

5 лет со дня пуска БН-350

В июле 1978 г. исполнилось пять лет эксплуатации первого в мире опытно-промышленного быстрого реактора БН-350, снабжающего электроэнергией и пресной водой территориально-промышленный комплекс на п-ве Мангышлак. Лидирующее положение БН-350 сохраняет и сегодня: он устойчиво и надежно работает на самой большой мощности среди реакторов этого типа — 650 МВт (тепл.). Именно поэтому БН-350 стал в нашей стране головным опытно-промышленным реактором, т. е. мощной испытательной базой для исследования топливных и поглощающих элементов новой конструкции и из новых материалов, для отработки новых узлов и элементов натриевого оборудования, для испытания новых методов и приборов технологического контроля в целях создания в СССР быстрого реактора большой мощности.

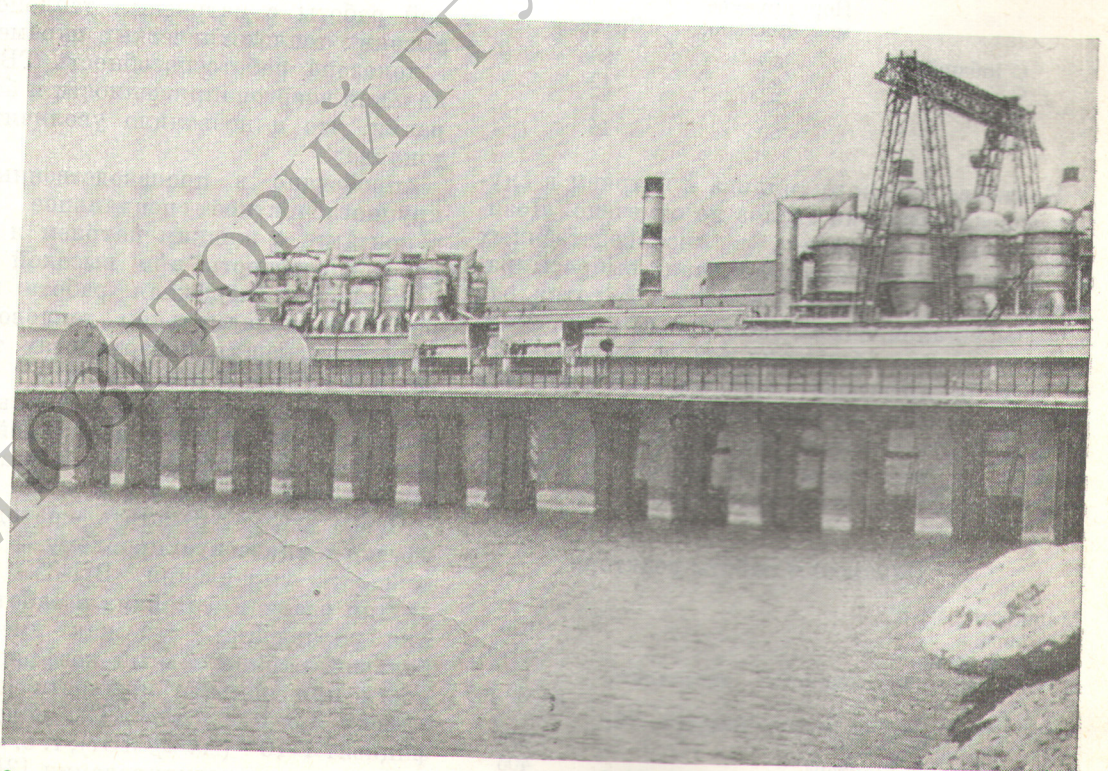
На реакторе трудится большой коллектив квалифицированных специалистов, которые обеспечивают текущие нужды нового вида производства, проводят глубокие исследования, связанные с работой реактора и его контуров в стационарном и переходном режимах, анализируют работу оборудования, технологических систем, обобщают опыт эксплуатации с соответствующими выводами и рекомендациями для организаций — разработчиков быстрых реакторов.

