

**УТВЕРЖДЕНО**  
на заседании Ученого совета  
НАО «КазНУ им. аль-Фараби».  
Протокол № 10 от 23.05.2022 г.

**Программа вступительного экзамена  
для поступающих в докторантуру  
на группу образовательных программ  
D098 – «Теплоэнергетика»**

**1. Общие положения.**

1. Программа составлена в соответствии с Приказом Министерства образования и науки Республики Казахстан от 31 октября 2018 года № 600 «Об утверждении Типовых правил приема на обучение в организации образования, реализующие образовательные программы высшего и послевузовского образования» (далее – Типовые правила).

2. Вступительный экзамен в докторантуру состоит из написания эссе, сдачи теста на готовность к обучению в докторантуре (далее - ТГО), экзамена по профилю группы образовательных программ и собеседования.

<b>Блок</b>	<b>Баллы</b>
1. Эссе	10
2. Тест на готовность к обучению в докторантуре	30
3. Экзамен по профилю группы образовательной программы	40
4. Собеседование	20
Всего проходной	100/75

3. Продолжительность вступительного экзамена - 4 часа, в течение которых поступающий пишет эссе, проходит тест на готовность к обучению в докторантуре, отвечает на электронный экзаменационный билет. Собеседование проводится на базе вуза отдельно.

**2. Порядок проведения вступительного экзамена.**

1. Поступающие в докторантуру на группу образовательных программ D098 – «Теплоэнергетика» пишут проблемное / тематическое эссе. Объем эссе – не менее 250-300 слов.

2. Электронный экзаменационный билет состоит из 3 вопросов.

**Темы для подготовки к экзамену  
по профилю группы образовательной программы.**

**Дисциплина «Нагнетатели и тепловые двигатели»**

**Тема. Тепловые двигатели. Паровые установки. Газотурбинные установки. Реактивные двигатели. Дизельные электростанции. Рабочие и тепловые диаграммы реактивных двигателей. Компрессоры и компрессорные установки. Полная собственная работа газотурбинной установки**

Подтемы: циклы тепловых двигатели; Обобщенные термодинамические циклы тепловых двигателей; Графический график цикла теплопередачи при постоянном объеме; Схема теплоотдачи теплового цикла газотурбинной установки при постоянном давлении и характеристика каждого процесса; Индикаторная диаграмма одноступенчатого компрессора; Многоступенчатые компрессоры. Минимальная работа многоступенчатых компрессоров; Полная собственная работа газотурбинной установки; Кавитация при работе центробежного насоса. Определение применения компрессоров в зависимости от частоты вращения и напора; T,S диаграмма многоступенчатого компрессора; Тепловые диаграммы циклов парогазовых энергетических установок со смешанным рабочим телом

**Дисциплина «Альтернативная энергетика»**

**Тема: Возобновляемые источники энергии. Ресурсы ВИЭ в Казахстане. Проблемы использования традиционных источников энергии.**

Подтемы: Ресурсы ВИЭ; технологии изготовления преобразователей; Проблемы нетрадиционного использования энергии; Энергосбережение с использованием альтернативных источников энергии;

**Дисциплина «Физические основы энергосбережения»**

**Тема Энергетические комплексы. Энергетические сектора и динамика развития Республики Казахстан. Энергосбережение. Энергосбережение в теплогенерирующих установках. Энергосбережение в тепловых технологиях**

подтемы Нормативно-правовая база в Республике Казахстан, связанная с энергосбережением. Энергетический документ производственного предприятия. Основные направления энергосбережения; Основные уравнения и закономерности теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Конвективного теплообмена; Основные уравнения и теоремы теплового сходства. Основы горения. Состав органического топлива; Основы энергосбережения в системе обеспечения электроэнергией. Организация и технические основы обеспечения электроэнергией. Меры по обеспечению производства электроэнергией. Основы экономии электроэнергии при проектировании и эксплуатации электроустановок. Основы энергоаудита. Основная структура энергоаудита.

