

**ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ
МОДЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**



ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	8
Глава 1. Тепловые схемы и аппараты ТЭС и АЭС как объекты моделирования.	14
1.1. Тепловые схемы ТЭС с общим паропроводом и блочного типа	14
1.2. Основное оборудование ТЭС	16
1.3. Тепловые схемы АЭС	25
1.4. Основное оборудование АЭС	28
Список литературы	31
Глава 2. Основы теории аналитических моделей.	33
2.1. Классификация аналитических моделей.	33
2.2. Способы представления моделей.	35
2.3. Этапы создания аналитических моделей	37
2.4. Уравнения основных законов физики в моделях с распределенными параметрами	39
2.5. Модели различной степени приближения.	43
2.5.1. Модели статического приближения (статические модели) (44).	
2.5.2. Модели линейного приближения (линейные модели) (44).	
2.5.3. Модели точечного приближения (СП ₁ модели) (46).	
2.5.4. Модели многоточечного приближения (СП _n модели) (47).	
2.6. Динамические характеристики моделей тепловых процессов потока	49
2.6.1. Динамические характеристики РП модели потока (49).	
2.6.2. Динамические характеристики точечной СП модели (52).	
2.7. Характеристики моделей тепловых процессов стенки труб	55
2.7.1. Статические характеристики РП модели стенки (55).	
2.7.2. Динамические характеристики РП модели плоской стенки (57).	
2.7.3. Динамические характеристики точечной модели стенки (60).	
2.7.4. Сравнение моделей различной степени приближения (61).	
Список литературы	63

Глава 3. Статистическое моделирование систем	65
3.1. Общие вопросы моделирования	65
3.2. Классификация моделей	67
3.3. Задача идентификации: постановка и основные подходы	73
3.4. Регрессионные методы идентификации	81
3.5. Оценивание параметров нелинейных моделей	89
3.6. Сглаживающие фильтры	91
3.6.1. Сглаживатели на основе ортогональных разложений (91).	
3.6.2. Ядерное сглаживание (93). 3.6.3. Оценки k -ближайших соседей (95).	
3.6.4. Суперсглаживатель (97). 3.6.5. Сглаживающие фильтры на основе сплайнов (99).	
3.7. Робастные сглаживатели	101
3.8. Другие виды сглаживателей	104
3.9. Оценка весовой функции объекта методом наименьших квадратов	105
3.10. Некорректность задачи идентификации и регуляризация решения	109
3.11. Виды тестовых сигналов для определения временных характеристик	111
3.12. Идентификация автоматизированных объектов	115
3.13. Особенности идентификации неавтоматизированных объектов	116
3.14. Методы оценивания параметров и состояний объектов управления	122
3.15. Косвенные методы оценки математического ожидания и дисперсии	131
3.16. Методы, использующие информацию о длительности выбросов	135
3.17. Косвенные методы оценки корреляционной функции и спектральной плотности	139
Список литературы	142
Глава 4. Численные методы оценивания параметров модели	146
4.1. Адаптивные алгоритмы в задаче моделирования	146
4.1.1. Рекуррентный метод наименьших квадратов (152).	
4.2. Проекционные алгоритмы. Алгоритм Качмажа	156
4.2.1. Сходимость алгоритма Качмажа (158). 4.2.2. Скорость сходимости алгоритма (158).	
4.2.3. Сходимость при случайных входах (159). 4.2.4. Влияние корреляции на скорость сходимости (160).	
4.2.5. Влияние математических ожиданий и случайных помок на скорость сходимости (160).	
4.3. Обобщенные адаптивные алгоритмы идентификации	161
4.4. Адаптивная идентификация объектов в замкнутых системах	168
4.4.1. Объект исследования (168). 4.4.2. Особенности идентификации замкнутых систем (170).	
4.4.3. Сведение задачи текущей идентификации к задаче идентификации при зависимых входах (172).	
4.4.4. Сходимость алгоритма стохастической аппроксимации при идентификации замкнутых систем (174).	
4.4.5. Имитация	

ционное моделирование адаптивных алгоритмов в замкнутом контуре (177).	
4.5. Моделирование процессов идентификации и управления технологическими объектами	180
4.5.1. Моделирование режима идентификации (180).	
4.6. Теплогидравлическая модель активной зоны реактора для целей управления энергораспределением	187
4.6.1. Моделирование активной зоны реактора (187). 4.6.2. Идентификатор — предиктор состояния (189). 4.6.3. Численные результаты моделирования активной зоны (192).	
Список литературы	195
Глава 5. Математическое моделирование парокapelных турбулентных потоков в трансзвуковых соплах	199
5.1. Постановка задачи	199
5.2. Теоретическая формулировка	200
5.2.1. Уравнения движения и энергии двухфазной парокapelной среды (200). 5.2.2. Скорость нуклеации и ее осреднение (201). 5.2.3. Скорость конденсации или испарения (206). 5.2.4. Ядро коагуляции (207). 5.2.5. Эволюция спектра капель по размерам (209). 5.2.6. Модель турбулентности (215).	
5.3. Результаты моделирования течения пара в трансзвуковых соплах.	220
5.3.1. Расчеты в газодинамическом (нетурбулентном) приближении (220). 5.3.2. Влияние турбулентности на стационарную спонтанную конденсацию водяного пара (225).	
5.4. Влияние ПАВ на течение спонтанно конденсирующегося пара в трансзвуковых соплах	231
Список литературы	239
Глава 6. Модели теплообменников с распределенными и сосредоточенными параметрами	244
6.1. Обобщенная математическая модель теплообменника.	244
6.2. Методы решения обобщенной модели	248
6.3. Модели статистики теплообменников.	251
6.3.1. Распределенная статическая модель конвективного теплообменника с однофазными теплоносителями (252). 6.3.2. Модель статистики конвективного теплообменника с наружным теплоносителем на линии насыщения (256). 6.3.3. Распределенная статическая модель радиационного теплообменника (257).	
6.4. Линейные РП модели динамики конвективного теплообменника с однофазными теплоносителями	258
6.4.1. Линейная модель проточного теплообменника с распределенными параметрами всех сред (РП-РП-РП модель) (259). 6.4.2. Линейная модель проточного теплообменника с точечной моделью стенки (РП-СП-РП модель) (263). 6.4.3. Линейная модель противоточного теплообменника с точечной моделью стенки (РП-СП-РП модель) (265). 6.4.4. Линейная модель конвективно-	

го теплообменника с точечной моделью наружного теплоносителя и стенки (СП-СП-РП модель) (270). 6.4.5. Линейная модель конвективного теплообменника с независимым обогревом и точечной моделью стенки (НО-СП-РП модель) (274).	
6.5. Линейные РП модели динамики конвективного теплообменника с наружным теплоносителем на линии насыщения.	277
6.6. Линейные РП модели динамики радиационного теплообменника	279
6.7. Линейные СП модели динамики конвективного теплообменника с однофазными теплоносителями	282
6.7.1. Точечная модель КТО с однофазными теплоносителями (282). 6.7.2. Многоточечные модели КТО с однофазными теплоносителями (284).	
6.8. Линейные СП модели динамики конвективного теплообменника с наружным теплоносителем на линии насыщения.	291
6.8.1. Точечная модель конвективного теплообменника с наружным теплоносителем на линии насыщения (291). 6.8.2. Многоточечная модель конвективного теплообменника с наружным теплоносителем на линии насыщения (292).	
6.9. Линейные СП модели динамики радиационного теплообменника	295
6.9.1. Точечная модель радиационного теплообменника (295). 6.9.2. Многоточечная модель радиационного теплообменника (296).	
Список литературы	298
Глава 7. Расчет динамических характеристик конвективных поверхностей котлов	301
7.1. Расчет динамических характеристик прямоточных теплообменников	303
7.2. Расчет динамических характеристик противоточных теплообменников.	310
7.3. Влияние параметрических допущений на точность моделей конвективных теплообменников.	313
7.3.1. Влияние изменения теплоемкости внутреннего теплоносителя на точность модели (314). 7.3.2. Влияние изменения коэффициента теплоотдачи внутреннего теплоносителя на точность модели (318). 7.3.3. Влияние допущений о малости постоянных времени на точность модели (321).	
7.4. Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных моделей пароперегревателя котла ТПП-210	322
7.5. Исследование моделей различной степени приближения в задаче синтеза систем автоматического регулирования.	328
7.5.1. Получение передаточной функции РП модели основного канала с $\alpha_2 = \text{var}$ (330). 7.5.2. Получение передаточных функций СП моделей основного канала с $\alpha_2 = \text{var}$ (332). 7.5.3. Сравнительный анализ частотных свойств моделей (339). 7.5.4. Расчет двухконтурной системы регулирования (341).	
Список литературы	342

Глава 8. Модели ядерных энергетических реакторов и парогенераторов	344
8.1. Физические основы и модели кинетики реактора.	344
8.2. Динамические характеристики реактора на малой мощности.	348
8.3. Физические основы и модели динамики реактора с мощностным коэффициентом реактивности	351
8.3.1. Модели динамики реактора ВВЭР, работающего в энергетическом диапазоне мощности (353). 8.3.2. Динамические характеристики модели реактора ВВЭР с мощностным коэффициентом реактивности (361). 8.3.3. Расчет комплексных частотных характеристик модели реактора ВВЭР-440 с мощностным коэффициентом реактивности (364).	
8.4. Модели динамики реактора с температурными коэффициентами реактивности.	371
8.4.1. Динамические характеристики модели реактора ВВЭР с температурными коэффициентами реактивности (372). 8.4.2. Расчет комплексных частотных характеристик реактора ВВЭР-440 по модели с температурными коэффициентами реактивности (376).	
8.5. Модели тепловых процессов парогенератора	379
8.5.1. Модель статики тепловых процессов парогенератора (379).	
8.5.2. Линейные модели динамики и характеристики тепловых процессов парогенератора ВВЭР (381).	
Список литературы	387
Глава 9. Математические модели парогенерирующих устройств по давлению и уровню	388
9.1. Линейная точечная модель барабана котла по уровню	388
9.2. Математическая модель по уровню парогенератора блока ВВЭР	396
9.3. Математическая модель по давлению	401
Список литературы	403
Глава 10. Влияние влажности на экономичность паровых турбин	405
10.1. Методика обобщения экспериментальных данных по влиянию влажности на потери в паровых турбинах	405
10.2. Экспериментальные исследования характеристик влаги в турбинных решетках и соплах Лавалля методами лазерной диагностики	417
10.3. Применение полуторного выхлопа как способа повышения экономичности паровой турбины	419
Список литературы	431
Приложение 1	432
Приложение 2	433
Приложение 3	434
Приложение 4	436
Приложение 5	437