

УДК 621.039.76

Методы повышения эффективности продувки парогенераторов с ВВЭР

Лапьян Я. Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЧИЖ В.А.

Наиболее уязвимым местом на АЭС с ВВЭР считается парогенератор. Надежность работы ПГ зависит от уровня организации водно-химического режима (ВХР) второго контура. В этой связи весьма актуальной остается проблема эффективного удаления из ПГ нежелательных примесей способом продувки. Главным критерием эффективности работы систем и режимов продувки ПГ является такое регулирование их внутрикотловых процессов, которое обеспечит требуемое качество котловой воды и насыщенного пара. Основные недостатки проектных решений внутрикорпусных устройств (ВКУ) ПГ заключались в неоптимальной раздаче питательной воды на стороне горячего коллектора и неудовлетворительном выборе координат вывода продувки.

В «холодном» торце ПГ конструктивно организован солевой отсек. В солевом отсеке, ввиду особенностей распределения потоков котловой воды, максимально сконцентрированы раствор лёгких солей и посторонних примесей, содержащиеся в питательной воде. Для удаления этих примесей реализована постоянная продувка солевых отсеков.

Для удаления растворов тяжёлых солей, шлама и коррозионных осадков с бортов ПГ выполнены по два трубопровода на каждом ПГ. Кроме того, периодически, производится периодическая продувка котловой воды каждого ПГ.

Конденсат из расширителей продувки охлаждается в регенеративном теплообменнике, далее в водоохладителе продувки и охладителей дренажа до температуры 30-59 °С и далее поступает на фильтры установки СВО-5 спецкорпуса. Требуемый уровень продувочной воды в расширителях поддерживается регулирующим клапаном, установленным на линии продувочной воды после водоохладителя продувки. Очищенная вода продувки после установки СВО-5 насосами спецкорпуса возвращается в РО и, подогреваясь, поступает в деаэраторы или в бак нижних точек машзала.

После модернизации со стороны горячего торца ПГ были установлены дополнительные раздающие коллекторы питательной воды, а часть коллекторов со стороны холодного торца была ликвидирована. Вывод непрерывной продувки был организован из холодного торца ПГ, а все продувочные штуцера на нижней образующей корпуса ПГ были объединены в одну линию периодической продувки. В результате в водяном объеме было создано направленное движение котловой воды от горячего торца ПГ к холодному. Над погруженным дырчатым листом (ПДЛ) и под ним была установлена поперечная перегородка, ограничивающая переток относительно чистой воды в холодный торец к месту вывода непрерывной продувки.

Таким образом в горизонтальном ПГ АЭС был организован «солевой» отсек и осуществлен принцип ступенчатого испарения, который ранее применялся в тепловой энергетике. В результате такой модернизации солисодержание котловой воды в зоне максимальной тепловой нагрузки (горячий торец) снизилось более чем в 40 раз, а на стороне холодного- в 2-2,5 раза по сравнению с проектным вариантом ВКУ и системы продувки.

На сегодняшний день существенной проблемой в понимании происходящих в ПГ процессов является задача распределения по его объему растворенных и нерастворенных примесей (шлама). Однако, остаются недостаточно изученными вопросы поведения нерастворенных примесей в переходных режимах эксплуатации и при останове энергоблока, отсутствуют общепринятые методы оценки динамики накопления нерастворенных примесей в ПГ.

С целью систематизации и развития существовавших методик решения актуальной проблемы повышения эффективности продувки парогенераторов АЭС с ВВЭР была предложена общая методология комплексного теоретического, конструкторского, технологического и натурного экспериментального обоснования эффективных методов выведения примесей из парогенераторов, схематично приведенная на рис 1.

В качестве метода повышения эффективности продувки путём модернизации ВКУ был применён ряд новых технических решений по размещению коллекторов, раздающих питательную воду, вертикальных перегородок и перекрытию зазоров рис.2. Это привело к существенному улучшению локальной гидродинамики водяного объёма ПГ и к ещё большему смещению максимума относительной концентрации примесей к штуцеру вывода непрерывной продувки.



Рисунок 1 – Общая методологическая схема повышения эффективности продувки парогенераторов АЭС в ВВЭР

Дальнейшее повышение эффективности продувки в соответствии с принятой общей методологии достигалось путём усовершенствование внешней технологической системы продувки:

1. На всех линиях продувки установлены запатентованные запорно-регулирующие клапаны.
2. Все линии периодической продувки разделены отечной арматурой, что позволяет выполнять периодическую продувку отдельно от нижних точек ПГ.
3. С целью повышения точности измерений расхода продувочной воды на линиях непрерывной и периодической продувки установлены запатентованные расходомеры с гидродинамическим подвесом шарового ротора.

Наиболее важными являются следующие результаты испытаний:

1. Расход непрерывной продувки из солевого отсека при номинальной мощности блока и при наличии присосов сырой воды из конденсата турбины должен быть не менее 7,5 т/ч. При меньших расходах ухудшаются практически все показатели качества котловой воды;

2. Методом изменения расхода непрерывной продувки из солевого отсека схема позволяет корректировать ВХР и при пуске энергоблока, и при изменении его нагрузки.

