

УДК 621.181.12.001

И.Л.Петкевич (5 курс, каф. РиПГС), А.В.Судаков, д.т.н., проф.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕПАРАТОРА-ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ РБМК-1000

Низкие начальные параметры пара турбин АЭС с водоохлаждаемыми реакторами и пока недостаточно эффективная внутритурбинная сепарация влаги не позволяют обеспечить за последней ступенью ЦНД допустимую степень влажности пара (12...15 %). Поэтому практически все турбины АЭС, работающие с линии насыщения, имеют внешние сепараторы, которые часто совмещаются с пароперегревателями. Выносные сепараторы-пароперегреватели (СПП) — самостоятельные аппараты, которые располагаются вне корпуса турбины (между цилиндрами). Обычно на одну турбину симметрично устанавливается два или четыре СПП.

В СПП пар осушается до 1 % влажности в жалюзийном сепараторе и перегревается в двухступенчатом перегревателе. Благодаря промежуточному перегреву пара обеспечивается допустимая влажность пара на последней ступени ЦНД, уменьшается эрозионный износ лопаток и повышается экономичность агрегата. В качестве греющего пара в первой ступени перегревателя используется пар первого отбора турбины, а во второй ступени — острый пар.

В данной работе представлены результаты обследования сепараторов-пароперегревателей, используемых на АЭС с реактором РБМК-1000, и предложены рекомендации по обеспечению надежности эксплуатации СПП.

Опыт эксплуатации сепараторов-пароперегревателей на действующих АЭС показал, что в некоторых случаях имел место пронос влаги через сепаратор, о котором свидетельствовали как визуальные наблюдения через гляделки, так и обнаруженные (при осмотрах) отложения на разводящих трубах греющего пара. В этих же зонах, как правило, наблюдались усталостные разрушения труб. Предполагалось, что одной из причин разрушения являются температурные пульсации, вызываемые периодическим попаданием влаги на разводящие трубы.

Анализ температурного режима труб подвода греющего пара подтвердил, что может быть определен диапазон влажности, в котором возможно существование на трубке режима охлаждения, когда часть трубки покрыта пленкой неотсепарированной влаги с перемещающимися границами. Этот режим будет сопровождаться пульсациями температуры поверхности, которые могут вызвать преждевременное разрушение труб. Такой режим более опасен, чем случайные проносы сепарата, так как если он существует, то пульсации температур будут непрерывно воздействовать на металл труб разводки и поверхности нагрева СПП.

В литературе опубликовано достаточно большое количество теоретических и экспериментальных работ, посвященных изучению закономерностей теплообмена при охлаждении поверхности нагрева двухфазным потоком, которые условно можно разделить на следующие направления:

- изучение механизма теплообмена при охлаждении высокотемпературной поверхности одиночными каплями;
- испарение распыленных жидкостей с горячих поверхностей;
- охлаждение высокотемпературной стенки жидкими струями и каплями;
- охлаждение горячих поверхностей газожидкостным и парожидкостным потоками.

Проанализировав опубликованный в литературе материал, можно сформулировать следующие основные предположения о температурном режиме труб сепараторов-пароперегревателей.

Температурный режим поверхности нагрева так же, как и труб разводки греющего пара определяется, в основном, влажностью пара за сепаратором.

В областях малых влажностей (менее 0,1...0,2 %) будет наблюдаться разверка температур труб, характерная для охлаждения однофазным потоком. Теплоотдача будет несколько выше, чем при однофазном потоке. Выпадающие на поверхность капли не вызовут значительных пульсаций температур.

При влажности около 25 % вся поверхность трубы будет покрыта пленкой жидкости с теплоотдачей, соответствующей пузырьковому кипению.

Промежуточные значения влажности вызывают возникновение режима, когда часть трубы покрыта пленкой жидкости, а часть — сухая. Границы пленки имеют вид перемещающихся жгутов или мокрых пятен. Наблюдается значительная разверка температур по периметру и пульсации температуры стенки.

На оребренных трубах пленка жидкости будет отесняться на ребра.

В результате предложены следующие технические решения по увеличению надежности работы СПП:

1. Возможные конструктивные изменения:

- перенос входного патрубка влажного пара из верхней части СПП в нижнюю с соответствующими изменениями компоновки внутрикорпусных устройств;
- перенос отбора пара на ПНД-4 и бойлер № 2 с крышки СПП в начало ресивера ЦВД;
- установка пленочных сепараторов;
- либо более радикальные изменения — производить сепарацию пара и его перегрев в отдельных корпусах.

2. Увеличение равномерности раздачи пара по сепарационным блокам путем организации движения во входной камере СПП.

3. Замена материала (08X18H9T) труб разводки греющего пара на более стойкий к усталостным разрушениям от температурных пульсаций материал из титанового сплава.