С марта 1976 г. реактор стабильно работает на проектном числе петель (пять), установленном максимальном уровне мощности и высоких теплотехнических параметрах. Пуск и успешная эксплуатация реактора являются результатом напряженного творческого труда производственного персонала под научным руководством ФЭИ совместно с другими проектными и конструкторскими организациями.

За время эксплуатации реактора в энергетическом режиме освоены уникальное и крупномасштабное оборудование, работающее в контакте с жидким натрием, и большое число технологических систем, связанных со спецификой использования жидкометаллических теплоносителей (приготовление и очистка натрия и сплава натрия — калий, эксплуатация газовых контуров с аргоном и азотом, автоматический контроль и поддержание температуры натриевых контуров, пожаротушение, контроль за протечками в парогенераторах, отмывка оборудования от натрия и др.), частично модернизировано механическое оборудование, основные технологические системы, СУЗ, системы защиты парогенераторов для повышения надежности и безопасности работы. За этот период проведены исследования по физике и динамике реактора, измерению нейтронно-физических характеристик активной зоны, экрана и внутреннего хранилища, формоизменению ТВС, определению возможного ресурса работы стержней СУЗ, динамике изменения активности натрия и газовой подушки реактора, изменению активности и мощности дозы γ -излучения в производственных помещениях и в санитарно-защитной зоне, совершенствованию физических и химических методов технологического контроля. Персонал реактора обучен на конкретном опыте пуска и освоения реактора (монтажные работы, пуск — наладка технологических систем, подготовка к пуску и пуск реактора и т. д.). Основным показателем устойчивой работы БН-350 в течение двух лет эксплуатации на номинальном уровне мощности является коэффициент использования рабочего времени, равный 0,88. Простой реактора определяется временем его останова на перегрузку: практически



Город Шевченко. Вид с моря



Опреснительные установки

доказано, что реактор может работать от перегрузки до перегрузки без остановов, т. е. без случайных и ложных срабатываний аварийной защиты, без выхода из строя оборудования, влияющего на его стабильную работу. В середине 1976 г. в активной зоне достигнуто среднее стационарное состояние по перегрузке, с 1977 г. начата планомерная выгрузка ТВС бокового экрана. Реактор выводился в среднее стационарное состояние по специальной программе. При этом за счет оптимизации переходного периода и учета реальных режимов работы повышена средняя глубина выгорания топлива.

За время работы реактора не было протечек натрия первого контура, не было случаев несрабатывания защиты парогенераторов при аварийных ситуациях, связанных с разгерметизацией испарителей, хотя общее число отключений парогенераторов при работе на мощности составило восемь, из них три были обусловлены попаданием больших количеств воды (до 800 кг). Парогенераторы показали полную безопасность. Кроме случаев их разгерметизации, аварий и крупных неполадок на БН-350 не было.

Содержание примесей в натрии составляет, 10^{-6} :

| | Нормируемое максимальное | Среднее |
|-----------|-----------------------------|---------|
| C (общий) | 40 | 30 |
| O | 30 | 12 |
| N | 30 | 7 |
| Cl | 50 | 14 |

Контакта ядерного топлива с натрием в случае разгерметизации твэлов не отмечено. Дозиметрическая обстановка в производственных помещениях удовлетворительная, выбросы радиоактивных газов в атмосферу в сотни раз меньше установленных санитарных норм. Максимальная доза облучения одного работающего за год не превышает 1,16 бэр. Загрязнения рабочих помещений практически нет. Основное оборудование работает без существенных замечаний. Ресурс работы ГЦН первого и второго контуров значительно увеличен.

