффициента лобового сопротивления тел вращения при испытаниях на аэробаллистической трассе. Параметры, влияющие на точность результатов эксперимента.

48. Основные принципы работы первичных преобразователей (датчиков), применяемых при гидроаэрогазодинамических исследованиях (тензорезистивный эффект, пьезоэлектрический эффект, эффект измерения электрической ёмкости, электромагнитные явления).

49. Способы измерения давлений при гидроаэрогазодинамических исследованиях в потоке жидкости или газа, на поверхности тел вращения.

50. Способы измерения скоростей потока жидкости или газа при гидроаэродинамических исследованиях (малые скорости, большие скорости).

51. Способы измерения температуры газа в потоке аэродинамической трубы, температуры парогазовой смеси в шахте при подводном старте модели изделия.

52. Оптические методы исследований обтекания тел вращения потоком жидкости или газа в гидроаэродинамических установках (теневой, шпирен-теневой, интерференционный). Особенности, отличия.

53. Методы визуализации течения на поверхности тел вращения в аэродинамических трубах (метод шелковинок, метод масляной плёнки и размываемого покрытия, метод каолинового покрытия, метод парового экрана и лазерного ножа, метод высоковольтного разряда и др.).

54. Ошибки измерений (грубые, систематические, случайные). Методика обработки результатов эксперимента в случае прямого измерения исследуемого параметра.



55. Ошибки измерений. Косвенные измерения. Методика обработки результатов эксперимента в случае косвенных измерений искомого параметра.

56. Методы оценки суммарной погрешности экспериментального определения гидроаэрогазодинамических характеристик.

57. Автоматизированные системы обработки экспериментальных данных на гидроаэрогазодинамических стендах ГРЦ.

6.4. Критерии оценивания

Критерии оценивания лабораторной работы:

"Отлично"

- 1) студент легко ориентируется в содержании учебного материала, свободно пользуется понятийным аппаратом;
- 2) обладает умением связывать теорию с практикой;
- 3) знает и правильно применяет формулы;
- 4) решение задачи записано понятно, аккуратно, последовательно;
- 5) записан правильный ответ

"Хорошо"

- 1) студент демонстрирует полное освоение теоретического материала, владеет понятийным аппаратом, осознанно применяет знания для решения практических задач;
- 2) знает и применяет формулы, но допускает небольшие неточности;
- 3) решение задачи записано, но не приведены формулы, с помощью которых были проведены расчеты;
- 4) записан правильный ответ

"Удовлетворительно"

- 1) студент демонстрирует неполное освоение теоретического материала, плохо владеет понятийным аппаратом, плохо ориентируется в изученном материале;
- 2) знает отдельные формулы, но допускает значительные неточности в их применении;
- 3) решение задачи записано неверно, не приведены формулы, с помощью которых были проведены расчеты;
- 4) записан правильный ответ

"Неудовлетворительно"

- 1) студент имеет разрозненные, бессистемные знания;
- 2) не может применять знания для решения практических задач;
- 3) решение задачи записано неверно либо отсутствует;
- 4) записан неправильный ответ либо не записан ответ

Критерии оценивания перевода статьи:

«5» – «отлично» (96-100 баллов) «зачтено» – 100 – 75% понимания основного содержания текста, студент умеет свободно (почти свободно) и аргументировано высказываться, обстоятельно излагать содержание прочитанного, логически выстраивать свое сообщение, развивать отдельные положения и делать соответствующие выводы, изложение оформлено правильно грамматически и лексически.

«4» – «хорошо» (76-95 баллов) «зачтено» – 75% понимания основного содержания текста, студент может кратко излагать содержание прочитанного обосновать и объяснить свои взгляды, в изложении допускаются 2-3 незначительные грамматические или лексические ошибки.

«3» – «удовлетворительно» (60-75 балл) «зачтено» – 75 – 50% понимания основного содержания текста, студент может использовать простые фразы и предложения, но недостаточно понятно и обстоятельно излагать содержание прочитанного, в изложении 2-3 грамматические или лексические ошибки.

"2" – «неудовлетворительно» (0-60 балл) «незачтено» – менее 50% понимания основного содержания текста, искажение содержания, превышение количества грамматических и лексических ошибок, студент владеет недостаточным словарным запасом, затрудняется в изложении прочитанного.

