

использования атомной энергии. Успешным пуском Первой АЭС поставленные цели были достигнуты.

Доказательство технической осуществимости этого процесса в промышленных масштабах, его безопасности для эксплуатационного персонала и окружающей среды, безусловно, представляло собой один из крупнейших качественных скачков в техническом прогрессе человечества. Открывались широкие горизонты мирного использования атомной энергии в народном хозяйстве. Масштабы такого использования должны были определяться уже не только технической осуществимостью, но и экономической целесообразностью производства электроэнергии на АЭС.

Такая целесообразность могла быть подтверждена лишь на основе длительного опыта работы. Необходимо было накопить фактические данные по ресурсам работы оборудования и материалов в условиях АЭС, по опыту обслуживания и ремонтов, по достижимым глубинам выгорания ядерного топлива. Требовалась экспериментальная проверка возможности перехода к более прогрессивным режимам эксплуатации, к конструированию реакторов и проектированию АЭС большой мощности.

В значительной степени ответ на эти вопросы должны были дать опыт эксплуатации Первой АЭС и те экспериментальные работы, проведение которых было на ней намечено.

§ 3. Опыт эксплуатации Первой АЭС

Пуском станции завершился большой этап работы по созданию Первой атомной электростанции. Она вступила в строй работающих энергетических установок. Предстояло освоить ее, научиться уверенно работать на ней. Сразу же после запуска турбогенератора началась напряженная работа по изучению станции.

Снимались динамические характеристики установки при различных сбросах и нарастании электрической нагрузки на генератор, анализировалось влияние параметров второго контура: давления пара перед турбиной, расхода и температуры питательной воды, подаваемой на парогенераторы, уровней в испарителях — на параметры первого контура, изменение которых влияет, в свою очередь, на поведение реактора. Уточнялись температурные эффекты реактивности реактора, в частности, был выявлен положительный температурный эффект отражателя, что позволило сделать вывод о целесообразности подъема температуры в отражателе в следующих проектах. На раз-

личных уровнях мощности промерялись эффекты отравления, доотравления и зашлаковывания реактора. Снимались кривые, характеризующие все эти нестационарные процессы. При аварийных сбросах стержней-регуляторов и при плановых медленных остановках анализировался ход остаточного тепловыделения в твэлах реактора. Изучались характеристики системы ручного и автоматического управления, анализировалось поведение реактора при отказах этих систем и возможности его саморегулирования. Шло освоение оборудования станции, персонал практически учился работать и управлять станцией. Без этого этапа познания нельзя было двигаться дальше.

А в это же время совместными усилиями конструкторов, заводов-изготовителей и эксплуатационников в процессе освоения проектной мощности АЭС шло устранение отдельных недостатков, выявившихся в начальный период эксплуатации. Так, существенным изменениям подверглась система охлаждения стержней регулирования. Переделки коснулись и каналов, в которых стержни-поглотители размещаются в реакторе, и оборудования, установленного в контуре охлаждения. Была реконструирована система, создающая и поддерживающая инертную газовую атмосферу в кладке реактора. Полностью были заменены измерительные устройства, установленные в индивидуальных трактах топливных каналов. Изменилась конструкция уплотнения топливного канала в ячейке реактора.

Вместе с тем уже первый этап работы станции показал, что основные конструктивные узлы, такие, как кладка реактора, топливные каналы с твэлами, парогенераторы, насосы, трубопроводы первого контура с установленной в нем арматурой, выбраны удачно и обеспечивают работу электростанции на расчетной мощности. Усилия всех коллективов, всех участников создания первой в мире АЭС успешно завершились.

Начались будни эксплуатации, но это были будни пионеров атомной энергетики, где каждая возникающая или поставленная, а затем разрешенная задача вносила определенный вклад в освоение энергии ядра.

Около двух лет основной работой коллектива Первой АЭС было обеспечение эксплуатационной надежности электростанции. Необходимо было добиться стабильности в работе, свести к минимуму возможности случайных аварий вследствие ошибочных действий персонала или мелких неисправностей в оборудовании. Это было время поисков наиболее оптимальных решений, обеспе-

чивающих безопасность эксплуатации атомной электростанции.

