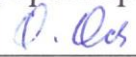


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
 / Д.С. Гуц /  
«10» марта 2023 г.

**ПРОГРАММА**  
**кандидатского экзамена по научной специальности**  
**2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника**

Красноярск 2023

## **Введение**

Настоящая программа кандидатского экзамена по специальности 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника разработана кафедрой теплотехники и гидрогазодинамики Политехнического института СФУ. Программа включает разделы, раскрывающие современные достижения в области промышленной теплоэнергетики, связанной с исследованием и совершенствованием высокотемпературных процессов и установок.

### **1. Общие характеристики тепловой работы теплотехнологических установок**

1.1. Основы общей теории печей М.А. Глинкова. Основные понятия. Классификация печей и режимов их работы. Частные теории печей конкретного назначения.

1.2. Тепловой баланс печей и установок. Тепловые нагрузки, коэффициент полезного теплоиспользования и коэффициент использования теплоты. Производительность печей общая и удельная; технико-экономические показатели тепловой работы печей.

1.3. Слойовой режим работы печей. Плотный слой: гидродинамика, тепломассоперенос, расчет.

1.4. Кипящий и взвешенный слой в печах и топках: гидродинамика, тепломассоперенос, методы расчета.

1.5. Радиационный режим работы высокотемпературных установок: равномерно-распределенный, прямой направленный, косвенный. Смешанные радиационные режимы. Теплотехнический анализ, область применения, перспективы.

1.6. Конвективный режим работы теплотехнологических установок. Теплотехнические характеристики, область применения, методы расчета, перспективы.

### **2. Современное состояние и проблемы теплообмена в теплотехнологических установках**

#### **2.1. Теплофизические проблемы**

Теплофизические проблемы классической энергетики. Практика работы котельных агрегатов, сжигающих твердые топлива. Проблемы создания паровых котлов для сжигания низкосортных бурых углей. Пути совершенствования технологии сжигания бурых углей. Задачи по исследованию и оптимизации теплообмена в топках паровых котлов.

Теплофизические проблемы теплотехнологических процессов. Практика работы пламенных нагревательных и плавильных печей и энерготехнологических комплексов. Проблемы создания агрегатов, использующих энерго- и ресурсосберегающие процессы. Пути снижения норм расхода топливно- энергетических ресурсов. Задачи по исследованию и оптимизации теплообмена в пламенных печах и энерготехнологических комплексах.

#### **2.2. Инженерные методы расчета процессов сложного теплообмена**

Теплофизическая модель теплотехнологического процесса. Обобщенное термодинамическое уравнение переноса. Виды градиентного переноса.

Классификация инженерных методов расчета. Дифференциальные методы: потоковый, одно- и двухмерная схемы. Нормативный метод теплового расчета котельных агрегатов ГДКТИ и ВТИ-ЭНИН. Зональный метод расчета. Узловой метод расчета внешнего и внутреннего теплообмена. Двухстадийный зонально-узловой метод расчета несимметричного нагрева термически массивного металла сложной формы.

Основы зонального и узлового методов расчета внешнего теплообмена. Модификации и физические основы методов. Методы определения коэффициентов радиационного обмена. Определение локальных характеристик теплообмена. Расчеты

теплообмена в селективно излучающих и поглощающих средах. Расчеты теплообмена в рассеивающих средах. Учет сложной геометрии излучающей системы.

#### 2.3. Влияние факела на процессы теплообмена

Роль факельных процессов в различных технологических и теплотехнических агрегатах. Требования к факелу в высокотемпературных печах и топках. Основные характеристики факела.

Основные характеристики факела. Границы и длина факела. Радиационные характеристики факела. Положение факела в рабочем пространстве. Влияние положения факела на теплообмен излучением при расположении нагреваемых заготовок с зазорами. Аэродинамические характеристики факела.

#### 2.4. Расчетный анализ процессов сложного теплообмена

Зональные математические модели теплообмена в высокотемпературных теплотехнологических установках и энерготехнологических комплексах. Особенности моделей печей и агрегатов, являющихся объектами диссертационного исследования. Сведения о радиационных характеристиках участвующих в теплообмене тел и сред. Особенности влияния учета селективности и рассеяния излучения на результаты расчета теплообмена. Влияние длины и светимости факела, а также режимных и конструктивных параметров на показатели теплообмена. Использование результатов математического моделирования для целей оптимизации тепловой работой установок.

### **3. Применение математических методов и вычислительной техники для решения научных и технических задач**

3.1. Роль вычислительной математики в решении научных и технических задач. Значение математических моделей при решении широкого класса прикладных задач. Место методов приближенных вычислений при реализации математических моделей на ЭВМ. Требования к численным методам анализа в связи с повышением технического уровня вычислительной техники.

3.2. Элементы общей теории приближенных методов. Правила приближенных вычислений и оценка погрешностей. Аппроксимация и сходимость. Корректность. Устойчивость.

3.3. Некоторые численные методы анализа. Приближенное вычисление значений функции при математической обработке результатов опыта. Численное интегрирование и дифференцирование функций, заданных таблично. Интерполяция. Аппроксимация и сглаживание функций. Подбор формул по данным опыта с использованием метода наименьших квадратов. Графический метод подбора формул. Решение систем линейных алгебраических уравнений. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Решение дифференциальных уравнений в частных производных.