Зачёт

Письменный и письменно-устный ответ студента по вопросам дисциплины оценивается положительно с выставлением оценки «зачтено» в следующих случаях:

- студент глубоко и полно владеет содержанием учебного материала; умеет связывать теорию с практикой, решает соответствующие задачи, теоретические выводы подтверждает примерами, фактами, данными научных исследований; осуществляет межпредметные связи, предложения. Делает выводы логично, четко. Ясно и кратко излагает ответы на поставленные вопросы; умеет обосновывать свои суждения и профессионально-личностную позицию по излагаемому вопросу. Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос; показана совокупность осознанных знаний об объекте изучения, доказательно раскрыты основные положения (свободно оперирует понятиями, терминами, персоналиями и др.); в ответе прослеживается четкая структура, выстроенная в логической последовательности; ответ изложен литературным грамотным языком и носит самостоятельный характер.
- ответ студента соответствует указанным выше критериям, но содержание ответа имеет отдельные неточности



(несущественные ошибки) в изложении теоретического и практического материала, отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой; были допущены неточности в определении понятий, персоналий, терминов, дат и др, допущенные ошибки исправляются магистрантом после дополнительных вопросов преподавателя.

– студент обнаруживает знание и понимание основных положений учебного материала, но излагает его неполно, непоследовательно, допускает неточности и существенные ошибки в определении понятий, формулировке положений, не привлекает для аргументации ответа основные положения концептуальных и нормативных документов, не умеет обосновать свои суждения; наблюдается нарушение логики изложения; в ответе не присутствуют доказательные выводы; сформированность умений показана слабо. Ответ отличается низким уровнем самостоятельности, не содержит собственной профессионально-личностной позиции.

Оценка «незачтено» за письменный и письменно-устный ответ студента по вопросам дисциплины выставляется в случаях, когда:

– студент имеет разрозненные, бессистемные знания: не умеет выделять главное и второстепенное; допускает ошибки в определении понятий, формулировке теоретических положений, искажает их смысл; не ориентируется в нормативно-концептуальных, программно-методических, исследовательских материалах, беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет соединять теоретические положения с практикой; не умеет применять знания для обоснования и объяснения фактов, не устанавливает межпредметные связи.

При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на зачете.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1. Рекомендуемая литература

7.1.1. Основная литература

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Ресурс
Л1.1	Круглов В. И., Чумадин А. С., Ершов В. И., Курицына В. В.	Методология научных исследований в авиа- и ракетостроении: учебное пособие (https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=85026)	Москва : Логос, 2011	ЭБС
Л1.2	Белов С. В., Гордиенко А. В., Проскурин В. Д.	Аэродинамика и динамика полета: учебное пособие (https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364811)	Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2014	ЭБС
Л1.3	Сихарулидзе Ю. Г.	Баллистика и наведение летательных аппаратов: научная литература (https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=713126)	Москва : Лаборатория знаний, 2024	ЭБС

7.1.2. Дополнительная литература

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Ресурс
Л2.1		Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем: учебное пособие (https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89950)	Москва : Логос, 2003	ЭБС
Л2.2	Дегтярь В. Г., Пегов В. И.	Гидродинамика баллистических ракет подводных лодок: монография	Миасс, 2004	

7.1.3. Методические разработки

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Ресурс
Л3.1	Габдреева Н. В., Светлова Р. М., Агеева А. В., Яхина Р. Р., Ибрахим С., Хаун Ш., Диас Д.	Словарь технических терминов с переводом на английский, французский, испанский, китайский, арабский языки (https://e.lanbook.com/book/102570)	Москва : ФЛИНТА, 2017	ЭБС
Л3.2	Белова А. В., Буравцев А. И., Ковалев М. А., Матвеев С. К., Крылов А. А.	Лабораторный практикум по аэрогазодинамике: учебное пособие для студентов вузов	Ленинград: Издательство ЛГУ, 1980	



7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Вестник РФФИ, издание на английском языке ISSN 2410-4639 (Online), ISSN 1605-8070 (Print) https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin_eng https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin_eng?page=1
Э2	PHYSICAL REVIEW JOURNALS Published by the American Physical Society https://journals.aps.org/about