3. Использование ЗРК на линия прогрева периодической продувки позволяет уменьшить расход продувочной воды и перераспределить его в сторону «более полезной» постоянной продувки.

Распределение растворенных и нерастворенных примесей в водяном объеме ПГ является важным фактором, определяющим его эксплуатационную надежность. Знание закономерностей этого явления поможет более осознанно подойти к решению проблем повышения эффективности удаления примесей с продувкой и повышение эксплуатационной надежности ПГ.

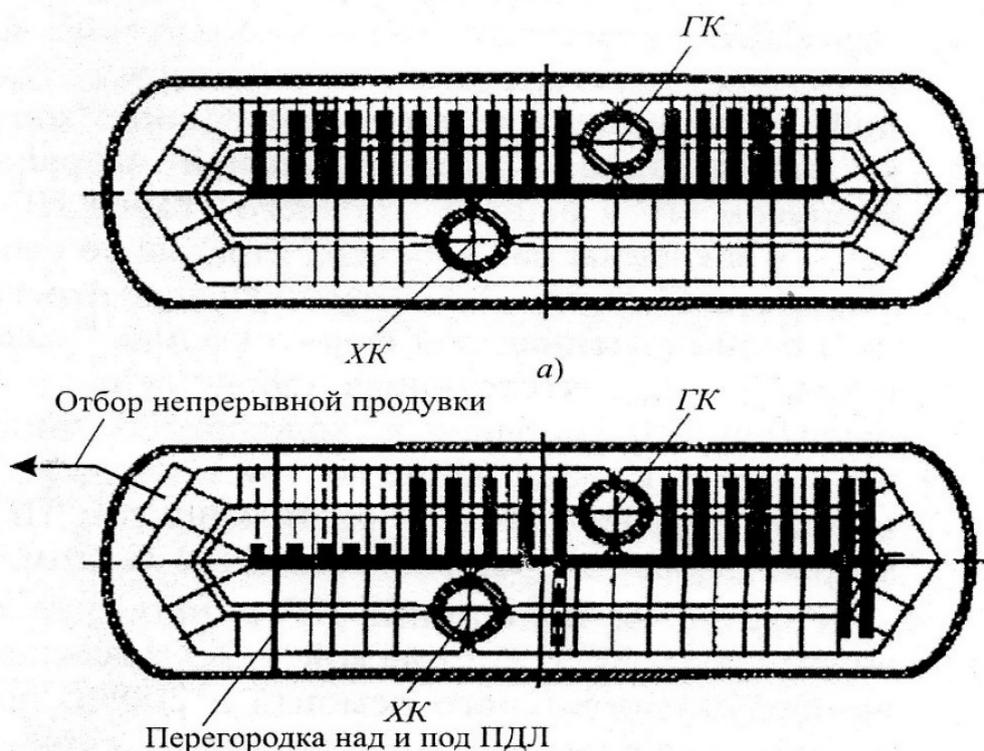


Рисунок 2 – Схема реконструкции водопитания и продувки ПГВ-1000:
ГК, ХК – «горячий» и «холодный» коллектор

Особым направлением работ по повышению эффективности продувки ПГ является разработка и натурное экспериментальное обоснование эксплуатационного процесса выведения нерастворённых примесей из ПГ АЭС с ВВЭР. Актуальность этой работы обоснована необходимостью снижения качества отложений на теплообменных поверхностях ПГ, отрицательно влияющих на надёжность и ресурс парогенератора. При повышении тепловой мощности реакторной установки и работе на номинальной мощности частички шлама размером, меньше d_n , ведут себя как растворённая смесь, и максимум их концентрации находится на стенке теплообменной поверхности. Чем d больше, тем максимум распределения нерастворимых примесей смещается ближе к границе вязкого подслоя и турбулентного пограничного слоя.

Установлено, что при диапазоне измерения анализатора 5-50 мкм подавляющее количество частиц шлама имеет размеры от 5 до 25 мкм. Следовательно, частицы шлама расположены как непосредственно в вязком подслое вблизи теплообменной поверхности, так и на границе вязкого подслоя и турбулентного пограничного слоя при повышении мощности и работе РУ на номинальной мощности.

Процесс осаждения шлама начинается практически через несколько секунд после останова блока, и шлам осаждается в определенной зоне ПГ, в зоне напротив «холодного» коллектора. Следовательно, необходимо начинать вывод шлама из зоны его осаждения уже через несколько секунд и продолжать вывод шлама пока не осядут последние частицы.

Тем самым можно добиться ощутимого повышения эффективности продувки ПГ в части вывода нерастворённых примесей (шлама) из парогенератора при разгрузке или останове блока и сохранить теплопередающую поверхность в целостности.

Была также разработана новая эксплуатационная установка выведения нерастворённых примесей (шлама) из ПГ, по которой выведение шлама производит в процессе останова энергоблока при снижении тепловой мощности реактора. При этом продувку проводят из ПГ отключенной петли с максимально возможным расходом из зоны скопления шлама в нижней части ПГ, используя штуцер, расположенный наиболее близко к этой зоне.

Литература

Будько, И. О. Методы повышения эффективности продувки парогенераторов АЭС с ВВЭР/ И. О. Будько // Электрические станции. – 2016.-№3. – С. 11-18.