

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

**Программа государственной итоговой аттестации  
Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена**

**по направлению:** Техническая физика  
**профиль подготовки:** Техническая физика космических летательных аппаратов  
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий  
**курс:** 2  
**квалификация:** магистр  
  
**семестр:** 3 (Осенний)

Программу составили:

С.В. Коблов, канд. техн. наук, заведующий кафедрой  
Д.В. Корнев, преподаватель

Программа обсуждена на заседании Физтех-школы Аэрокосмических Технологий 04.06.2020

## 1. Цели и задачи

### Цели

Целью государственного экзамена является установление уровня подготовки обучающегося по дисциплинам и соответствия результатов освоения обучающимся образовательной программы требованиям образовательного стандарта по направлениям подготовки.

### Задачи

- оценка степени освоения обучающимися теоретических положений основных дисциплин;
- оценка умения применять полученные знания для решения конкретных задач.

## 2. Перечень компетенций, уровень сформированности которых оценивается при проведении государственного экзамена

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе технической физики	ОПК-2.1 Обладает фундаментальными и прикладными знаниями в профильной области технической физики
	ОПК-2.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Понимает междисциплинарные связи в области технической физики и способен их применять при решении практических задач
ОПК-3 Способен определить физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, провести их качественный и количественный анализ	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих при работе в области профессиональной деятельности
	ОПК-3.2 Способен применять знания в области технической физики для проведения качественного и количественного анализа задач, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в области технической физики
	ПК-1.2 Способен ставить задачи в области профессиональной деятельности, предлагать пути их решения
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
	ПК-1.4 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

## 3. Перечень примерных вопросов, выносимых на государственный экзамен

Газодинамика:

1. Общие понятия.

Математическая модель жидкостей, газа и плазмы как сплошных сред. Поля плотности, температуры, скорости, концентраций и т.д.

Лагранжевы и эйлеровы координаты. Кинематические характеристики движения: траектории и линии тока, вихрь скорости, циркуляция, критическая точка. Потенциал и функция тока.

Тензор напряжений и давление. Связь между тензором напряжений и тензором скорости деформаций. Потоки тепла и полной энергии. Связь между потоком тепла и градиентом температуры

Законы сохранения. Основные уравнения гидро- и газодинамики (уравнения неразрывности, движения и энергии) в переменных Эйлера. Уравнения Навье-Стокса и уравнения Эйлера. Граничные условия, постановка типичных краевых задач.

## 2. Простейшие течения идеальной (невязкой) жидкости.

Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа. Полная энтальпия и энтропия. Сжимаемая и несжимаемые жидкости. Скорость звука и число Маха.

Одномерные установившиеся течения невязкого совершенного газа, Сопло Лавалья.

Прямой и хосой качки уплотнения в газе, основные соотношения на них. Общая картина обтекания тел сверхзвуковым потоком газа. Обтекание клина и конуса.

## 3. Двумерные течения жидкости и газа

Плоские стационарные течения несжимаемой невязкой жидкости. Обтекание профилей, правило Жуковского.

Характеристики двумерных уравнений газодинамики. Простые волны, центрированная волна разрежения. Пересечение характеристик и зарождение висячюс скачков уплотнения.

Линейная теория, обтекание тонких профилей.

Задача о распаде произвольного начального разрыва. Взаимодействие скачков уплотнения.

Закон подобия обтекания тел невязким потоком газа.

## 4. Гиперзвуковые течения.

Тонкий ударный слой, формулы Буземана и Ньютона. Течение вблизи оси тупого тела.

Гиперзвуковая теория обтекания тонких тел. Закон плоских сечений. Закон подобия, Взрывная аналогия. Обтекание тонких притупленных тел.

## 5. Основные положения газодинамики смесей реагирующих газов и плазмы.

Реальный диссоциирующий газ как смесь совершенных газов. Неравновесный и равновесно-диссоциирующий газы. Закон действующих масс. Уравнение состояния равновесного газа.

Скорости химических реакций. Система уравнений неравновесных течений газа. Предельные режимы замороженных и равновесных течений.

