

и т. д. Все это происходит с известной вероятностью. Если предсказать поведение отдельного человека почти невозможно, то поведение всей массы описывается довольно точно. В этом случае дело обстоит так же, как в ситуации, когда мы, не умея описать поведение отдельной молекулы газа, довольно хорошо описываем его состояние в целом.

Самый главный блок модели — подмодель М6. Она описывает основной процесс — воздействие среды на здоровье человека. Конечно, мы еще много не знаем (из 100 тыс. широко употребляемых в Великобритании и США химических соединений только 6 тыс. испытывались на канцерогенность, причем определенный ответ получен лишь для 10—16% [5]). Для рассматриваемого города главные источники опасности более или менее ясны. С другой стороны, третья цель модели (научная) в данном случае — определить вещества процесса и механизмы, наиболее важные для изучения сегодня.

Подмодель представляет собой набор отношений между воздействиями стрессоров на людей и группы населения и состоянием здоровья, полученных в ходе изучения заболеваемости, клинических наблюдений и путем переноса на людей данных медико-биологических экспериментов на животных.

Эта подмодель отличает описываемую модель от подобных, которые обычно рассматривают либо в основном состоянии окружающей среды, либо в основном здоровье населения. При конструировании подмодели предполагается использовать значительный опыт, накопленный в области эпидемиологии и формального описания эпидемических процессов.

Следующий элемент модели — подмодель М7. Ее назначение — учет не прямых последствий изменений в окружающей среде и последствий изменения состояния здоровья населения. Под прочими последствиями понимаются разрушение зданий, ухудшение ландшафта, зон отдыха и пр. Разумеется, речь здесь идет об очень приближенных, балльных оценках и простейших статистически выявленных зависимостях.

Однако главное назначение подмодели — перевести отдельные следствия, прогнозы и эффекты в совокупность выходных данных. Особенно важно связать программы охраны окружающей среды и здоровья населения с другими программами, частью которых они, по существу, должны являться и являются. Цели этих программ, результаты и модели нужно связывать с другими программами, а это требует представления результатов модели в общих терминах.

В статье обсуждены общие принципы создания систем охраны окружающей среды и здоровья населения и управления ими, поэтому многие аспекты проблемы лишь затронуты, а многие положения выдвинуты без достаточного обоснования.

Авторы считают, что актуальными проблемами в создании обсуждаемых систем (для которых имеются предпосылки к решению) являются:

выбор типовой конфигурации имитационной модели состояния среды и здоровья населения и вопросы ее практического построения для крупных топливно-энергетических комплексов;

разработка принципов создания банков данных о состоянии среды и здоровья населения, учитывающих специфические особенности медико-биологических данных и требования их обработки в имитационной модели;

разработка принципов планирования сбора и обработки данных о среде и здоровье населения, включая создание комплексов программ анализа данных.

Работа по перечисленным направлениям ведется в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. Л., Гидрометеоиздат, 1979.
2. Gros J. Power Plant Siting a Paretian environmental approach. IIASA, Dec. 1975.
3. Воробьев Е. И. и др. — Атомная энергия, 1977, т. 43, вып. 5, с. 377.
4. Воробьев Е. И. и др. — Там же, 1979, т. 47, вып. 4, с. 219.
5. Engineering News Record, 1978, v. 201, N 10, p. 13.

Поступила в Редакцию 12.12.80

УДК 621.039.58'68

Анализ отказов оборудования на действующих АЭС СССР с ВВЭР-440

ОВЧИННИКОВ Ф. Я., ВОРОНИН Л. М., БАТУРОВ Б. Б., АБАГЯН А. А., ЛЕСНОЙ С. А.

Одно из основных направлений развития ядерной энергетики СССР — сооружение АЭС с ВВЭР. Первый энергоблок с ВВЭР-210 введен в промышленную эксплуатацию в 1964 г. на Нововоронежской АЭС. С 1971 г. в СССР и в некоторых зарубежных странах (ГДР, НРБ, Финляндии,

ЧССР) при техническом содействии Советского Союза введена в эксплуатацию большая серия энергоблоков с ВВЭР-440.

Эксплуатация подтвердила правильность принципиальных технических решений в конструкторских разработках, а также совпадение фактиче-

ских показателей работы энергоблоков и проектных характеристик. Она позволила также определить пути дальнейшего совершенствования оборудования и технологических систем в соответствии с возросшими требованиями к безопасности и надежности работы АЭС.