И в тот период, и впоследствии главным направлением было создание дублирующих резервных систем обеспечения работоспособности АЭС, пуск которых осуществляется автоматически. Так, была смонтирована специальная система охлаждения топливных каналов при остановке циркуляционных насосов первого контура. Она обеспечивала уверенный отвод мощности, выделяющейся в твэлах заглушенного реактора за счет остаточного тепловыделения. Значительным видоизменениям подверглись пусковые схемы и автоматика включения агрегатов «надежного» электропитания, была разработана и внедрена схема автоматического поддержания напряжения на аккумуляторной батарее, являющейся источником питания станции в случае ее полного обесточения. Эти изменения обеспечивали гарантированное расхолаживание реактора.

Значительной модернизации подверглась часть контрольно-измерительных приборов станции (многие из них разрабатывались специально для Первой АЭС). Вполне естественно, что уже проведение первых работ непосредственно на реакторе заставило творчески переосмыслить конструкции запроектированных инструментов и приспособлений, внести много нового в них, а также создать заново большое количество типов специального инструмента. Позднее этот опыт был передан конструкторам Белооярской и Билибинской станций, реактор и топливные каналы которых близки по конструкции реактору и каналам Первой АЭС.

Значительный интерес представляют разработанные эксплуатационным персоналом способы ввода в работу резервных парогенераторов вместо одного из работающих и смены циркуляционных насосов при работающем реакторе. В технологические схемы первого и второго контуров были внесены изменения, которые обеспечили подъем давления в резервных агрегатах, их прогрев до рабочих температур, включение в работу, а также вывод из работы и расхолаживание отключенного оборудования, и все это без остановки и даже без снижения мощности станции.

Эти, а также и многие другие переделки, усовершенствования, рационализаторские предложения и совершенно новые разработки способствовали обеспечению стабильного режима работы электростанции.

Станции такой небольшой мощности, как Первая АЭС, невозможно конкурировать с традицион-

ными источниками электроснабжения, и об этом можно было бы не говорить вообще, если бы некоторые идеи, реализованные на ней и обеспечивающие снижение себестоимости, не были взяты затем на вооружение всеми атомными электростанциями. Например, метод частичных перегрузок реактора позволил почти вдвое увеличить среднее выгорание топлива и тем самым резко снизить топливную составляющую в себестоимости отпускаемой электроэнергии.

Суть метода состоит в том, что вместо замены сразу всех топливных каналов активной зоны (а именно так предусматривалось в проекте) заменяется только часть каналов. При этом слабо выгоревшие каналы из крайних рядов кладки переставляются в центр, где плотность потока нейтронов имеет максимальное значение. Свежие каналы устанавливаются на периферию зоны. Такая установка обеспечивает более равномерное распределение плотности нейтронного потока по радиусу реактора и более глубокое выгорание топлива. И хотя время работы между перегрузками при этом уменьшается, выигрыш в экономичности настолько велик, что этот метод в тех или иных модификациях применяется повсеместно при разработках новых реакторов, а в своем законченном исполнении требует разработки оборудования для перегрузки реактора на ходу.

Повышению экономичности работы станции также способствовало внедрение новых конструктивных стержней системы управления и защиты, не требующих специального охлаждения. Проведенные в тесном сотрудничестве с конструкторами исследования закончились разработкой стержней из бористой стали, которые с успехом многие годы эксплуатируются в реакторах. Применение жаропрочных стержней позволило отказаться от стальных труб каналов, в которых устанавливались стержни регулирования в реактор, и разместить стержни непосредственно в ячейках графитовой кладки. Герметизация кладки реактора при этом была обеспечена специальной системой приводов с применением гидрозатворов.

При новом размещении стержней системы управления и защиты уменьшилось количество стали в реакторе, что привело к увеличению времени его работы между перегрузками. Приобретенный опыт эксплуатации позволил уточнить и окончательно определить параметры и нормы основных водно-химических режимов. Так, для первого контура наиболее оптимальным оказался бескоррекционный водно-химический режим, при котором ни на одном из тепловыделяющих эле-



ментов не было обнаружено значительных слоев накипи. А во втором контуре был введен режим фосфатирования котловой воды, так как уже в первые месяцы работы трубки испарителей покрылись толстым слоем отложений. Тогда же на основании осмотров состояния графитовой кладки были выбраны нормы содержания примесей в инертном реакторном газе.