Основные понятия и уравнения магнитной гидродинамики.

Основные понятия и уравнения радиационной газодинамики.

## 6. Вязкие течения и пограничный слой

Точные решения уравнений Навье-Стокса: течение Пуазейля, структура прямого скачка уплотнения.

Общая характеристика вязких течений при больших и малых числах Рейнольдса. Уравнения ламинарного пограничного слоя. Законы подобия для трения и теплообмена.

Пограничный слой в несжимаемой жидкости. Автомодельные решения: решение Блазиуса, решения при степенной зависимости скорости от координаты, слой смещения, течение в следе и в свободной струе.

Пограничный слой в сжимаемой жидкости. Интеграл Крокко. Аналогия Рейнольдса. Переменные Дородницына. Условия автомодельности решения для полубесконечной пластины. Метод локального подобия Лиза для расчета трения и теплообмена на затупленных телах.

Понятие о переходе пограничного слоя.

Турбулентный пограничный слой. Получение уравнений для турбулентных течений' путем осреднения возмущенных уравнений Навье-Стокса. Теория пути перемешивания Прандтля как пример полуэмпирической теории турбулентности. Понятие о дифференциальных моделях турбулентности.

Турбулентный пограничный слой на пластине. Метод эффективной длины для расчета теплообмена при произвольном распределении давления вдоль поверхности.

Понятие об отрыве пограничного слоя.

## 7. Динамика разреженных газов

Число Кнудсена. Свободно-молекулярный лоток, переходный режим, режим сплошной среды.

Уравнение Больцмана. Методы малого параметра для его решения. Распределение Максвелла. Вывод уравнений гидродинамики из уравнения Больцмана.

Обтекание тел ионосферной плазмой. Фоккер-Планковское представление интеграла столкновений.

## 8. Механическое подобие, моделирование.

Система определяющих параметров для выделенного класса явлений в теории и при постановке экспериментов. Величины с основными и производными размерностями. Формула размерностей, я-теорема. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

### Прочность:

1. Теория напряженного состояния. Внешние и внутренние силы. Массовые и поверхностные силы. Исследование напряженного состояния в точке тела. Тензор напряжений. Инварианты тензора напряжений. Плоское напряженное состояние. Дифференциальные уравнения движения сплошной среды.

2. Теория деформированного состояния. Тензор малых деформаций. Инварианты тензора деформаций. Связь деформаций и перемещений. Уравнения неразрывности Сен-Венана. Плоское деформированное состояние.

3. Связь между напряженным состоянием и деформациями. Упругий потенциал. Обобщенный закон Гука. Сокращение числа упругих постоянных. Связь между упругими постоянными в изотропной упругой среде. Законы линейной термоупругости.

4. Постановка математических задач линейной теории упругости в перемещениях и напряжениях. Общие теоремы теории упругости (единственности, взаимности, о минимуме энергии деформации). Вариационные постановки задач теории упругости и основы прямых методов (Ритца, Бубнова-Галеркина).

5. Простейшие задачи теории упругости: деформация толстостенной трубы под действием внутреннего и внешнего давлений, кручение бруса кругового поперечного сечения, растяжение бруса под действием собственного веса, равновесие элемента пластинки, температурные напряжения в полой сфере.

6. Плоская задача теории упругости. Постановка основных задач. Функция напряжений. Метод теории функций комплексного переменного в плоской задаче. Действие сосредоточенной силы на границу упругой полуплоскости.

7. Понятие о функции Грина. Элементарное решение первого и второго рода. Постановка контактной задачи Герца.

8. Два типа волн в упругой среде. Кинематические и динамические условия на поверхности разрыва.

9. Упруго-пластические деформации среды. Понятие о простом и сложном нагружении (деформации).

10. Законы теории малых упруго-пластических деформаций и область их применимости.

11. Постановки задач в рамках малых упруго-пластических деформаций. Теорема о простом нагружении. Теорема единственности. Метод упругих решений. Метод переменных параметров упругости. Теорема о разгрузке. Полая сфера из идеально-пластического материала под внутренним давлением.

12. Теория течения Сен-Венана для идеально-пластического материала. Область ее применимости.

