

УДК 621.039.58(075.8)
ББК 31.46Я7
В92

Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В. **Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР**: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – 304 с.

Данное учебное пособие разработано на основе курса лекций по технологии и вопросам безопасной эксплуатации АЭС с ВВЭР-1000, читавшихся в России и за рубежом в течение ряда лет для отечественных и зарубежных специалистов атомной отрасли.

Основное внимание в пособии уделено освещению вопросов обеспечения безопасности и целостности основных барьеров защиты ЯЭУ с ВВЭР-1000. Большое место отведено описанию проектных основ безопасности, касающихся специальных систем. Дано описание поэтапного развития и совершенствования оборудования ЯЭУ с реактором ВВЭР-1000 в направлении повышения безопасности. Приведены основные технические решения по дополнительным системам безопасности АЭС с ВВЭР в рамках проекта АЭС-2006. Обращено внимание на основные параметры безопасности, формирующие эксплуатационные пределы состояния физических барьеров защиты в режимах нормальной эксплуатации и аварийных режимах. Дано описание основных задач инженерной поддержки эксплуатации, и в первую очередь её расчетного сопровождения.

Пособие рассчитано на студентов старших курсов, работников атомной промышленности и аспирантов, специализирующихся в области нейтронной физики, теплофизики, управления и безопасности ядерных реакторов ВВЭР.

Пособие подготовлено в рамках Программы создания и развития НИЯУ МИФИ.

Рецензент д-р техн. наук Лескин С.Т.

ISBN 978-5-7262-1819-9

© Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2013

Оглавление

Список сокращений.....	6
Предисловие.....	9
Глава 1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС	15
Введение.....	15
1.1. Цели и принципы безопасности	15
1.2. Принципы ответственности управления.....	19
1.3. Принципы глубокошелонированной защиты.....	20
1.4. Конкретные принципы.....	27
1.4.1. Фундаментальные функции безопасности.....	28
1.4.2. Принцип единичного отказа	30
1.4.3. Системы безопасности.....	32
1.4.4. Безопасность при эксплуатации АЭС.....	34
1.4.5. Классификация систем АЭС по влиянию на безопасность	40
1.4.6. Аварийные ситуации на АЭС	43
1.4.7. Человеческий фактор в обеспечении безопасности.....	50
1.5. Обеспечение качества и культура безопасности.....	52
1.5.1. Деятельность по обеспечению качества.....	52
1.5.2. Понятие «культура безопасности»	54
Заключение.....	56
Контрольные вопросы.....	61
Глава 2. ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЯЭУ С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000	62
Введение.....	62
2.1. Состав систем безопасности ЯЭУ с ВВЭР-1000.....	63
2.1.1. Системы безопасности ЯЭУ для действующих АЭС с ВВЭР-1000.....	64
2.1.2. Пассивная часть системы аварийного охлаждения активной зоны.....	64
2.1.3. Системы аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) высокого давления и низкого давления	68
2.1.4. Система защиты первого контура от превышения давления	74
2.1.5. Система защиты второго контура от превышения давления	76
2.1.6. Системы аварийного удаления газов и аварийной подачи питательной воды.....	78
2.1.7. Системы безопасности ЯЭУ для АЭС с ВВЭР-1000 нового поколения.....	79
2.2. Состав систем безопасности ЯЭУ с ВВЭР-1200 по проекту АЭС-2006.....	93

2.3. Перспективы мировой атомной энергетики на базе водо-водяных реакторов	99
Заключение.....	107
Контрольные вопросы.....	110
Глава 3. РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ	111
Основные определения	111
Введение.....	114
3.1. Пределы безопасной эксплуатации ЯЭУ	117
3.1.1. Классификация основных параметров безопасности	118
3.1.2. Определение предельных значений основных параметров безопасности	124
3.1.3. Контролируемые пределы безопасной эксплуатации ЯЭУ.....	141
3.2. Описание аварийных режимов, принятых для расчетного обоснования безопасности	151
3.2.1. Перечень эксплуатационных режимов с нарушением нормальной эксплуатации и проектных аварий	151
3.2.2. Описание режимов с нарушением работы систем, влияющих на реактивность.....	157
3.2.2.1. Подключение ГЦН ранее не работавшей петли.....	158
3.2.2.2. Выброс органа регулирования	161
3.2.3. Описание режимов с нарушением расхода теплоносителя.....	164
3.2.3.1. Заклинивание одного ГЦН.....	165
3.2.3.2. Обесточивание всех ГЦН	167
3.2.3.3. Обесточивание АЭС	169
3.2.3.4. Анализ радиационных последствий	170
3.2.4. Режимы с разуплотнением второго контура	173
3.2.4.1. Разрыв паропровода.....	173
3.2.4.2. Описание режимов с разуплотнением первого контура	182
3.3. Принцип «консервативности», принятый в расчетном обосновании безопасности	194
Заключение.....	216
Контрольные вопросы.....	217
Темы практических занятий на МФА РУ	219
Глава 4. ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯЭУ С ВВЭР-1000	221
Введение.....	221
4.1. Измерения на АЭС для определения интегральной нейтронной и тепловой мощности ЯЭУ	223

4.2. Измерения основных нейтронно-физических характеристик активной зоны ВВЭР-1000 на АЭС.....	242
4.2.1. Измерения нейтронно-физических характеристик групп ОР СУЗ на АЭС с ВВЭР-1000	244
4.2.2. Определение «веса» аварийной защиты на АЭС с ВВЭР-1000	262
4.2.3. Измерения коэффициентов реактивности по температуре теплоносителя на МКУ.....	270
4.3. Расчетное сопровождение эксплуатации ЯЭУ с ВВЭР-1000	277
4.3.1. Восстановление распределения энерговыделения в объеме активной зоны по показаниям ДПЗ	277
4.3.2. Программы расчетного сопровождения эксплуатации ЯЭУ с ВВЭР-1000	288
4.4. Программы БИПР-7А и ПЕРМАК.....	289
4.5. Динамические программные комплексы.....	292
Контрольные вопросы.....	294
Темы практических занятий на МФА РУ.....	295
Список рекомендованной литературы.....	297