Можно считать, что проблемы безопасности для режимов нормальной эксплуатации полностью решены. Однако для аварийных режимов эти проблемы требуют дальнейших исследований. Международным опытом развития ядерной энергетики показывается, что в связи с массовым строительством АЭС и поиском разумных, технически приемлемых средств обеспечения безопасности само понятие «безопасность» и способы ее достижения постоянно претерпевают изменения. ВВЭР первого поколения имели защитные и локализирующие системы, соответствовавшие принятому в то время ограниченному масштабу максимальной аварии. При этом большая роль отводилась фактору удаления АЭС от населенных пунктов. На вводимых в настоящее время энергоблоках с унифицированными ВВЭР-440 системы безопасности рассчитаны на противодействие более крупным нарушениям вплоть до разрыва трубопроводов главного циркуляционного контура, имеющих максимальный диаметр и, следовательно, потенциально более тяжелые последствия аварии. Очевидно, что одними техническими средствами решить все проблемы безопасности, т. е. создать АЭС, не подвергающую окружающую среду хотя бы незначительному риску загрязнения, очень трудно. Все усилия в области безопасности должны быть направлены на уменьшение степени риска. Такие усилия будут плодотворными только при условии неразрывного сочетания эффективных технических средств безопасности и высокой организации уровня эксплуатации этих средств.

Опыт эксплуатации АЭС во всем мире свидетельствует о том, что, развивая и постоянно совершенствуя технические средства предотвращения и локализации крупных аварий (вплоть до мгновенного поперечного разрыва трубопроводов максимального диаметра), необходимо не менее серьезно разрабатывать и совершенствовать методы и средства предотвращения и ликвидации так называемых «малых аварий». Большей частью эти методы и средства тождественны направленным на обеспечение надежности АЭС как источников энергии, так как любые нарушения в работе основного оборудования, связанные с отказами и дефектами, приводят к ограничениям мощности в целях исключения отклонения параметров установки за безопасные пределы. Иными словами, для обеспечения безопасности снижение надежности предопределяет необходимость вводить ограничения в рабочий режим установки.

Для выявления наиболее слабых звеньев в технологических системах АЭС и повышения их на-

Распределение отказов и дефектов оборудования АЭС с энергоблоком ВВЭР-440 по функциональным группам и отдельным видам оборудования

Группа оборудования	Число отказов на 1 блок/год	Доля, %
Оборудование первого контура:		
реакторное	5	4,3
парогенератор	4	3,4
главные циркуляционные насосы	2	1,7
главные запорные задвижки	1	0,9
трубопроводы	1	0,9
По группе	13	11,3
Турбоагрегатная группа:		
турбины	1	0,9
конденсаторы	3	2,6
сепараторы-пароперегреватели	3	2,6
подогреватели регенеративные	6	5,2
По группе	13	11,3
Насосное оборудование всех видов	9	7,8
Арматура (без главных запорных задвижек)	10	8,7
Вентиляционные установки	7	6,1
Компрессорные установки	4	3,5
Электрооборудование:		
турбогенераторы	1	0,9
электроприводы насосов	3	2,6
электроприводы регулирующих касет	2	1,8
выключатели, разъединители	9	7,8
По группе	15	13,1
Оборудование КИПиА:		
первичные приборы	9	7,8
вторичные приборы	23	20,0
линии связи	12	10,4
По группе	44	38,2
Всего:	115	100

дежности с момента пуска первых энергоблоков ВВЭР проводится глубокий и всесторонний анализ работы оборудования. С 1977 г. в СССР внедрена единая система сбора информации об отказах и дефектах оборудования АЭС. Получение достоверной информации позволяет выделить наиболее характерные отказы, ведущие к аварийным остановкам, неплановым простоям и снижению экономической эффективности АЭС. Своевременное выявление причин отказов и дефектов оборудования (особенно оборудования систем, связанных с безопасностью АЭС) позволяет вести эффективную работу по его совершенствованию начиная со стадии проектирования и кончая стадией эксплуатации. Для удобства такого анализа и оценки влияния отказов и дефектов на надежность и безопасность работы АЭС оборудование разделено на группы в соответствии с функциональным назначением. В таблице в процентном отношении представлен спектр распределения отказов оборудования, характерный для энергоблоков с ВВЭР-440.

