

УДК 621.165

**СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КПД ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК,
РАБОТАЮЩИХ НА НАСЫЩЕННОМ ПАРЕ
WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF STEAM TURBINE
PLANT OPERATING ON SATURATE STEAM**

К.А. Мельник, М.Д. Сытая

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
nvpanteley@tut.by

K. Melnik, M. Sytaya

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматриваются основные способы повышения КПД паротурбинных установок работающих на влажном паре.*

***Abstract:** the article discusses the main ways to increase the efficiency of steam turbine plants operating on wet steam.*

***Ключевые слова:** паротурбинные установки, АЭС, увеличение КПД, потери теплоты.*

***Keywords:** steam turbine plants, nuclear power plants, increase in efficiency, heat loss.*

Введение

С появлением большого количества типов электрических станций, появилась необходимость в создании различных конструкций турбин, которые работают с различными параметрами. В наше время существует две большие категории турбин, которые работают на перегретом и насыщенном паре. Турбоагрегаты, работающие на перегретом паре, устанавливаются на КЭС и ТЭС, а турбины, работающие на насыщенном паре, нашли применение на АЭС.

Основная часть

Любая турбина работает за счет превращения кинетической энергии пара в механическую энергию вращения ротора. Пар для работы турбоагрегатов образуется в паровых котлах на ТЭС и в парогенераторе на АЭС. Над поверхностью испарения в паровых котлах и в парогенераторе АЭС возможно получить только насыщенный пар, с разной степенью сухости. На ТЭС влажный пар в дальнейшем перегревают, используя теплоту от уходящих газов, на АЭС же не представляется возможным перегревать пар, без использования дополнительных генераторов теплоты, по этой причине турбины, устанавливаемые на АЭС, работают на насыщенном паре. Пар считается насыщенным, когда число молекул, покинувших жидкость за единицу времени равно числу молекул вернувшихся в жидкость за то же время. В данном состоянии давление на АЭС составляет 58-67 ата, температура 272-282 градусов Цельсия со степенью сухости 1. Следует принять во внимание, что большая часть турбин на АЭС работают на влажном

паре, но степень сухости не допускают ниже 0,86. Важной особенностью влажного пара является то, что одному значению давления соответствует одно значение температуры, в отличие от перегретого, где температура может принимать любое значение выше температуры насыщения при данном давлении. Из чего можно сделать вывод что пар, который при определенном давлении имеет температуру выше обозначенной в “таблице насыщенного пара” называется перегретым. И имеет параметры давления 130-245 ата, температуры 535-565 градусов Цельсия.

С развитием АЭС, которые используют паротурбинные установки, работающие на насыщенном паре, стал вопрос о влиянии влажности пара на характеристики работы турбин. Большая часть ступеней ЦВД и ЦНД работает на влажном паре. Особенность влажного пара в том, что в потоке пара влага может присутствовать в виде тумана или капель, которые могут скапливаться и двигаться по элементам проточной части турбины, снижая её внутренний КПД. Уменьшение КПД обуславливается потерями энергии на трение пара о капли, срывание струй капель и ударами капель о рабочие органы турбины. В ступенях турбины, работающих на насыщенном паре часто наблюдается снижения КПД из-за эрозии и коррозии. В потоке пара образуются капли разных размеров, скоростей и траекторий, которые с течением времени разрушают последние ступени цилиндров турбин, а из-за наличия влажной среды и подсосов воздуха образуется коррозия последних ступеней проточной части турбины.

Турбины насыщенного пара, используемые на АЭС, имеют ряд конструктивных отличий от турбин, работающих на перегретом паре.

Выделяют три основные причины этих отличий:

- большинство ступеней турбины АЭС работает на влажном паре;
- на выходе из парогенератора АЭС пар имеет низкие начальные параметры;
- специфика работы турбоустановки из-за тесной связи с реактором.

В турбинах, работающих на насыщенном паре, по сравнению с турбинами на высоких параметрах с промежуточным перегревом теплоперепад меньше примерно в 1,5-2 раза. Из-за низкого теплоперепада на АЭС нужно минимизировать потери с выходной скоростью и потери давления из-за дросселирования, которые неизбежны при протекании пара в паровпускных органах и через сепаратор-пароперегреватель, вследствие чего аэродинамическим параметрам этих органов отводится пристальное внимание.

На электрических станциях ЦНД вырабатывает примерно 50-60% мощности всей установки, что существенно оказывает влияние на внутренний относительный КПД. В связи с этим, для повышения КПД на АЭС устанавливаются больше цилиндров низкого давления, а цилиндры среднего давления, как правило, отсутствуют. Большинство турбин АЭС имеет один или два ЦВД, и три или четыре ЦНД.