7.3 Перечень информационных технологий

7.3.1 Программное обеспечение

Adobe Reader

OpenOffice

SMath Studio Desktop

7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челяб. гос. ун-т. – Челябинск, 1992 .
2. Университетская библиотека онлайн [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / ООО Директмедиа Паблишинг. – URL: <http://biblioclub.ru/>.
3. Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Лань. – URL: <http://e.lanbook.com/>.
4. Юрайт [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Юрайт. – URL: <https://urait.ru>.
5. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, для проведения групповых консультаций, индивидуальных консультаций, для текущего контроля и промежуточной аттестации: Миасс, ул. Керченская, д. 1 аудитория № 305.
Основное оборудование: учебные столы, совмещенные со скамейками на 38 посадочных мест, стол преподавателя, стул преподавателя, доска 3 створчатая ученическая обычная настенная, стационарное мультимедийное интерактивное оборудование:
аудио колонки Sven, проектор Epson, экран настенный, компьютер ColorSit, монитор Asus.
Программное обеспечение:
Операционная система Windows xp Акт приема-передачи от 26.03.2008.
Пакет офисных программ Adobe Reader свободное программное обеспечение; OpenOffice свободное программное обеспечение; МРС-НС свободное программное обеспечение; Google Chrome свободное программное обеспечение.
Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security 11 на основе лицензионного договора № кб-1692 от 11.09.2019.
2. Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий: Миасс, ул. Керченская, д. 1 №310 – межкафедральная информационно-вычислительная лаборатория 2
Аудитория на 20 мест.
Доска ученическая поворотная, жалюзи, стулья, столы компьютерные, аудио колонки, компьютеры, сплит система, система видеонаблюдения и др.
- Операционная система Windows 8
Акт приема-передачи 528/о от 15.09.2014
Акт приема-передачи 528/о от 15.09.2014;
- Операционная система Windows 10
Акт приема-передачи 528/о от 15.09.2014
Акт приема-передачи 437/к от 19.09.2012
Акт приема-передачи 437/к от 19.09.2012
Акт приема-передачи 437/к от 19.09.2012



Акт приема-передачи 528/о от 15.09.2014

Акт приема-передачи 0000-000021 от 12.09.2017

Акт приема-передачи 0000-000441 от 16.04.2018

Акт приема-передачи 0000-000441 от 16.04.2018

Акт приема-передачи 528/о от 15.09.2014

Акт приема-передачи 437/к от 19.09.2012

Акт приема-передачи 528/о от 15.09.2014

Акт приема-передачи 528/о от 15.09.2014

Акт приема-передачи 437/к от 19.09.2012

Требование-накладная №0000-000066 от 16.04.2018

Акт приема-передачи 0000-000418 от 04.04.2019

Акт приема-передачи 0000-000418 от 04.04.2019

Акт приема-передачи 0000-000418 от 04.04.2019

Акт приема-передачи 0000-000418 от 04.04.2019

Акт приема-передачи 0000-000418 от 04.04.2019;

- NX Nastran, Solid Edge, Trancenter на основании договора об оказании услуг № К-1122-Р от 31.05.2018 г. ;

-Siemens Solid Edge на основании договора об оказании услуг № К-1122-Р от 31.05.2018 г. ;

-ANSYS provides free student software products perfect for work done outside the classroom;

-Adobe Reader свободное программное обеспечение;

-Kaspersky Endpoint Security 11 на основе лицензионного договора № кб-1692 от 11.09.2019;

-OpenOffice свободное программное обеспечение;

-МРС-НС свободное программное обеспечение;

-Google Chrome свободное программное обеспечение.

3. Аэрогидродинамическая лаборатория АО «ГРЦ Макеева», корпус 50. 456300, Челябинская область, г. Миасс, Тургоряжское шоссе, 1. Договор о сотрудничестве в области науки, информации и подготовки кадров между ФГБОУ ВО «ЧелГУ» и АО «ГРЦ Макеева» № 75/1-1-2016 от 20.01.2016 г. Срок действия 5 лет.

4. Помещение для самостоятельной работы: Миасс, ул. Керченская, д. 1 Читальный зал, аудитория 312.