13. Плоская задача теории течения. Понятие о линиях скольжения и их свойствах. Интегралы Генки. Сжатие полосы между шероховатыми плитами.

14. Линейная теория вязко-упругости. Температурно-временная

аналогия. Методы решения задач линейной теории термовязко-упругости: численные методы, методы, использующие

преобразования Лапласа-Карсона; методы, основанные на следствиях из теорем о простом нагружении и простой деформации.

#### 4. Порядок сдачи государственного экзамена

К государственному экзамену по направлению (специальности) подготовки допускается обучающийся, в полном объеме выполнивший учебный план образовательной программы и не имеющий академических задолженностей.

Перед государственным экзаменом проводятся консультации обучающихся по вопросам программы государственного экзамена.

Государственный экзамен состоит из устной части.

Устная часть экзамена включает в себя ответ студента на вопросы экзаменационного билета. Обучающемуся в качестве одного из вопросов также предлагается сделать краткий доклад о поставленной задаче и достигнутых результатах своей научно-исследовательской работы, выполняемой в рамках производственной практики. На подготовку к устному экзамену студенту отводится 1 час, на ответ — около 30 минут.

При подготовке к ответу и во время ответа на вопросы билета обучающийся может пользоваться программой госэкзамена.

После завершения устного ответа члены ГЭК могут задать дополнительные и уточняющие вопросы.

В процессе подготовки к ответу экзаменуемому разрешается пользоваться данной программой ГИА. Во время ответа на вопрос о результатах научно-исследовательской работы разрешается использовать заранее подготовленную презентацию на плакатах, в виде раздаточного материала или на компьютерах.

#### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для проведения государственного экзамена

Аудитория для проведения консультаций и аттестационного испытания, оснащенная рабочими местами для обучающихся и государственной экзаменационной комиссии, доской, мультимедийным оборудованием.

#### 6. Перечень рекомендуемой литературы

##### Основная литература

1. Механика жидкости и газа [Текст] / Л. Г. Лойцянский - М. Наука, 1987
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 6 : Гидродинамика : учеб. пособие для вузов : рек. М-вом образования Рос. Федерации / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. — 5-е изд., стереотип. — 3-е изд., перераб. — М. : Физматлит, 1986, 1988, 2003, 2006. — 736 с.
3. Гиперзвуковая аэродинамика [Текст] : учеб. пособие : доп. М-вом образования СССР / В. В. Лунев. — М. : Машиностроение, 1975. — 327 с.
4. Механика деформируемого твердого тела [Текст] : учебное пособие для ун-тов : доп. М-вом высш. и сред. спец. образов. СССР / Ю. Н. Работнов. — М. : Наука, 1988. — 711 с.
5. Механика сплошной среды [Текст] : в 2 т. Т. 1 : учебник для вузов / Л. И. Седов ; Рос. АН. — 5-е изд., испр. — М : Наука, 1994. — 528 с.
6. Механика сплошной среды [Текст]: в 2 т. : учебник для вузов / Л. И. Седов. — 5-е изд., испр. — М : Наука, 1994. — Т. 2. - 1994. - 560 с.

##### Дополнительная литература

1. Краткий курс теории упругости [Текст] / Л. С. Лейбензон, учебник для университетов. - М.; Л., ГИТТЛ, 1942
2. Течения газа с большой сверхзвуковой скоростью [Текст] / Г. Г. Черный, - М., Физматгиз, 1959

#### 7. Рекомендации обучающимся по подготовке к государственному экзамену

При подготовке к устной части государственного экзамена обучающимся рекомендуется вспомнить темы дисциплин, входящие в программу устной части государственного экзамена, используя при необходимости конспекты лекций и рекомендуемую литературу. После повторения каждой темы обучающемуся рекомендуется самостоятельно написать формулировки и доказательства теорем, содержащихся в программе устной части государственного экзамена, без использования литературы и вспомогательных средств. Если это не удастся, то рекомендуется повторить данную процедуру. Для подготовки ответа на вопрос по теме научно-исследовательской работы рекомендуется подготовить презентацию на 4-6 слайдов.