Параметры работы реактора

| | |
|--|-----------|
| Мощность, МВт: | |
| тепловая | 650 |
| электрическая | до 125 |
| Количество производимого дистиллята, м ³ /сут | до 80 000 |
| Температура натрия первого контура, °С: | |
| на входе в реактор | 279 |
| на выходе из реактора | 406 |
| Количество вырабатываемого пара, т/ч | 950 |

| | |
|---|----------------------|
| Перегретый пар: | |
| давление, кгс/см ² | 40 |
| температура, °С | 386 |
| Максимальная глубина выгорания, кг осколков/т UO ₂ | 55 |
| Максимальная плотность потока нейтронов в центре активной зоны, нейтр./(см ² ·с) | $4,5 \cdot 10^{15}$ |
| Максимальный интегральный поток нейтронов в центре выгружаемых ТВС, нейтр./см ² | $12,2 \cdot 10^{23}$ |

В процессе пуска и освоения БН-350 в тесном сотрудничестве с исследовательскими и конструкторскими организациями были решены научно-технические проблемы, имеющие принципиальное значение как для обеспечения стабильной и безопасной работы на номинальной мощности, так и для дальнейшего развития перспективного направления ядерной энергетики — строительства и освоения мощных быстрых реакторов:

подтверждены основные инженерно-технические идеи и конструктивные решения, предусмотренные проектом;

отработаны условия безопасной эксплуатации промышленного быстрого реактора с большим количеством жидкого натрия [1, 2];

доказана возможность надежной и стабильной работы с натриевым теплоносителем при высоких теплотехнических параметрах;

доказана работоспособность ТВС при номинальной энергонапряженности и большом выгорании, что и позволило увеличить выгорание топлива;

опробовано в производственных условиях крупногабаритное специальное оборудование в контакте с жидким натрием и доказана его работоспособность при высокой температуре; обеспечена надежная работа парогенераторов при максимальном тепловом потоке на теплопередающих поверхностях трубок Фильда $(830-975) \cdot 10^3$ ккал/(м²·ч);

разработаны и внедрены новые устройства и алгоритмы действия аварийной защиты, повысившие надежность работы реактора и парогенераторов.

Особо следует отметить еще одну решенную научно-техническую проблему — простота и надежность управления. БН-350, как никакой другой реактор, устойчив в работе с точки зрения управления, так как имеет достаточно большой отрицательный коэффициент реактивности при подъеме мощности (температурный эффект $3,5 \cdot 10^{-5}$ ($\Delta k/k$)/°С), мощностной коэффициент $1 \cdot 10^{-5}$ ($\Delta k/k$)/МВт), т. е. может работать в режиме саморегулирования [3]. На реакторе

нет быстрых временных изменений реактивности и пространственных колебаний мощности, не искажаются поля энерговыделения, так как при работе реактора на номинальной мощности поглощающие стержни (стержни аварийной защиты, стержень-компенсатор температурных и мощностных эффектов реактивности, один стержень автоматического регулирования) выведены из активной зоны, а процесс регулируется вторым стержнем автоматического регулирования с оперативным запасом реактивности не более 0,05% $\Delta k/k$, что не вызывает заметного изменения нейтронного поля. Эксплуатационный персонал включается в управление реактором, как правило, не более одного раза в сутки для компенсации эффекта реактивности, связанного с выгоранием топлива. Такая операция проводится с использованием компенсирующих сборок с ядерным топливом.

Пуск реактора с нулевой мощности после перегрузки при строгом соблюдении правил ядерной безопасности занимает менее одного часа. И как показал опыт, реальное положение стержней СУЗ в критическом состоянии реактора всегда с хорошей точностью совпадает

с расчетным. При проведении перегрузочных работ на реакторе контролируется подкритическое состояние, в частности, количественно регистрируется изменение уровня подкритичности при замене 5—10 ТВС активной зоны, что составляет 0,1—0,2% $\Delta k/k$ (уровень подкритичности реактора во время перегрузки изменяется от -4 до -3% $\Delta k/k$).

БН-350 вырабатывает электроэнергию и опресняет морскую воду. Устойчивая эксплуатация реактора достигнута в комплексе с опреснительными установками, которые для своей работы используют пар от БН-350.

ЮРЧЕНКО Д. С., ПОМЕРАНЦЕВ Г. Б.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багдасаров Ю. Э. и др. «Атомная энергия», 1977, т. 43, с. 464.
2. Бакуменко О. Д. и др. Исследования защиты реактора БН-350. Доклад на пятой Междунар. конф. по защите реакторов. США, апрель 1977 г.
3. Орлов В. В. и др. «Атомная энергия», 1977, т. 42, вып. 1, с. 3.