3.4. Элементы теории вероятностей. Основные понятия. Подсчет вероятностей. Теоремы сложения и умножения вероятностей. Дискретные и непрерывные случайные величины. Распределение вероятностей. Определение характеристик функции плотности вероятности. Моделирование случайных величин. Метод Монте-Карло. Решение интегральных уравнений и задач теории переноса излучения. Другие приложения метода Монте-Карло к задачам вычислительной математики и математической физики.

3.5. Элементы планирования проведения экспериментов. Основные определения. Факторы. Выбор модели. Полный и дробный факторный эксперимент. Пассивный и активный эксперимент. Использование методов теории вероятностей и математической статистики при обработке результатов экспериментов. Корреляция. Регрессионный анализ. Проверка адекватности модели. Проверка значимости коэффициентов. Элементы дисперсного анализа.

3.6. Методы составления алгоритмов и программ. Понятие об алгоритме. Свойства алгоритмов: массовость, детерминированность, результативность, дискретность. Способы представления алгоритмов. Словесная формулировка алгоритмов. Блок-схема. Сведения об алгоритмических языках. Оформление алгоритмов в соответствии с Единой системой программной документации (ЕСПД). Этапы программирования на ЭВМ: постановка задачи,



построение математической модели, построение алгоритма для решения задачи, запись алгоритма на алгоритмическом языке, реализация алгоритма с помощью ЭВМ, анализ полученных результатов.

#### **4. Теплотехнические основы диагностики, прогнозирования и управления теплотехнологическими процессами**

4.1. Основы технической диагностики, прогнозирования и оптимизации работы высокотемпературных технологических и теплотехнических установок. Метод технической диагностики надежности и прогнозирования, основанный на совместном анализе результатов измерений и расчетов на теплофизической модели характеристик теплообмена. Алгоритм технического диагностирования. Диагностические параметры. Виды диагностических моделей (на примере топок котлов и металлургических печей).

4.2. Теплотехнические основы контроля и управления теплотехнологическими процессами. Математические модели: статические и динамические, детерминированные и вероятностные, регрессионные. Методы исследования тепловых процессов с целью идентификации моделей. Активные и пассивные методы исследования. Использование результатов математического моделирования для целей диагностики, прогнозирования и оптимального управления теплотехнологическим процессом.

#### **Основная литература**

1. Блинков М.А., Блинков Б.М. Общая теория тепловой работы печей. — М.: Металлургиздат, 1990. -232 с.
2. Лисиенко В.Б. Интенсификация теплообмена в пламенных печах. - М.: Металлургия, 1979. - 224 с.
3. Лисиенко В.Б., Лобанов В.И., Китаев Б.И. Теплофизика металлургических процессов. - М.: Металлургия, 1982. - 237 с.
4. Блох А.Б. Теплообмен в топках паровых котлов,- Л.: Энергоатомиздат, 1984.-240 с.
5. Журавлев Ю.А. Радиационный теплообмен в огнетехнических установках. - Красноярск: Изд-во Красноярск, ун-та, 1983. -256 с.
6. Теплообмен излучением: Справочник / А.Б.Блох, Ю.А. Журавлев, Л.И. Рыжков М.: Энергоатомиздат, 1991. -432 с.
7. Металлургическая теплотехника. В 2-х томах. Т. 1. Теоретические основы: Учебник для вузов / В.А. Кривандин, И.Н. Неведомская, В.В. Кобахидзе и др. - М.: Металлургия, 1986. -424 с.
8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Брановский Ю.В. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. - М.: Б1аука, 1971. - 283 с.

#### **Дополнительная литература**

9. Касилов, В.Ф. Справочное пособие по гидрогазодинамике для теплоэнергетиков. — М.: Изд-во МЭИ, 2000. — 272 с.
10. Ключников, А.Д. Теплотехническая оптимизация топливных печей. — М.: Энергия, 1974. — 343 с.
11. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). — М.: Энергия, 1973. — 196 с.
12. Проектирование топок с твердым шлакоудалением (дополнение к нормативному методу теплового расчета котельных агрегатов) / Под ред. В.В.Митора и Ю.Л.Маршака. — Л.: НПО ЦКТИ, 1981. — 117 с.
13. Троянкин, Ю.В. Проектирование и эксплуатация высокотемпературных технологических установок: учеб. пособие для студентов вузов. — М.: Изд-во МЭИ, 2002. — 324.
14. Эстеркин, Р.И. Эксплуатация, ремонт и испытания теплотехнического оборудования: учеб. для техникумов. — 3-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Энергата-томиздат, 1991. — 304 с.

15. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты / А.П. Воинов, В.А. Зайцев, Л.И. Куперман, Л.Н. Сидельковский; Под. ред. Л.Н. Сидельковского. – М.: ЭнергATOMиздат, 1989. – 272 с.

16. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок: учеб. пособие для вузов / А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, П.Г. Удыма; Под ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 336 с.

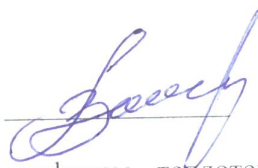
17. Скуратов, А.П. Конструкции и теплотехнический расчет плавильных электрических печей: учеб. пособие / А.П. Скуратов, С.Д. Скуратова. – Красно-ярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 168 с.

18. Капелович, Б.Э. Эксплуатация паротурбинных установок. – М.: Изд-во Энергия, 1975. – 288 с.

19. Баженов, М.И. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. – М.: Изд-во МЭИ, 2006 – 76 с.

Составитель программы:

В.А. Кулагин, д-р техн. наук, профессор



Программа обсуждена на заседании кафедры теплотехники и гидрогазодинамики  
«26» июня 2023г., протокол № 14