

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)**

**УТВЕРЖДАЮ:
Директор ФИЦ КНЦ СО РАН**



А.А. Шпедт

«25»

января

2022г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«АЭРОДИНАМИКА И ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ»**

Научная специальность:

2.5.12 «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»

Отрасль наук:
технические науки

Красноярск 2022

1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена разработана на кафедре фундаментальных дисциплин и методологии науки факультета подготовки кадров ФИЦ КНЦ СО РАН в соответствии со следующими документами:

- Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;
- Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН;
- Порядком сдачи кандидатских экзаменов и прикрепления лиц к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов;
- Паспортом научной специальности.

Цель проведения экзамена: оценить уровень знаний, умений и навыков в области аэродинамики и процессов теплообмена летательных аппаратов.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки экзаменуемого, знание общих концепций и методологических вопросов данной науки, истории ее формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

К кандидатскому экзамену допускаются лица, прикрепленные к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, и аспиранты, обучающиеся в ФИЦ КНЦ СО РАН по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – экзаменуемые).

Кандидатский экзамен по дисциплине «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов» проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя три теоретических вопроса по данной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2 Содержание программы кандидатского экзамена

2.1 Основы теоретической аэродинамики

Силовое воздействие среды на движущиеся тела. Основные понятия, определения, гипотезы. Основные уравнения сохранения аэродинамики. Одномерное изэнтропическое установившееся течение газа. Теория скачков уплотнения. Методы характеристик и линеаризации. Вихревое и потенциальное движения идеальной несжимаемой среды. Пограничный слой. Аэродинамика гиперзвуковых скоростей и разреженного газа.

2.2 Аэродинамика летательных аппаратов

Аэродинамика крыла. Аэродинамика корпуса летательного аппарата. Аэродинамическая интерференция. Аэродинамические характеристики несущих винтов вертолета и пропеллеров.

2.3 Процессы теплообмена летательных аппаратов

Трение и теплообмен. Теплопередача в элементах конструкций летательных аппаратов. Тепловая защита летательных аппаратов.

3 Перечень вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»

Основы теоретической аэродинамики

- 1 Основные параметры газа, характеризующие его состояние.
- 2 Главный вектор аэродинамических сил, момента, понятие о центре давления.
- 3 Общее выражение для аэродинамической силы (теория размерностей и подобия), аэродинамических коэффициентов сил и моментов.
- 4 Критерии подобия.
- 5 Гипотезы турбулентности.
- 6 Методы исследования движения газа.
- 7 Понятие линии тока и траектории движения.
- 8 Потенциальное и вихревое течения.
- 9 Теорема Гельмгольца.
- 10 Основные уравнения аэродинамики.
- 11 Уравнения неразрывности для i -ой компоненты газа (для смеси).
- 12 Уравнение Навье-Стокса.
- 13 Дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости (уравнения Эйлера).

- 14 Уравнения энергии для конечного и бесконечно-малого объемов.
- 15 Обобщенная форма записи уравнений сохранения аэродинамики.
- 16 Уравнение состояния совершенного и реального газа.
- 17 Интегралы уравнения движения.
- 18 Современные численные методы решения уравнений Эйлера, Навье-Стокса и их асимптотических моделей.
- 19 Распределение малых возмущений в газовой среде.
- 20 Соотношение между скоростью течения газа и площадью сечения.
- 21 Относительные скорости (M , $\square \square St$) и их взаимосвязь.
- 22 Критические значения параметров.
- 23 Газодинамические функции.
- 24 Природа ударных волн-скачков уплотнения.
- 25 Схемы расчета параметров потока на скачке уплотнения.
- 26 Теория прямого скачка уплотнения.
- 27 Теория косоугольного скачка уплотнения.
- 28 Отражение скачков уплотнения от твердой и свободной границ.
- 29 Взаимодействие скачков уплотнения.
- 30 Основное кинематическое уравнение аэродинамики и методы его решения.
- 31 Метод характеристик.
- 32 Теория малых возмущений.
- 33 Вихревые движения в идеальной сплошной среде. Понятие о циркуляции скорости.
- 34 Метод потенциальных потоков.
- 35 Дифференциальное уравнение ламинарного пограничного слоя.
- 36 Приближенные методы расчета ламинарного пограничного слоя.
- 37 Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный.
- 38 Турбулентный пограничный слой.
- 39 Общие свойства гиперзвуковых течений. Гиперзвуковая теория малых возмущений.

