

A.S.Dukhovensky, O.G.Gerasimchuk, A.A.Proshkin, A.A.Shestopalov.

## **VVER-type reactor core modernization to increase the reactor safety.**

А.С.Духовенский, О.Г.Герасимчук, А.А.Прошкин, А.А.Шестопалов.

### **Модернизация активной зоны ВВЭР с целью повышения безопасности.**



**RU9604481**

On the basis of the fuel rods analysis and experimental data authors formulate some recommendations with the purpose to increase the safety of the VVER reactor-type and fuel rods reliability. One of the most effective method to increase the NPP's performance in the terms of reactor safety and to expand the maneuver range, in framework of available designs of the VVER reactor core is the decrease of the maximum thermal load value of the fuel elements. It can be carried out by various ways of the reactor core improvement, in particular that would be achieved by the increase of number of fuel elements in fuel assembly by the reduction of fuel rods' diameter. In particular for VVER-1000 reactor-type the reduction of the fuel rods diameter from 9,1 to 6-7 mm leads to decrease of the fuel rods power rate in 1,5-2 times, at the same time keeping the existing power of fuel assemblies and equipment of the I and II circuits.

Проблема повышения уровня безопасности АЭС с ВВЭР весьма разносторонняя и комплексная. Вместе с тем, в настоящее время она решается (для действующих энергоблоков), в основном, путем увеличения и повышения надежности защитных систем, обеспечивающих безопасность энергоблоков, оптимизацией режимов эксплуатации, совершенствованием отдельных узлов и регламента эксплуатации и т.д. При этом не затрагиваются вопросы по существенному улучшению охлаждения в аварийных режимах оболочек твэлов-первого барьера на пути распространения радиоактивных веществ - за счет соответствующих изменений в их конструкции. Такая тенденция обусловлена, в определенной степени, многолетним успешным опытом эксплуатации топлива. В то же время поиск и выбор оптимальных конструкций твэлов может существенным образом повысить уровень безопасности, надежности, экономичности АЭС.

Достижимые при авариях с потерей теплоносителя температуры при использовании штатных ТВС, в значительной мере зависят от исходных тепловых

линейных нагрузок на твэл. Так, при большой течи 1-го контура реактора ВВЭР-1000, твэлы с максимальной тепловой нагрузкой 448 Вт/см. к пятой секунде имеют расчетную температуру оболочки около 1100 °С, а в этих же условиях оболочки твэлов со средней нагрузкой 166 Вт/см разогреваются до 550-600 °С. Имеющиеся экспериментальные и расчетные исследования показывают, что с точки зрения предотвращения возможности разгерметизации твэлов применительно к авариям с потерей теплоносителя, предельные температуры оболочек не должны превышать уровень 700 - 750 °С. Таким образом, если бы удалось в активной зоне снизить максимальные нагрузки до уровня средних, то возможный разогрев оболочек не превысил бы вышеупомянутого предельного уровня температур. Это принципиально решает проблему возможной разгерметизации твэлов на начальном этапе аварии с потерей теплоносителя. Дальнейшее снижение исходных тепловых нагрузок на твэлы позволило бы пересмотреть и необходимость, предусмотренных проектом активных систем аварийного охлаждения или их значительного упрощения. Другим принципиальным моментом снижения тепловых нагрузок на твэлы является возможность расширения диапазона маневрирования мощностью, а также повышение работоспособности твэлов в нормальных условиях эксплуатации. Часть этого эффекта может быть использована для совершенствования защиты корпуса реактора и продления службы АЭС.

Понижение удельных тепловых нагрузок на твэлы может достигаться двумя путями - или снижением тепловой мощности реактора (что, естественно, экономически невыгодно) или увеличением общей длины твэлов в имеющемся объеме активной зоны. Исходя из необходимости сохранения выбранного по физике выгорания топлива водо - уранового отношения решетки, можно заключить, что для размещения в заданном объеме большей суммарной длины твэлов следует уменьшить их диаметр.

Были рассмотрены различные варианты конструкции твэл и ТВС применительно к реакторам ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, позволяющих значительно понизить тепловые нагрузки на твэлы путем использования уменьшенных диаметров твэлов. При этом в рамках традиционной конструкции твэл при переходе к меньшим диаметрам твэл сохраняется геометрическое подобие, т.е. отношение толщины оболочки к диаметру, зазора топливо-оболочка к внутреннему диаметру оболочки и отношение внутреннего диаметра топлива к наружному остаются такими же, как и в существующих конструкциях твэлов реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Как показали предварительные расчеты при переходе к диаметрам твэл 6,0-7,0 мм. путем вариации шага решетки возможно сохранить практически те же характеристики (отклонения не более 10%) по загрузке топлива в реактор и водо-урановое отношение, что позволит обеспечить нейтронно-физические характеристики принятые для действующих реакторов. При этом

относительное увеличение гидравлического сопротивления на участке активной зоны не превысит 15%, что составит менее 0,3 атм. Переход к таким диаметрам твэл дает возможность уменьшить тепловые нагрузки на твэл в 1,5 - 2 раза.

Как было отмечено выше, это улучшает процесс протекания аварии с потерей теплоносителя, снижая температуры оболочек до уровня пороговых значений и тем самым принципиально увеличивает безопасность АЭС.

Проведенные расчетные исследования показали, что снижение тепловых нагрузок в реакторе ВВЭР-1000 в 1,5-2 раза приводит к увеличению работоспособности твэлов в нормальных условиях эксплуатации, а диапазон надежной работы в маневренных режимах существенно возрастает и появляются все основания для достижения выгорания топлива 55-60 Мвт сут/кг. Одним из принципиальных моментов предлагаемого решения является то, что снижение тепловых нагрузок на твэл, осуществляемое путем перехода с диаметра твэлов 9,1 мм к 6-7 мм, можно произвести при сохранении размеров и мощности существующих ТВС, конструкции активной зоны и оборудования I и II контуров реактора.