**Дисциплина «Течение вязкой жидкости»**

**Темы:** Основные понятия динамики вязкой жидкости. Основные уравнения механики вязкой жидкости. Несжимаемый поток жидкости с постоянными свойствами. Уравнение энергии. Стационарное движение жидкости. Дивергентная форма уравнения энергии. Слоистые течения. Пограничный слой. Автомодельные преобразования уравнений пограничного слоя. Экспериментальные методы исследования течений вязких жидкостей. Средства и методы физического эксперимента. Плоская свободная струя (затопленная).

**Подтемы:** Идеальная и вязкая жидкость. Вязкость. Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса. Сплошность среды. Число Кнудсена. Сжимаемость среды. Число Маха. Закон сохранения субстанции. Уравнения Навье-Стокса. Уравнение неразрывности. Уравнения движения. Тензор вязких напряжений. Поступательное движение. Вращательное движение. Поступательно вращательное движение. Закон сохранения импульса для несжимаемой жидкости с постоянными свойствами. Плотность потока энергии. Течение Пуазейля (динамическая и тепловая задача). Плоское течение Куэтта (динамическая и тепловая задача). Динамический пограничный слой. Свойства динамического пограничного слоя. Толщина пограничного слоя. Уравнения пограничного слоя. Метод Прандтля. Метод Мизеса. Приближенные методы решения задачи Блазиуса. Толщина вытеснения. Толщина потери импульса. Метод итераций.

### Дисциплина «Плазменная технология в теплоэнергетике»

**Темы:** Современное состояние проблемы сжигания и переработки энергетических углей. Методы повышения эффективности использования топлива. Теоретические и экспериментальные методы исследования плазменных процессов воспламенения, термохимической подготовки, сжигания и газификации углей. Алло-автотермический характер преобразования двухфазных топливных потоков. Физико-химические характеристики исследованных твердых топлив. Методика определения необходимого количества окислителя для газификации топлива. Метод расчета удельных энергозатрат на процесс газификации топлива. Различные варианты использования плазменной газификации твердых топлив. Принципиальные схемы плазмотронов. Энергетическая эффективность процесса электротермохимической подготовки энергетических углей к сжиганию. Способы сжигания органического топлива: сжигание твердого топлива. Схемы организации сжигания твердых топлив.

**Подтемы:** Основные источники энергии для теплогенерирующих установок. Классификация органического топлива. Анализ свойств топлива. Классификация твердого топлива. Марки угля. Классы крупности сортового каменного угля. Условные обозначения. Термодинамический расчет по плазменному воспламенению и горению пылеугольного топлива. Классификация жидкого топлива. Мазут. Характеристики мазута. Крекинг. Относительная плотность. Условная вязкость. Температура вспышки. Температура застывания. Классификация газообразного топлива. Сухие Газы. Природные Газы. Искусственные Газы. Газификация твердого топлива. Водяной газ. Тяжелые углеводороды. OFA-технология. Метод селективного некаталитического восстановления оксидов азота. «Острое» дутье.

### Дисциплина «Численные методы в теплоэнергетике»

**Темы:** Классификация дифференциальных уравнений. Конечно-разностные методы (основная концепция). Основные понятия и обозначения теории разностных схем. Методы представления дифференциальных уравнений в конечных разностях. Методы исследования конечно-разностных схем на устойчивость и сходимость. Явные и неявные схемы.

**Подтемы:** Аппроксимация первой, второй, смешанной производной. Разложение в ряд Тейлора. Полиномиальная аппроксимация. Интегральный метод. Метод интегрирования по контрольному объему. Метод малых возмущений. Метод фон Неймана. Метод практической устойчивости. Алгоритм расчета по явной схеме. Примеры явных схем. Аппроксимационная или схемная вязкость. Принцип расщепления по физическим процессам. Комбинированные схемы. Алгоритм

расчета волнового уравнения. Уравнения теплопроводности по неявным схемам: Кранка-Николсона, Дюфорты-Франкела с различными граничными условиями.