При анализе информации использованы все виды отказов как полных, так и частичных, которые

приводят или могут привести к ограничениям в работе основного оборудования, а также и те отказы, которые не влияют на нормальную работу энергоблоков ввиду второстепенности оборудования или его резервирования. Из таблицы следует, что на долю оборудования первого контура, имеющего наибольшее значение с точки зрения обеспечения надежности и безопасности АЭС, приходится 11,3% отказов. Причем отказы реакторного оборудования, включая СУЗ, составляют ~4%, отказы парогенераторов 3,5% и трубопроводов — менее 1%. Следует подчеркнуть, что за время эксплуатации не зафиксировано ни одного полного отказа этого оборудования. Это свидетельствует о достаточно высоком уровне надежности главного циркуляционного контура. Остальные 88,7% отказов и дефектов приходится в основном на долю оборудования, не являющегося специфическим для АЭС и характерного для традиционной энергетики.

Большое число отказов (~38%) приходится на долю оборудования КИПиА. Однако оно практически не влияет на надежность энергоблоков, так как связано, чаще всего, с приборами и линиями связи, имеющими достаточное резервирование. Анализом статистики отказов оборудования за 1977—1979 гг. установлено, что наиболее характерными являются дефекты сварки (до 32%) и скрытые дефекты материалов (до 28%). Отказы и повреждения по вине обслуживающего персонала составляют менее 7%, что свидетельствует о достаточно высоком уровне его квалификации.

Для выработки требований к надежности оборудования (особенно необходимых на стадиях конструирования и изготовления) на основе статистических данных об его отказах рассчитывают количественные показатели надежности. Один из таких важнейших показателей для восстанавливаемых изделий — параметр потока отказов $\omega(t)$. Из-за сравнительно малого объема статистической выборки получены только точечные значения $\omega(t)$ без оценки доверительного уровня. Тем не менее эти значения $\omega(t)$ позволяют установить нижний предел надежности и могут быть использованы в качестве первичных нормируемых данных при проектировании, изготовлении и эксплуатации оборудования. Так, например, $\omega(t)$ для реактора составляет, 1/ч: $(1,6 \div 2,1) \cdot 10^{-5}$; для парогенераторов $8,2 \cdot 10^{-5}$; для системы СУЗ $6,2 \cdot 10^{-4}$; для главного циркуляционного насоса $2,6 \cdot 10^{-5}$; для турбины $8 \cdot 10^{-5}$. Сравнение этих данных с имеющимися для аналогичного оборудования зарубежных АЭС показывает, что они вполне сопоставимы, если учесть, что при расчетах $\omega(t)$ в зарубежной практике обычно учитываются только полные отказы.

Из приведенной информации следует, что отказы и дефекты в основном относятся к второстепенному оборудованию или вспомогательным систе-

мам основного, поэтому надежность и безопасность АЭС в целом не снижаются. Об этом свидетельствует стабильный и высокий коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) энергоблоков ВВЭР-440: в 1977 г. он составлял 72,6%, в 1978 г. — 80,7%, в 1979 г. — 73,8%.

Отметим, что оптимальный коэффициент использования установленной мощности для энергоблоков с ВВЭР-440 в СССР равен 80%, что соответствует 7000 ч работы оборудования на номинальной мощности в год. Это определяется установленной периодичностью и нормативами продолжительности ремонтов основного оборудования (реакторное оборудование, турбины и др.).

Анализ структуры КИУМ показывает, что недоиспользование установленной мощности, связанное с неплановыми ремонтами и дефектами оборудования, т. е. простоями, непосредственно имеющими отношение к надежности и безопасности АЭС, составляет не более 3,7%, в то время как в первые годы эксплуатации ВВЭР-440 этот показатель составлял 8%. Это свидетельствует о том, что надежность основного оборудования за прошедший период существенно повысилась.

Поддержание достигнутого уровня надежности и его дальнейшее повышение обеспечиваются непрерывной работой в следующих основных направлениях:

- совершенствование конструкции оборудования;
- повышение качества оборудования при изготовлении и качества монтажа как основы эксплуатационной безопасности и снижения вероятности отказов и повреждений. На заводах-изготовителях для основного оборудования разработаны и реализуются программы контроля качества. Все оборудование, поступающее на АЭС, проходит предметный входной контроль. Совершенствуется технология процессов монтажа и сварки, методы и аппаратура контроля качества сварочных работ;

- контроль состояния оборудования в процессе эксплуатации с применением современных методов раннего обнаружения дефектов;

- совершенствование и повышение технического уровня эксплуатации;

- повышение эффективности надзора за соблюдением директивных и нормативно-технических документов в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации оборудования АЭС;

- повышение квалификации эксплуатирующего АЭС персонала и его систематические противаварийные тренировки по специально разработанным комплексным программам.

В целом опыт эксплуатации энергоблоков ВВЭР-440 позволяет сделать вывод о их достаточно высокой надежности и безопасности.