Аэродинамика летательных аппаратов.

- 40 Теория тонкого профиля.
- 41 Аэродинамические характеристики профилей.
- 42 Расчет аэродинамических характеристик при больших углах атаки.
- 43 Профиль и крыло в дозвуковом потоке сжимаемого газа. Линейная теория крыла.
- 44 Профиль и крыло при околосзвуковой скорости.
- 45 Профиль и крыло в сверхзвуковом потоке.

- 46 Аэродинамические характеристики крыльев и оперений с отклоненными рулевыми поверхностями.
- 47 Аэродинамические характеристики корпусов ЛА при дозвуковой скорости.
- 48 Аэродинамические характеристики корпусов при околозвуковой скорости.
- 49 Обтекание затупленных тел гиперзвуковым потоком.
- 50 Природа аэродинамической интерференции.
- 51 Подъемная сила комбинации корпуса и крыла.
- 52 Интерференция между крылом и оперением.
- 53 Аэродинамические характеристики летательного аппарата. Подъемная сила, лобовое сопротивление.
- 54 Несущий винт на режимах вертикального взлета и снижения.
- 55 Несущий винт на режимах косоугольного обтекания.
- 56 Обдувка корпуса вертолета несущим винтом.
- 57 Способы создания управляющих моментов.
- 58 Вихревая теория пропеллера.

Процессы теплообмена летательных аппаратов.

- 59 Ламинарный теплообмен при высоких скоростях и температурах.
- 60 Законы подобия в задачах теплообмена.
- 61 Теплообмен при малых скоростях в пограничном слое несжимаемой жидкости.
- 62 Коэффициенты теплоотдачи при больших скоростях.
- 63 Турбулентный теплообмен при высоких скоростях и температурах.
- 64 Приближенные методы расчета теплообмена в турбулентном пограничном слое.
- 65 Теплообмен при наличии химических реакций в пограничном слое.
- 66 Теплообмен на поверхности летательных аппаратов при трехмерном обтекании.
- 67 Расчет теплообмена при трехмерном ламинарном течении в пограничном слое.
- 68 Теплообмен в разреженном газе.
- 69 Методы экспериментального исследования теплообмена.
- 70 Основные понятия и уравнения теории теплопроводности. Краевые условия в задачах теплопроводности. Методы решения задач теплопроводности.
- 71 Основные определения и уравнения теплообмена излучением.
- 72 Аэродинамический нагрев обшивки.
- 73 Методы тепловой защиты. Типы теплозащитных материалов.

- 74 Приближенные методы расчета нагрева тонкостенных конструкций с термоизоляцией.
- 75 Методы экспериментального исследования теплозащитных покрытий и материалов.

4 Критерии оценивания ответа

Отлично	Соответствие критерию при ответе на все вопросы билета и дополнительные вопросы
Хорошо	Имели место небольшие упущения в ответах на вопросы, существенным образом не снижающие их качество или имело место существенное упущение в ответе на один из вопросов, которое затем было устранено аспирантом с помощью уточняющих вопросов
Удовлетворительно	Имеет место существенное упущение в ответах на вопросы, часть из которых была устранена аспирантом с помощью уточняющих вопросов
Неудовлетворительно	Имели место существенные упущения при ответах на все вопросы билета или полное несоответствие по более чем 50% материала вопросов билета

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение

5.1 Основная литература

- 1 Белоцерковский О. М., Хлопков Ю.И. Жаров В.А., Горелов С.Л., Хлопков А. Ю. Организованные структуры в турбулентных течениях. Анализ экспериментальных работ по турбулентному пограничному слою. - М.: МФТИ, 2009.-302 с.
- 2 Брутян М.А. Основы трансзвуковой аэродинамики. М: - Наука, 2017. - 176 с.
- 3 Калугин, В. Т. Моделирование процессов обтекания и управления аэродинамическими характеристиками летательных аппаратов / В. Т. Калугин, Г. Г. Мордвинцев, В. М. Попов; ред. В. Т. Калугин. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 527 с.
- 4 Крайнов В. П. Качественные методы в физической кинетике и гидрогазодинамике. - М: Высшая школа, 1989. - 224 с.