## Дисциплина «Компьютерное моделирование реагирующих течений в камерах сгорания»

**Темы:** Базовые понятия моделирования реагирующих течений в камерах сгорания. Свойства численных методов решения (согласованность, устойчивость, сходимость, сохранение, ограниченность, реализуемость, точность). Внедрение подходов к дискретизации (конечно-разностный метод, метод конечных объемов, метод конечных элементов). Введение в спектральные методы (основная концепция). Методы конечных объемов. Аппроксимация поверхностных интегралов. Аппроксимация объемных интегралов. Методы конечных объемов: аппроксимация исходных терминов. Трехмерные сетки. Блочноструктурированные сетки. Неструктурированные сетки. Методы конечных элементов на основе контрольного объема. Уравнение коррекции давления. Акси-симметричные задачи. Нелинейные уравнения и их решение. Ньютоноподобные техники. Повышение эффективности и точности. Анализ и оценка ошибок. Описание ошибок. Оценка ошибок. Решение уравнений Навье-Стокса. Дискретизация конвективных и вязких членов. Дискретность слагаемых давления и телесных сил. Свойства сохранения. Выбор переменного расположения на сетке. Расчет давления. Граничные условия для уравнений Навье-Стокса. Введение в турбулентные потоки. Прямое численное моделирование (DNS). Моделирование больших вихрей (LES). Модели RANS. Моделирование очень больших вихрей. Теплообмен. Потоки с переменными свойствами жидкости. Течения со свободной поверхностью. Многофазные потоки. Возгорание.

**Подтемы:** Выбор сетки. Пошаговая аппроксимация регулярными сетками. Перекрывающиеся сетки. Не ортогональные сетки с граничными аппроксимациями. Генерация сетки. Выбор составляющих скорости. Сеточно-ориентированные компоненты скорости. Компоненты декартовой скорости. Выполнение граничных условий. Система алгебраических уравнений. Ошибки дискретизации. Аппроксимация конвективных и диффузионных потоков. Практики интерполяции и дифференциации (Upwind Interpolation (UDS), Linear Interpolation (CDS), Quadratic Upwind Interpolation (QUICK), схемы более высокого порядка). Введение в решение систем линейных уравнений. Прямые методы (исключение Гаусса, LU-разложение, трехдиагональные системы, циклическая редукция). Введение в решение систем линейных уравнений. Итерационные методы (базовая концепция, сходимость, некоторые базовые методы, неполная декомпозиция LU: метод Стоуна, AD1 и другие методы расщепления, методы сопряженных градиентов, двусопряженные градиенты и CGSTAB, многосеточные методы). Параллельные вычисления в CFD. Итерационные схемы для линейных уравнений. Декомпозиция доменов в пространстве. Декомпозиция домена во времени. Эффективность параллельных вычислений. Сжимаемый поток. Методы коррекции давления для произвольного числа Маха. Методы, разработанные для сжимаемого потока.

## Дисциплина «Основы теории теплопроводности»

**Темы:** Теплопроводность в твердых телах. Математическое описание процесса теплопроводности. Теплопроводность при стационарном режиме. Нестационарная теплопроводность. Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. Конвективный теплообмен в однородной среде. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Теория подобия конвективного теплообмена. Основы теории ламинарного пограничного слоя. Основы теории турбулентного пограничного слоя. Теплообмен в условиях фазового перехода и химических превращений. Теплоотдача при кипении жидкости. Теплообмен излучением.

**Подтемы:** Передача теплоты через стенку различной геометрической формы. Пути интенсификации теплопередачи. Стационарная теплопроводность с источником теплоты. Стационарная теплопроводность многослойной стенки различной формы. Охлаждение

(нагревание) неограниченной пластины (цилиндра, шара). Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров. Приближенные методы решения задач теплопроводности. Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Критерии подобия. Критериальные уравнения. Теплоотдача при вынужденном обтекании пластины. Теплоотдача при свободной конвекции. Теплоотдача труб при вынужденном течении жидкости и особенности теплообмена при этом. Теплоотдача при ламинарном, турбулентном и переходном режимах течения жидкости в трубе. Тепловой расчет теплообменников. Основы теории теплового излучения. Основные законы теплового излучения. Методы исследования процессов лучистого теплообмена. Геометрические характеристики системы излучающих тел и свойства лучистых потоков. Теплообмен излучением между теплом и оболочкой. Лучистый теплообмен между двумя плоскопараллельными поверхностями. Лучистый теплообмен между серыми телами с высокими коэффициентами поглощения. Действие теплозащитных экранов. Определение угловых коэффициентов облученности методом топочной алгебры.

