

## Семинары, совещания, конференции

### Советско-французский семинар по быстрым реакторам

В июне 1976 г. во Франции состоялся советско-французский семинар «Концепция общих компоновок быстрых реакторов, конструкция основного оборудования и вспомогательных систем». Каждая сторона представила по десять докладов и сообщений. Доклады французских специалистов касались оборудования сооружаемого реактора «Супер-Феникс» (систем перегрузки топлива, механизмов СУЗ, теплообменников,

насосов, систем очистки натрия). Рассматривались методы расчета узлов реактора на прочность, а также сварки труб с трубными досками для теплообменников и парогенераторов. Выказывались соображения по созданию быстрого реактора, следующего за «Супер-Фениксом».

Доклады советских специалистов посвящались в основном оборудованию реактора БН-600, анализу компоновочных решений БН-350 и БН-600 и быстрого реактора будущего.

Во французской программе предусматривается разработка уже в ближайшее время экономически конкурентноспособного по сравнению с тепловыми реакторами и электростанциями на органическом топливе реактора-размножителя.

Успешный пуск «Феникса» мощностью 250 МВт (эл.) явился стимулом к сооружению более мощного реактора «Супер-Феникс» на 1200 МВт (эл.), проектирование которого в настоящее время полностью завершено и принято решение о его строительстве. Однако итоговые экономические показатели (по результатам конструкторских, проектных и исследовательских работ) АЭС с таким реактором, как отметили разработчики, пока несколько уступают АЭС с водо-водяными реакторами. Последнее послужило стимулом для улучшения характеристик «Супер-Феникса» с целью создания на его основе реактора значительно большей мощности — «Супер-Феникса-2» (1800—1900 МВт), который экономически не будет уступать другим установкам, производящим электрическую энергию. Сооружение «Супер-Феникса-2» планируется на р. Сона (5—6 блоков) без участия иностранного капитала, но с привлечением к этому фирм ФРГ и Италии.

Особенность общей концепции создания коммерческих быстрых реакторов — использование интегральной компоновки. Французские специалисты не отрицают, что ни одна из двух рассматриваемых в настоящее время компоновок (интегральная, петлевая) не имеет существенных преимуществ. Решающим в выборе является опыт проектирования, пуска, наладки и эксплуатации демонстрационных реакторов. Такой опыт во Франции накоплен в результате успешной работы «Феникса» с интегральной компоновкой. Однако и в рамках подобной конструкции имеется большое число альтернативных решений. По важнейшим из них для «Супер-Феникса» (см. рисунок) приняты следующие.

Подвеска бака — верхняя, бак приварен к мощной несущей плите, установка теплообменников неподвижная на подвижной опоре насосов на несущей плите. Внутриреакторного хранилища выгоревших теплоделяющих сборок (ТВС) нет. Предусмотрена прямая

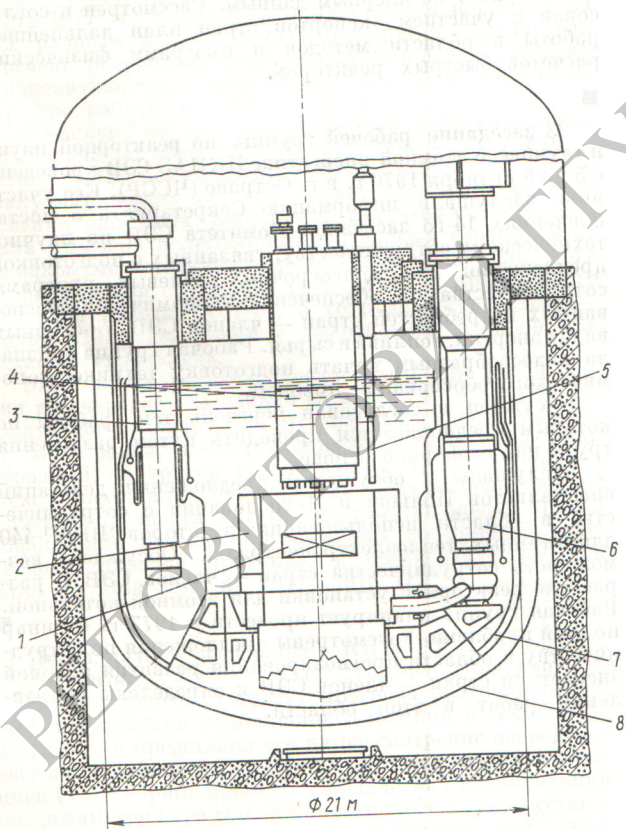


Схема компоновки узлов в реакторе «Супер-Феникс»:

- 1 — активная зона; 2 — нейтронная защита; 3 — промежуточный теплообменник; 4 — центральная колонна; 5 — механизм перегрузки; 6 — насос первого контура; 7 — корпус; 8 — защитный кожух

выгрузка ТВС с остаточным тепловыделением 20 кВт из активной зоны во внешнее хранилище (барaban) в пенале, заполненном натрием. Транспортируются на перерабатывающий завод они также в контейнерах с натрием (тепловыделение каждой ТВС до 10 кВт).

