

УДК 621.165

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЫСТРОХОДНЫХ И ТИХОХОДНЫХ ТУРБИН.

Зеленин Д.С., Асташов Д.С., Ботько Е.Н.

Научный руководитель – Карницкий Н.Б. д.т.н., профессор.

В настоящее время при создании паротурбинных установок мощностью 1000-1200 МВт для работы в составе блока АЭС с реактором ВВЭР применяются два типа паровых турбин: тихоходные и быстроходные. При этом практически все зарубежные фирмы (Альстом, Сименс, Турбоатом и др.) выпускают тихоходные турбины с частотой вращения 1500 об/мин. Опыт проектирования, изготовления и эксплуатации быстроходных турбин на такие параметры и мощность имеют только ОАО «Силовые машины» и «Шкода».

Сегодня существует мнение, что для мощных паровых турбин наиболее предпочтительным является использование тихоходных паровых турбин, имеющих большую площадь выхлопа и, соответственно, более экономичных из-за меньшей потери с выходной скоростью. В то же время при таком заключении остаются без внимания другие вопросы, связанные с особенностями конструкции и принципами работы тихоходных и быстроходных турбин.

Опыт проектирования паротурбинных установок большой мощности показывает, что при разработке тепловой схемы и выборе вспомогательного оборудования блока мощностью 1000-1200 МВт АЭС с реактором ВВЭР практически отсутствуют принципиальные трудности или отличия, связанные с использованием различного по быстроходности типа паровой турбины. В этом случае при формализованном сравнительном анализе двух типов паротурбинных установок представляется необходимым выявить основные особенности работы проточных частей быстроходных и тихоходных турбин при сравнительно близком конструктивном профиле тепловой схемы.

Выбор частоты вращения определяется сравнением турбин по надежности, по экономичности турбины и всей турбинной установки; по стоимости установки с учетом условий производства, транспортировки, монтажа и т. п.

Надежность лопаток можно сравнивать по расчетным напряжениям, вибрационным характеристикам и коэффициенту эрозии.

С уменьшением частоты вращения можно ожидать повышения экономичности и остальных ступеней ЦНД. Даже в ступенях с закрученными лопатками имеются потери «от веерности», вызванные неравномерностью по высоте скорости, перекосом меридиональных линий тока, расхождением расчета и действительного характера потока, увеличением протечки на периферии и т. д.

Поскольку из-за меньших окружных скоростей в тихоходном ЦНД каждая из ступеней и особенно последняя перерабатывают меньший теплоперепад, то разница в высотах соседних ступеней сокращается, что позволяет уменьшить неблагоприятно большой наклон периферийного меридионального обвода. Следует также учесть уменьшение потерь в решетках ЦНД из-за больших чисел  $Re$  и меньшей относительной шероховатости.

Имеются и другие причины повышения экономичности тихоходного ЦНД. К ним следует отнести улучшение сепарационной способности влагоулавливающих устройств и сокращение осевых зазоров в связи с уменьшением общей длины турбины. Последнее очень важно в ступенях большой веерности, где значительное расстояние между выходными кромками сопловых лопаток и входом в корневую зону рабочей решетки может усугубить радиальный отрыв потока. Следует добавить, что при малых

значениях коэффициента эрозии можно отказаться от больших осевых зазоров на периферии, необходимых для уменьшения эрозионного воздействия на рабочие лопатки.

Очевидно, что ряд факторов, вызывающих изменение КПД турбины при переходе на другую частоту вращения, невозможно учесть даже при конкретной проработке конструкции.

Анализируя экономичность всей турбинной установки, следует отметить, что дополнительные потери в ЧВД частично компенсируются за счет сокращения затрат тепла в системе сепаратор - перегреватель, а повышение КПД части низкого давления реализуется полностью.

Окончательное решение о выборе частоты вращения (при безусловном обеспечении надежности) определяется технико-экономическим расчетом. Переход на пониженную частоту вращения, как правило, требует больших затрат на изготовление турбоагрегата и строительную часть машинного зала. В то же время возрастает экономичность электростанции. При этом следует помнить, что несмотря на относительно низкую стоимость топливной составляющей выработанного 1 кВт·ч и различные возможности использования отработавшего ядерного горючего расчет следует производить по цене замещаемого топлива, т.е. топлива обычных ТЭС в данном районе. Поскольку определяющим параметром АЭС, от которого в первую очередь зависит ее стоимость, является тепловая мощность реактора, то снижение экономичности АЭС означает соответствующее снижение мощности нетто и выработки электроэнергии. Недостающая мощность должна либо покрываться строительством дорогих АЭС, либо компенсироваться работой обычных ТЭС на дорогом топливе.

#### Литература

1. Паровые и газовые турбины атомных электростанций: Учеб. пособие для вузов/ Б.М. Трояновский, Г.А. Филиппов, А.Е. Булкин – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 256 с., ил.
2. Турбины для атомных электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп./ Б.М. Трояновский – М.: Энергия, 1978. – 232 с., ил.
3. Турбины тепловых и атомных электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп./ А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с., ил.