- 5 Краснов, Н. Ф. Аэродинамика. В 2 ч. Ч. 1 : Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла. / Н. Ф. Краснов. - М. : Либроком, 2012. - 496 с.
- 6 Краснов, Н. Ф. Аэродинамика. В 2 ч. Ч. 2 : Методы аэродинамического расчета / Н. Ф. Краснов. - М. : Либроком, 2010. - 416 с.

5.2 Дополнительная литература

- 1 Бондарев Е. Н. и др. Аэрогидромеханика. - М: Машиностроение, 1993. - 608 с.
- 2 Голубев А. Г. и др. Аэродинамика. - М: МГТУ им. Баумана, 2010. - 687 с.
- 3 Калугин В.Т. и др. Аэродинамика. - М: МГТУ, 2010. - 687 с.
- 4 Коган М. Н. Динамика разреженного газа. - М: Наука, 1967. - 440 с.
- 5 Кожухар, В. М. Основы научных исследований / В. М. Кожухар. - М. : Дашков и К°, 2010. - 216 с.
- 6 Кудинов, А. А. Техническая гидромеханика / А. А. Кудинов. - М.: Машиностроение, 2008. - 367 с.
- 7 Липман Г.В., Рошко А. Элементы газовой динамики. - М: ИЛ, 1960. - 520 с.
- 8 Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М: Дрофа, 2003. - 810 с.
- 9 Лукьянов, С. И. Основы инженерного эксперимента / С. И. Лукьянов, А. К. Панов, А. Е. Васильев. - М.: РИОР : ИНФРА-М, 2014. - 97 с.
- 10 Лунев В.В. Гиперзвуковая аэродинамика. - М: Машиностроение, 1975. - 328 с.
- 11 Чжен П. Отрывные течения. Т.1-3. -М.: Мир, 1972-1973 г.
- 12 Чикуров, Н.Г. Моделирование систем и процессов / Н. Г. Чикуров. - М.: РИОР : ИНФРА-М, 2015. - 397 с
- 13 Ю.Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. -М.: Наука, 1974. - 711 с

5.3 Интернет ресурсы

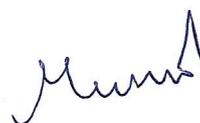
- 1 ФИЦ КНЦ СО РАН : [сайт]. – Красноярск, 2019 – . – URL: <http://ksc.krasn.ru>; <https://ksc.krasn.ru/scientific-innovative-activity/central-scientific-library> (дата обращения: 08.06.2022). – Текст: электронный.
- 2 Гарант : справочная правовая система. – Москва, 1990 – . – URL: <http://garant.ru> - Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.
- 3 Консультант врача: электронная медицинская библиотека: [сайт]. – Москва – . – URL: <https://www.rosmedlib.ru> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 4 Электронные БД ЦНБ ФИЦ КНЦ СО РАН ONLINE : электронно-библиотечная система каталогов : [сайт]. – Красноярск, 2010 – . – URL: <http://irbiscorp.spsl.nsc.ru/webirbis-cgi-cnb->

new/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=SCBK&P21DBN=SCBK&S21FMT=briefwebr&Z21ID (дата обращения: 08.06.2022). – Текст : электронный.

- 5 Elibrary : научная электронная библиотека : [сайт]. – Москва, 2000– . – URL: <https://www.elibrary.ru> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 6 ГПНТБ СО РАН: [сайт]. – URL: <http://www.spsl.nsc.ru> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст : электронный.
- 7 ScienceDirect: [сайт]. – . – URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 8 AMERICAN PHYSICAL SOCIETY: [сайт]. – . – URL: <https://journals.aps.org> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 9 WILEY: [сайт]. – . – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 10 OXFORD UNIVERSITY PRESS: [сайт]. – . – URL: <https://academic.oup.com/journals> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.
- 11 Scopus: [сайт]. – . – URL: <http://www.scopus.com> (дата обращения: 08.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

Согласовано:

Заведующий кафедрой фундаментальных
дисциплин и методологии науки



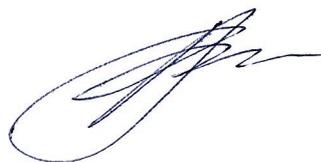
В.В. Минеев

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин