

Серия «Теплофизика атомных электростанций»

ТЕПЛОФИЗИКА АВАРИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ



Национальная академия наук Украины
Институт проблем безопасности атомных электростанций

Серия «Теплофизика атомных электростанций»

**ТЕПЛОФИЗИКА АВАРИЙ
ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ**

Монография

Чернобыль 2012

УДК 621.039.586:[536+539.1
ББК 31.46-08+22.327+22.36
Т34

Серия основана в 2010 г.

Авторы:

А. А. Ключников, И. Г. Шараевский, Н. М. Фиалко,
Л. Б. Зимин, Е. И. Шараевская

Рецензенты:

чл.-кор. НАН Украины, д.т.н. А. А. Авраменко;
чл.-кор. НАН Украины, д.ф.-м.н. В. И. Слисенко

*Рекомендовано в печать ученым советом
Института проблем безопасности АЭС НАН Украины*

Т34 Теплофизика аварий ядерных реакторов : монография / А. А. Ключников,
И. Г. Шараевский, Н. М. Фиалко и др. ; НАН Украины, Ин-т проблем безо-
пасности АЭС. - Чернобыль (Киев, обл.) : Ин-т проблем безопасности
АЭС, 2012.-528 с.
ISBN 978-966-02-5763-4 (серия)
ISBN 978-966-02-6194-5

В монографии рассмотрены теплофизические аспекты потенциально возможных тяжелых аварий в реакторных отделениях современных АЭС. Приведены примеры возникновения и развития проектных и запроектных аварий, имевших место в мировой атомной энергетике. Проанализированы важнейшие аспекты динамики теплообмена в типичных аварийных ситуациях, а также расчетная методология их учета. Применительно к возможным тяжелым авариям ядерных энергетических реакторов усовершенствован ряд представлений о динамике развития аварий в конструктивных элементах реакторных отделений и соответствующих методологических принципов, которые могут быть использованы в качестве исходных предпосылок для выбора мер по локализации и ликвидации аварийных ситуаций.

Предназначена для научных работников, специалистов ядерной энергетики, а также для аспирантов и студентов.

УДК 621.039. 586:[536+539.1

ISBN 978-966-02-5763-4 (серия)
ISBN 978-966-02-6194-5

© А. А. Ключников, И. Г. Шараевский,
Н. М. Фиалко, Л. Б. Зимин,
Е. И. Шараевская, 2012

Оглавление

Список сокращений.....	6
Введение.....	7
Глава 1. Особенности теплофизических процессов в нерегламентных и аварийных режимах ядерных реакторов.....	21
1.1. Процессы теплообмена в переходных эксплуатационных состояниях активных зон.....	21
1.2. Общие сведения о теплофизических процессах в нерегламентных режимах.....	33
1.2.1. Общая характеристика аварийных процессов с потерей теплоносителя первого контура.....	33
1.2.2. Взаимодействие расплава топлива с теплоносителем. Паровой взрыв.....	40
1.2.3. Проблемы охлаждения расплавленного корриума и корпуса аварийного реактора.....	44
1.2.4. Особенности аварийного теплообмена в объеме защитной оболочки реакторного отделения.....	46
1.2.5. Конденсационные гидроудары в элементах системы охлаждения.....	48
1.3. Физические особенности развития тяжелых аварий в ядерных реакторах основных типов.....	49
1.3.1. Прогнозируемые тяжелые аварии в реакторах основных типов.....	49
1.3.2. Особенности аварийного охлаждения топливных фрагментов.....	54
1.3.3. Поздние фазы тяжелой аварии с расплавлением активной зоны.....	57
1.3.4. Аварии с повреждением контейнента.....	58
1.4. Особенности аварийных режимов реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением.....	60
1.4.1. Проблемы идентификации предаварийных режимов в тепловыделяющих сборках.....	65
1.4.2. Динамика развития тяжелых аварий в реакторах на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением.....	69
Глава 2. Аварийные теплофизические процессы в реакторных установках основных типов.....	76
2.1. Теплофизика топливных композиций.....	77
2.1.1. Температурные режимы топливных сердечников.....	78
2.1.2. Физические свойства топлива.....	82
2.1.3. Поведение ядерного топлива в условиях его облучения.....	89
2.2. Физические особенности аварийных режимов в ядерных реакторах основных типов.....	97
2.2.1. Аварийные переходные процессы в реакторах ВВЭР.....	97
2.2.2. Основные типы аварийных режимов в водоохлаждаемых реакторных установках некипящего типа.....	121

2.2.3. Аварии кипящих легководных реакторов с потерей теплоносителя.....	134
2.2.4. Аварии с нарушением охлаждения тяжеловодных реакторов типа CANDU.....	137
2.2.5. Аварии газоохлаждаемого реактора типа AGR.....	139
2.2.6. Физические особенности аварийных процессов в реакторах на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением.....	141
2.2.7. Проблемы безопасности реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением.....	163
Глава 3. Компьютерное моделирование аварийных процессов в водоохлаждаемых реакторах.....	180
3.1. Математические модели нерегламентных теплогидравлических процессов в энергетических ядерных реакторах.....	180
3.1.1. Общая характеристика расчетных теплогидравлических кодов улучшенной оценки.....	180
3.1.2. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных.....	240
3.2. Теплообмен при аварийных режимах активных зон.....	258
3.2.1. Особенности аварийного теплообмена в активных зонах.....	258
3.2.2. Взаимодействие расплава активной зоны с бетоном.....	271
3.2.3. Взрывоопасные состояния.....	275
3.2.4. Проблемы локализации кориума.....	285
Глава 4. Физико-математическое моделирование динамики тяжелых аварий в водоохлаждаемых реакторах.....	289
4.1. Физико-математические модели теплофизических процессов при тяжелых авариях.....	292
4.2. Характерные особенности динамики кориума в различных фазах развития тяжелых аварий.....	302
Глава 5. Физико-математические модели аварийных процессов в реакторах на быстрых нейтронах с жидкометаллическим и газовым охлаждением.....	337
5.1. Аварийные процессы в реакторах с жидкометаллическим охлаждением.....	337
5.1.1. Система аварийной защиты АЭС.....	337
5.1.2. Вопросы надежности.....	343
5.1.3. Распространение локальных повреждений ТВЭЛ.....	348
5.1.4. Переходные процессы в объеме активной зоны.....	352
5.1.5. Неконтролируемые аварийные режимы.....	356
5.1.6. Аварийные режимы с повышением мощности ядерного реактора.....	366
5.1.7. Аварийные режимы с ухудшением условий теплоотвода.....	373
5.1.8. Неконтролируемый аварийный режим, связанный с прекращением циркуляции теплоносителя.....	377

5.1.9. Режимы течения расплавленного топлива	386
5.1.10. Модели и программы для расчета аварийных процессов	398
5.1.11. Трансформации расплавленного топлива	408
5.1.12. Деформации и послеаварийное расхолаживание реакторов с жидкометаллическим охлаждением	419
5.1.13. Горение неподвижного натрия и натриевых струй	429
5.2. Аварийные процессы в реакторах с газовым охлаждением	432
5.2.1. Особенности конструкции реакторов на быстрых нейтронах с газовым охлаждением	432
5.2.2. Особенности динамики аварийных ситуаций в реакторах на быстрых нейтронах с газовым охлаждением	452
5.2.3. Мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий в реакторах на быстрых нейтронах с газовым охлаждением	460
Глава 6. Опыт тяжелых аварий ядерных энергоблоков с реакторами основных типов	472
6.1. Аварии реакторов с легководным охлаждением	473
6.2. Аварии реакторов с тяжеловодным замедлителем	500
6.3. Аварии газоохлаждаемых реакторов	504
6.4. Аварии реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением	508
Список литературы	512