Графит полностью исключен из нейтронной защиты и заменен на сталь. Объясняется это, во-первых, значительным распуханием облученного графита в случае его контакта с натрием (при разгерметизации оболочки, куда заключен графитовый стержень), что ведет к разрыву оболочки, и, во-вторых, увеличением расстояния между активной зоной и теплообменниками, благодаря чему слой натрия в сочетании со сталью является эффективной защитой.

В реакторе нет быстродействующих автоматических устройств, влияющих на величину расхода. Время срабатывания шиберов, закрывающих расход через насос (от обратных клапанов отказались) и теплообменник, составляет 30—40 с, последние работают от дистанционного ручного привода только при остановке реактора.

Предусмотрено минимальное число различного рода уставок и блокировок, осуществляющих автоматический переход реактора с одного режима на другой. При повреждении любого из насосов первого и второго контуров останавливается реактор, отсекается соответствующий насос или теплообменник, затем реактор выводится на соответствующий уровень мощности. Считают, что ложные срабатывания из-за большого количества блокировок более опасны, чем остановки в результате неисправности основного оборудования.

Нейтронная защита в верхней части топливной сборки признается рациональной с точки зрения сокращения защиты, расположенной за боковым экраном. Однако французские специалисты работают над созданием пакета с разъемной верхней защитой с тем, чтобы имелась возможность ее многократного использования.

Применяется гидравлическая схема с общим коллектором на выходе из теплообменников — на входе в насосы. В такой схеме теплообменники и насосы работают независимо, выключение из работы одного из насосов первого контура не влечет за собой остановки двух соответствующих промтеплообменников, насоса второго контура и парогенератора (как это имеет место в БН-600).

За счет выбора рациональной схемы охлаждения бака реактора и направленной конвекции натрия в холодной и горячей зонах бака обеспечиваются сравнительно невысокие перепады температур в обечайке, разделяющей горячую и холодную зоны, благодаря чему создаются приемлемые условия ее работы. Практически полностью исключаются вспомогательные

радиоактивные системы вне реактора в результате размещения всех узлов первого контура и даже холодных ловушек в баке. Применяется внутрибаковая тепловая изоляция, которая набирается из большого числа слоев тонкой стальной сетки и располагается на верхней несущей плите и стенках корпуса в среде инертного газа.

Давление аргона в газовой полости реактора очень низкое, 0,05 кгс/см<sup>2</sup> (в БН-600 0,5 кгс/см<sup>2</sup>).

С учетом распухания конструкционных материалов зазор между пакетами увеличен до 7 мм (размер шестигранника под ключ 180 мм). При перегрузке искривленного пакета его верхняя часть может отклониться от вертикали в сторону на 61 мм. Температура натрия на выходе из него контролируется термомпарами (три термомпары над каждым пакетом). Термомпары в процессе эксплуатации реактора можно заменять.

Дальнейшее уменьшение стоимости АЭС связывается со снижением металлоемкости узлов. Этим в какой-то мере объясняется переход на корпусную конструкцию парогенератора. Что касается реактора, то здесь предпринимаются попытки уменьшить размеры корпуса (или существенно увеличить мощность в том же корпусе) за счет рациональной компоновки внутрибаковых элементов, снижения их количества (укрупнение), совмещения ряда элементов (совмещенный блок насос — теплообменник), изменения характеристик, определяющих габариты (частота вращения насосов, промтеплообменников), и т. п.

Советская делегация посетила реакторы «Рапсодия» и «Феникс». На смешанном окисном топливе в шести твэлах «Рапсодии» достигнуто выгорание 18% (максимальная температура оболочки 700°C, тепловые нагрузки 430 Вт/см). Малая поворотная пробка будет реконструирована и установлена новая термометрическая решетка, где разместят по две термомпары для контроля температуры натрия на выходе из каждой ТВС. АЭС с реактором «Феникс» по состоянию на 18 июня 1976 г. выработала 3,2 млрд. кВт·ч электроэнергии при себестоимости 3,5 сантима/кВт·ч. Во время посещения реактора проводилась перегрузка топлива и инспекция дроссельных узлов на одном из парогенераторов.

Делегации были также показаны две группы экспериментальных стендов в Кадараше и в Гранд-Кевий (под Руаном).

Семинар позволил специалистам обменяться научно-технической информацией, сопоставить инженерные решения, принимаемые в нашей стране и во Франции при разработке быстрых реакторов, что по общему мнению специалистов оказалось весьма полезным.

КИРИЛЛОВ П. Л.

## Советско-американский симпозиум по реакторам синтез — деление

С 13 по 16 июля 1976 г. в Ливерморской лаборатории им. Лоуренса (США, Калифорния) проходил советско-американский симпозиум по системам синтез — деление. На нем было представлено 23 доклада, посвященных физике, технологии и экономике гибридных термоядерных реакторов. Проводились отдельные дискуссии об экономике гибридных систем, о конструктивных решениях различных типов реакторов, проектировании

бланкета реактора, безопасности его работы и о защите окружающей среды. Американской стороной были представлены планы финансирования разработок проектов гибридных реакторов в США как государственными организациями (ERDA), так и частными фирмами.

Гибридный термоядерный реактор представляет систему, в которой 14-мэвные нейтроны, возникающие при синтезе ядер дейтерия и трития, используются для