Развитие экспериментальной базы на Первой АЭС. В проект реактора Первой АЭС были включены тепловая колонна, нейтронные пучки, каналы для облучения материалов, а в проект здания было заложено несколько резервных защищенных боксов, которые предназначались для научно-исследовательских работ.

Первыми экспериментами коллектива атомной электростанции были попытки повысить коэффициент полезного действия станции. Это можно было сделать и в рамках освоенной конструкции, если поднять температуру воды на выходе из реактора.

Для этого достаточно было, чтобы вода в каналах реактора начинала кипеть, и на выходе из твэлов была паро-водяная смесь. Если при этом удалось бы обеспечить надежное охлаждение каналов и устойчивую работу реактора, то температуру можно было бы поднять до 309°C при давлении 100 атм. , а за счет лучшей теплопередачи — еще и удельное тепловыделение активной зоны.

Первая проблема — надежное охлаждение твэлов — была решена после предварительных исследований на обогреваемых трубках теплового стенда.

Для улучшения гидродинамических характеристик тракта каналов она потребовала установки дроссельных шайб на входе в твэлы. Вторую задачу можно было решить только при непосредственном эксперименте на реакторе.

В сентябре 1956 г. в реакторе был установлен опытный канал для вывода его на режим кипения. Канал подключили к контуру по специально разработанной схеме, оснастили термопарами, измеряющими температуру в различных точках твэла, канала и контура, датчиками расхода и давления.

На выходе из канала был установлен сепаратор для разделения пара и воды. Активность пара измерялась детекторами.

Эксперименты с кипящим каналом показали, что при паросодержании до 20% канал работает устойчиво и его живучесть не ухудшается, что колебаний мощности реактора при замене части воды паром в активной зоне не возникает и поте-

ря в запасе топлива при этом невелика, а активность пара на выходе из сепаратора позволяет подавать его непосредственно на турбину.

Эти выводы оказались чрезвычайно важными, так как они подтверждали правильность выбранных идей в осуществлении проекта реактора, в котором пар после сепаратора можно было бы еще раз направить в топливные каналы для перегрева его до высоких температур.

Работам в этом направлении, обеспечившим в широком объеме проведение реакторных испытаний твэлов, изучение стационарных и переходных режимов, отработку методик пуска и остановки, изучение химии воды и еще многих и многих вопросов, возникавших при проектировании и освоении двух первых блоков Белоярской атомной электростанции им. И. В. Курчатова, была посвящена значительная доля усилий коллектива Первой АЭС. Начиная с 1957 г. реактор все больше стал использоваться для исследовательских работ.

Оценивая многолетний опыт эксплуатации реакторной установки Первой АЭС, прежде всего следует отметить, что сама конструкция реактора позволила развернуть экспериментальные работы. Канальный реактор с индивидуальным подводом теплоносителя к каждой ячейке дает возможность организовать испытания практически в любой зоне кладки. Это обеспечивает одновременное испытание многих каналов в заданном режиме при одной и той же мощности реактора, так как свобода перемещения опытного канала по кладке в пределах коэффициента неравномерности нейтронного потока позволяет варьировать его мощность. Достаточно большие размеры активной зоны дают возможность испытывать большие по размерам образцы твэлов и материалов. Размещение экспериментального канала в графитовой кладке, имеющей высокую температуру, позволяет упростить его конструкцию, так как в подавляющем большинстве случаев отпадает необходимость в теплоизоляции рабочей зоны канала от низкотемпературного теплоносителя.

Изучение поведения материалов при температурах от 500 до 800°C можно проводить, размещая образцы непосредственно в кладке, без применения нагревательных или теплоизолирующих устройств. Регулировка температуры в этом случае обеспечивается перемещением образца по высоте или радиусу активной зоны.

Испытание новых композиций делящихся материалов при параметрах, близких к параметрам Первой АЭС, а также массовые испытания