## **8. Методика и критерии оценки государственного экзамена**

Результаты сдачи государственного экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешную сдачу государственного экзамена.

отлично (10) – правильный, четкий и уверенный ответ на оба вопроса билета и дополнительные вопросы;

отлично (9) – даны правильные ответы на оба вопроса билета и дополнительные вопросы с незначительными неточностями;

отлично (8) – даны ответы на оба вопроса билета и дополнительные вопросы после небольших исправлений и наводящих вопросов экзаменаторов;

хорошо (7) – даны ответы на оба вопроса билета, но нет верного ответа на один из дополнительных вопросов;

хорошо (6) – есть недочеты в ответе на один из вопросов билета и нет верного ответа на один из дополнительных вопросов;

хорошо (5) – есть недочеты в ответах на оба вопроса билета и нет верного ответа на один из дополнительных вопросов;

удовлетворительно (4) – есть недочеты в ответах на оба вопроса билета или нет ответа ни на один из дополнительных вопросов;

удовлетворительно (3) – нет ответа на один из вопросов билета, но есть ответы на дополнительные вопросы (возможно с недочетами);

неудовлетворительно (2) – нет ответа на один из вопросов билета и на дополнительные вопросы;

неудовлетворительно (1) – нет ответа ни на один из вопросов билета.

## **9. Особенности проведения государственной итоговой аттестации для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Для обучающихся из числа инвалидов государственная итоговая аттестация проводится с учетом особенностей их психофизического развития, их индивидуальных возможностей и состояния здоровья (далее – индивидуальные особенности).

При проведении ГИА обеспечивается соблюдение следующих общих требований:

– проведение государственной итоговой аттестации для инвалидов в одной аудитории совместно с обучающимися, не имеющими ограниченных возможностей здоровья, если это не создает трудностей для обучающихся при прохождении ГИА;

– присутствие в аудитории ассистента (ассистентов), оказывающего обучающимся инвалидам необходимую техническую помощь с учетом их индивидуальных особенностей (занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, общаться с членами ГЭК);

– пользование необходимыми обучающимся инвалидам техническими средствами при прохождении ГИА с учетом их индивидуальных особенностей;

– обеспечение возможности беспрепятственного доступа обучающихся инвалидов в аудитории, туалетные и другие помещения, а также их пребывания в указанных помещениях.

По письменному заявлению обучающегося инвалида продолжительность сдачи обучающимся инвалидом государственного аттестационного испытания может быть увеличена по отношению к установленной продолжительности его сдачи:

– продолжительность сдачи государственного экзамена, проводимого в письменной форме, – не более чем на 90 минут;

– продолжительность подготовки обучающегося к ответу на государственном экзамене, проводимом в устной форме, – не более чем на 20 минут.

Обучающийся инвалид не позднее, чем за 3 месяца до начала проведения ГИА подает письменное заявление о необходимости создания для него специальных условий при проведении государственных аттестационных испытаний с указанием особенностей его психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья. К заявлению прилагаются документы, подтверждающие наличие у обучающегося индивидуальных особенностей (при отсутствии указанных документов в дирекции института).

В заявлении обучающийся указывает на необходимость (отсутствие необходимости) присутствия ассистента на государственном аттестационном испытании, необходимость (отсутствие необходимости) увеличения продолжительности сдачи государственного аттестационного испытания по отношению к установленной продолжительности.

## **10. Примеры контрольных заданий, билетов**

Примеры заданий приведены в приложении

## Билеты для ГИА (примерное содержание)

### Билет 1

1. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа.
2. Уравнение Больцмана. Методы малого параметра для его решения. Распределение Максвелла. Вывод уравнений гидродинамики из уравнения Больцмана.
3. Краткий доклад о поставленной задаче и основных результатах научно-исследовательской работы.

### Билет 2

1. Теория деформированного состояния. Тензор малых деформаций. Инварианты тензора деформаций.
2. Теория течения Сен-Венана для идеально-пластического материала. Область ее применимости.
3. Краткий доклад о поставленной задаче и основных результатах научно-исследовательской работы.