### 3. Список использованных источников.

#### Основная:

1. Баранов А.В. Энергосбережение и энергоэффективность: учебное пособие / Баранов А.В., Зарандия Ж.А. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. - 96 с.
2. Посашков М.В. Энергосбережение в системах теплоснабжения: учебное пособие для СПО / Посашков М.В., Немченко В.И., Титов Г.И. - Саратов: Профобразование, 2021. - 149 с.
3. Митрофанов С.В. Энергосбережение в энергетике: учебное пособие для СПО / Митрофанов С.В. - Саратов: Профобразование, 2020. - 126 с.
4. Е.Г. Авдюнин Моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических установок. Учебник. Москва: Инфра-Инженерия, 2019. – 184 с.
5. С.Л. Елистратов, Ю.И. Шаров Котельные установки и парогенераторы. Учебное пособие. Издательство: Инфра-Инженерия, 2021. – 148 с.
6. Энергетика и экологическая безопасность / В. И. Русан, Ю. С. Почанин, В. П. Нистюк. — Минск : Энергопресс, 2016. — 438 с.
7. Курбатов Ю.Л., Масс Н.С., Кравцов В.В. Нагнетатели и тепловые двигатели в теплотехнике. В 2-х частях. Ч. 1. Нагнетатели, Ч.2. Тепловые двигатели: Учебное пособие. – Донецк “НОРД-ПРЕСС”. 2018 – 286с.
8. Б.К. Алияров, М. Б. Алиярова Аналитическое исследование: «Казахстан: энергетическая безопасность, полнота преобразования и потребления энергии и устойчивое развитие энергетики» (состояние и перспективы). Алматы: ЛЕМ, 2016. – 336с.
9. А.Б. Алияров, Б.К. Алияров, М.Б. Алиярова Снабжение тепловой энергией (особенности, опыт, проблемы в Казахстане). Алматы: ЛЕМ, 2016. – 312 с.
10. Альтернативные топливно-энергетические ресурсы: экономико-управленческие аспекты использования в условиях инновационного развития общества / В. В. Богатырева и др. — Новополоцк : Полоцкий государственный университет, 2017. — 323 с.
11. Б.К. Алияров, М. Б. Алиярова Аналитическое исследование: «Казахстан: энергетическая безопасность, полнота преобразования и потребления энергии и устойчивое развитие энергетики» (состояние и перспективы). Алматы: ЛЕМ, 2016. – 336с.
12. А.Б. Алияров, Б.К. Алияров, М.Б. Алиярова Снабжение тепловой энергией (особенности, опыт, проблемы в Казахстане). Алматы: ЛЕМ, 2016. – 312 с.
13. Альтернативные топливно-энергетические ресурсы: экономико-управленческие аспекты использования в условиях инновационного развития общества / В. В. Богатырева и др. — Новополоцк : Полоцкий государственный университет, 2017. — 323 с.