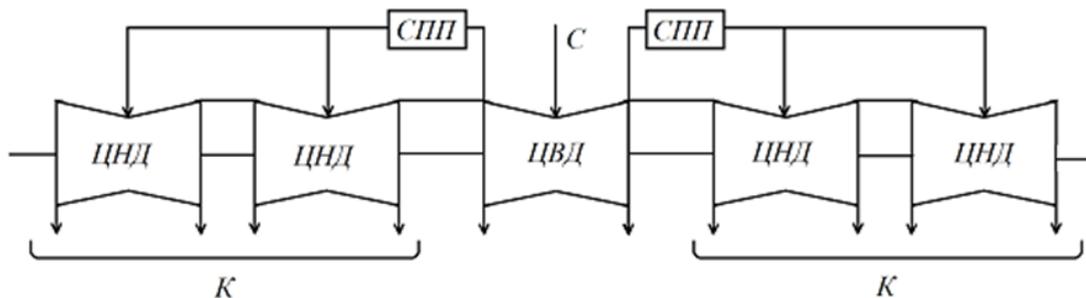


Рисунок 1 – Структурная схема турбины влажного пара мощностью 500-1000 МВт: ЦНД - цилиндр низкого давления; ЦВД - цилиндр высокого давления; СПП - сепаратор пароперегреватель; К - конденсатор

Зачастую в турбинах, работающих на насыщенном паре, применяется конструктивно совмещенный стопорный регулирующий клапан (СРК), который опирается на одно седло и приводится в действие от своих сервомоторов, через соосно расположенные штоки. Такое конструктивное решение уменьшает дросселирование пара на входе в турбину, что увеличивает относительный КПД турбины на 0.4-0.6%. Для минимизации потерь скорости и давления на линии перепуска пара в ЦВД и ЦНД стремятся сократить тракт, путем объединения сепаратора пара с промежуточным пароперегревателем.

Промежуточный перегрев пара осуществляют с целью повышения внутреннего относительного КПД, а также увеличения степени сухости пара. В турбинах, работающих на насыщенном паре используют только паровой промперегрев из отбора парогенератора, однако он возможен с использованием пара из парогенератора и пара из отбора ЦВД. Такое решение обусловлено повышением надежности работы реактора. В целях повышения КПД и уменьшения отбора пара на промперегрев устанавливают сепарационную установку. Сепарация пара после ЦВД применяется с целью повышения степени сухости пара до 99%. Сепарация – это отделение влаги от пара, путем расположения по ходу его движения волнообразно изогнутых листов, которые набираются в пакеты. Отделение влаги происходит при соударении капелек воды с поверхностями изогнутых листов. Сепаратор устанавливают в одном корпусе с промежуточным пароперегревателем. На АЭС применяют двухступенчатый промышленный пароперегреватель, который обеспечивает дополнительное увеличение КПД на 1.5-2.5%.

Существует метод, в котором используют вместо сепаратора-пароперегревателя пароперегреватель, работающий на органическом топливе. При использовании такого способа перегрева пара, повышается степень сухости, и уменьшаются потери пара в турбине из-за отвода конденсата, тем самым повышается КПД турбины. КПД использования органического топлива равен 40%, а расход теплоты снизится на 6-12%, что соответственно увеличит мощность турбоагрегата.

Для повышения мощности турбины работающей на насыщенном паре, из-за низких начальных параметров увеличивают объемные пропуски пара. Но в связи с этим, увеличиваются габариты паровпускных систем, и ЦВД производят в двухпоточном исполнении соответственно, как и ЦНД.

КПД турбоустановки работающей на насыщенном паре достигает 40-45%, что в свою очередь меньше КПД турбоустановки, работающей на влажном паре, которая максимально достигает 35%. Данная разница КПД возникает из-за теплоперепада, который выше на 15-20% в турбинах, работающих на перегретом паре.

Заключение

Модернизация и увеличение КПД паротурбинных установок, работающих на насыщенном паре, в настоящее время осуществляется по двум основным направлениям. Это снижение степени сухости пара, путем использования дополнительных пароперегревателей и большого количества ЦНД. Также имеет место незначительное увеличение КПД, путем уменьшения длины магистралей паропровода, и установки парораспределительных систем с уменьшенным дросселированием пара, что в совокупности увеличивает КПД паротурбинных установок, работающих на насыщенном паре.

Литература

1. Турбины для атомных электростанций / Б.М. Трояновский. – Изд. 2, перераб. и доп. – М.: Издательство «Энергия», 1978. – 232 с.
2. Тепловые и атомные электростанции / А.В. Клименко, В.М. Зорина. – Изд. 3, перераб. и доп. – М.: Издательство «МЭИ», 2003. – 648 с.
3. Влияние специфических свойств влажного пара на эксплуатационную надежность турбин [Электронный ресурс] / Влияние специфических свойств влажного пара на эксплуатационную надежность турбин. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/vliyanie-specificheskikh-svoystv-vlazhnogo-para-na-ekspluatacionnuyu-nadezhnost-turbin.html>. – Дата доступа: 26.03.2022.
4. Турбины тепловых и атомных электрических станций / А.Г. Костюк [и др.]. – Изд. 2, перераб. и доп. – М.: Издательство «МЭИ», 2001. – 488 с.