Основное оборудование: Количество посадочных мест - 42, 1 персональный компьютер с подключением в сеть «Интернет», неограниченный доступ к ЭБС и БД, Wi-Fi. Программное обеспечение: Операционная система Windows 10 Акт приема-передачи 528/о от 15.09.2014; Операционная система Windows 10 Акт приема-передачи 437/к от 19.09.2012; Пакет офисных программ Adobe Reader свободное программное обеспечение; OpenOffice свободное программное обеспечение; МРС-НС свободное программное обеспечение; Google Chrome свободное программное обеспечение. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security 11 на основе лицензионного договора № кб-1692 от 11.09.2019.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Перед началом изучения курса «Аэрогазодинамический эксперимент» студент должен иметь план занятий и учебный материал – методические указания к лабораторно-практическим занятиям и литературу из списка рекомендуемой. Поскольку предлагаемый курс – это курс экспериментальный, то студенты прежде всего должны самостоятельно ознакомиться с описанием стендового оборудования для экспериментальных исследований, средствами и способами измерений, методами исследований, правилами техники безопасности при проведении исследований на стендах. Подготовительную теоретическую проработку материала к каждой лабораторной работе студенты выполняют самостоятельно. После знакомства со стендами и подготовки материала студент получает допуск к каждой лабораторной работе от преподавателя. Работу на стендах студенты проводят под руководством преподавателя с участием производственного персонала, обслуживающего тот или другой стенд. После проведения лабораторной работы обрабатываются результаты и оформляется письменный отчет по указаниям к составлению отчетов. Отчет по лабораторной работе является самостоятельной и индивидуальной работой каждого студента. Обработка результатов эксперимента выполняется математически с использованием компьютерной техники с обязательным математическим представлением результатов эксперимента.

В случае применения при обучении дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции в TeamOffice365) или отложенного времени (система дистанционного



обучения Moodle, электронная почта, социальные сети, мессенджеры).
Большую часть времени обучающиеся самостоятельно работают с учебно-методическими материалами. Студенты имеют возможность консультироваться с преподавателем по всем вопросам, возникающим в ходе самостоятельной работы посредством электронной почты, социальных сетей, Office365. Доступ обучающегося к учебным ресурсам в режиме отложенного времени, самостоятельной работы осуществляется через сеть Интернет в удобном для него месте, времени и темпе.
При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.
Реализация дисциплины с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий (далее – ЭО, ДОТ) осуществляется на основании «Положения о реализации основных и дополнительных образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», «Положения о порядке зачета обучающимися по основным профессиональным образовательным программам высшего образования в ФГБОУ ВО «ЧелГУ» результатов освоения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практик, дополнительных образовательных программ» посредством электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «ЧелГУ». В исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) при реализации образовательной деятельности с применением ЭО, ДОТ могут применять компоненты, не входящие в перечень электронной информационно-образовательной среды.

10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ЧелГУ по запросу обучающегося (мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения и с нарушением слуха, ассистивные информационные технологии).

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ с помощью специальных технических и программных средств к электронным источникам, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах.

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и особенностям восприятия информации.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий.

При проведении промежуточной аттестации по дисциплине обучающимся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья обеспечивается по их заявлению предоставление в доступной форме в зависимости от их индивидуальных особенностей инструкции о порядке проведения промежуточной аттестации, оценочных средств и возможности ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование предоставленных ЧелГУ или собственных технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

01.03.02 Прикладная математика и информатика, Математическое моделирование, Аэрогазодинамический эксперимент, 2026, очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) одобрена и рекомендована:

Проректор по учебной работе утверждено 27.02.26 А.А. Саламатов

Ученым советом Миасского филиала ФГБОУ ВО "ЧелГУ"

Протокол заседания № 8 от 24.02.2026

Председатель Ученого совета
Миасского филиала ФГБОУ ВО
"ЧелГУ"

согласовано

Т.В. Малькова

Заседанием кафедры прикладной математики

Протокол заседания № 6 от 30.01.2026

Заведующий кафедрой

согласовано

Е.В. Дутикова

Автор (составитель)

Г.Ф. Костин

Структура рабочей программы соответствует приказу ректора ФГБОУ ВО «ЧелГУ» от «13» апреля 2021 г. № 247-1