14. Тепловые двигатели и нагнетатели: учебное пособие / С.А. Наумов, Е.В. Хаустова, А.В. Садчиков, В.Ю. Соколов, Е.В. Фирсова, А.В. Цвяк. Оренбургский гос.ун-т.- Оренбург: ОГУ, 2016. - 108 с.
15. Нагнетатели, тепловые двигатели и термотрансформаторы в системах энергообеспечения предприятий: учеб. пособие / В.И. Ляшков. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 218 с.
16. Осмонов О.М. Расчет рабочего цикла тепловых двигателей. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 48 с.
17. Численное исследование аэродинамических и теплофизических характеристик пылеугольного топлива: Монография/ Аскарова А.С., С.А. Болегенова- Алматы: Қазақ университеті, 2021. – 150 с.
18. Трехмерное моделирование процессов сжигания низкосортных казахстанских углей в камерах сгорания ТЭС: Монография / Аскарова А.С., Болегенова С.А., Бекетаева М.Т.- Алматы: Қазақ университеті, 2017. – 180 с.
19. Мазо А.Б. Вычислительная гидродинамика. Часть 1. Математические модели, сетки и сеточные схемы. Учебное пособие / А.Б. Мазо - Казань: Казанский университет, 2018. -165 с.
20. Исследование тепловых процессов и аэродинамических характеристик угольных теплостанций. /А.С. Аскарова,С.А. Болегенова, В.Ю. Максимов. – Алматы: Қазақ университеті, 2015. –122с.
21. Моделирование процессов тепломассопереноса в топочных камерах ТЭЦ: Монография /Аскарова А.С., Болегенова С.А., Габитова З.Х.- Алматы: Қазақ университеті, 2019. – 136 с.
22. Павловский, В. А. Вычислительная гидродинамика. Теоретические основы: учебное пособие / В. А. Павловский, Д. В. Никущенко. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 368 с.
23. Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A. 3D simulation of reactive flutations in combustion chambers. Student Training Manual. – Almaty: Al-Farabi KazNU, 2018. – 158 p.
24. Amos Gilat, Vish Subramaniam Numerical Methods for Engineers and Scientists. Wiley; 3 edition, 2013. – 576 p.
25. Numerical simulation of aerodynamic and thermal characteristics of pulverized fuel. /A.S. Askarova, S.A. Bolegenova – Almaty: Qazaq universiteti, 2017. -166p.
26. J. Tu, Ch. Liu Computational Fluid Dynamics, 3rd Edition, a Practical Approach. Elsevier, 2019. – 498 p.
27. V.E. Messerle, A.B. Ustimenko, O.A. Lavrichshev Plasma–fuel systems for clean coal technologies. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy, 2019. – 356 p.
28. Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Плазменное воспламенение и горение твердого топлива: Научно-технические основы // Palmarium Academic Publishing, Germany, 2012. – 405 с.
29. Снижение вредных выбросов в атмосферу оксидов азота котлами ТЭС / Таймаров М.А., Ахметова Р.В., Сунгатуллин Р.Г. и др. // Изв. Казан. ГАСУ. - 2017. - N 1(39). - С.180-187.
30. Снижение выбросов оксидов азота на котле Е-135-3,2-420ДГ при сжигании газообразных продуктов сланцепереработки / Тугов А.Н., Верещетин В.А., Сидоркин В.Т. и др. // Электр. ст. - 2018. - N 5. - С.46-49.
31. Rahman Z.U., Wang X., Zhang J., Baleta J., Vujanović M., Tan H. Kinetic study and optimization on SNCR process in pressurized oxy-combustion // Journal of the Energy Institute. – Vol. 94, 2021. – P. 263-271.

#### **Дополнительная:**

1. Бородкин В.В. Гидропневмопривод специальных технических систем: курс лекций / В.В. Бородкин. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2016. 132 с.
2. Нагнетатели и тепловые двигатели/В.М. Черкасский, Н.В.Калинин, Ю.В. Кузнецов, В.И. Субботин. – М.: Энергоатомиздат, 384с.
3. Лопастные насосы: Справочник / В.А. Зимницкий, А.В. Каплун, А.Н. Папир, В.А. Умов. – Л.: Машиностроение, 2016.
4. Li M., Wang X., Sun S., Zhen X., Li Q. Influence of Overfire Air Jet Form on Low NO<sub>x</sub> Retrofit Effect of an Opposed Firing Boiler // Journal of Chinese society of power engineering. – 2015. - No 4. – P. 263-269.
5. Zhu G., Gong Y., Niu Y., Wang S., Lei Y., Hui S. Study on NO<sub>x</sub> emissions during the coupling process of preheating-combustion of pulverized coal with multi-air staging // Journal of Cleaner Production. – Vol. 292, 2021. – 126012.
6. Chen T., Zhou Y, Wang B., Deng W., Song Z., Li W., Yang W., Sun L. Investigations on combustion optimization and NO<sub>x</sub> reduction of a 600-MWe down-fired boiler: Influence of rearrangement of tertiary air and jet angle of secondary air and separated over-fire air // Journal of Cleaner Production. – Vol. 277, 2020. – 124310.
7. Askarova A.S., Messerle V.E., Ustimenko A.B., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Maximov V.Yu., and Yergaliev A.B. Reduction of noxious substance emissions at the pulverized fuel combustion in the combustor of the BKZ-160 boiler of the Almaty heat Electropower station using the “Overfire Air” technology // Thermophysics and Aeromechanics. - 2016, Vol. 23, No.1, pp.131-140.