

для реальных турбин мощностью 200 – 500 МВт коэффициент полезного действия ЦВД при увеличении шероховатости снижается на 2 – 4% [6].

Снижение коэффициента полезного действия при повышении шероховатости для отдельных ступеней турбины К-300-240 доходит до 3,0%, причем в ЦВД – в пределах 2,0 – 3,0%, в ЦСД – 1,5 – 2,0%.

Л и т е р а т у р а

1. Освоение энергоблоков. Под ред. В.Е. Дорущука и др. М., 1971.
2. Зусманович Л.Б., Марьянчук М.А. Влияние заноса солями проточной части турбин К-100-90 ЛМЗ на их экономичность. – "Теплоэнергетика", 1969, №10.
3. Лужнов М.И. и др. Исследование заноса проточной части турбин 300 МВт. – "Электрические станции", 1969, №4.
4. Кириллов И.И., Шпензер Г.Г., Зенкевич Ю.В. Отложение твердых веществ в проточной части мощных паровых турбин. – "Энергомашиностроение", 1973, №4.
5. Акользин П.А., Маргулова Т.Х., Мартынова О.И. Водный режим паротурбинных блоков сверхкритических параметров. М., 1972.
6. Forster V.T. Performance loss of modern steamturbine plant due to surface roughness. – "Proc.Instn.Mech.Engrs.," 1966-1967, N 1.

Б.В. Яковлев, В.А. Золотарева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕАЭРАТОРОВ В РЕЖИМЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО ДАВЛЕНИЯ ПАРА

В схемах блочных паротурбинных установок применяются деаэраторы повышенного давления ($58,8 - 68,6 \cdot 10^4$ Па), что уменьшает число подогревателей высокого давления (ПВД) и позволяет питать парогенератор водой достаточно высокой температуры ($431 - 437$ К) в случае их отключения высокого давления. Работают деаэраторы обычно при постоянном давлении независимо от нагрузки блока и для питания их паром включаются по следующим основным схемам:

1) деаэратор является самостоятельным регенеративным подогревателем и подключается к отдельному отбору турбины с давлением, превышающим рабочее давление в деаэраторе (например, у блока К-300-240 ЛМЗ, где деаэратор подключен к IY отбору с расчетным давлением $104 \cdot 10^4$ Па); 2) деаэратор является предвключенной регенеративной ступенью перед первым ПВД и питается паром из того же отбора, что и ПВД.

Преимуществом первой схемы является большая экономичность за счет использования в деаэраторе пара более низкого потенциала, а недостатком – необходимость переключения деаэратора при пониженных нагрузках турбины к отбору с более высоким давлением, что приводит к отключению одной ступени регенерации.

Преимуществом второй схемы является обеспечение рабочего давления в деаэраторе в широком диапазоне нагрузок блока вследствие подключения его к отбору с высоким давлением пара, а также более полное использование потенциала пара совмещенного отбора, так как в параллельно включенном деаэратору ПВД используется недросселированный пар этого отбора. Недостатком схемы является меньшая регенеративная выработка электроэнергии на потоке пара, поступающем в деаэратор, и частое переключение каскадной схемы отвода дренажа из ПВД.

Для устранения указанных недостатков в последнее время в схемах энергоблоков начинают применять деаэраторы, работающие на скользящем давлении, т.е. деаэратор подключается к самостоятельному нерегулируемому отбору пара и давление в нем меняется в зависимости от нагрузки турбины. При этом достигается больший эффект, чем при введении дополнительной ступени регенерации. Целесообразность использования скользящего давления в основных деаэраторах особую актуальность приобретает в последнее время в связи с резко переменными режимами работы паротурбинных блоков в энергосистемах, когда из-за глубоких провалов нагрузки системы приходится чуть ли не ежедневно на 40 – 60% разгружать или останавливать агрегаты.

Для практического применения скользящего давления в основных деаэраторах необходимо рассмотреть и проверить: условия и качество деаэрации питательной воды в существующих аппаратах, надежность работы оборудования, и в первую очередь, питательных насосов и парогенераторов, условия регулирования и управления деаэрационной установкой, а также экономическую эффективность реализуемого мероприятия.

Рассмотрим результаты соответствующих исследований, выполненных для блока К-300-240 ЛМЗ.

В тепловой схеме блока 300 МВт применены насадочные деаэрационные колонки ДСП-500 с омегаобразной насадкой из нержавеющей стали, характер течения жидкости в которых и массообмен в насадочной камере определяются гидродинамическим состоянием пароводяной системы. На режимах небольшой гидравлической нагрузки жидкость распределяется в газе, который движется сплошным потоком; при высокой гидравлической нагрузке колонки, напротив, газ распространяется в жидкости, превращающейся в сплошную фазу, и наступает барботажный режим или режим свободно развитой турбулентности. Этот режим является предельным, так как значительное накопление жидкости над насадкой приводит к обратному ее движению из аппарата (его захлебыванию). В деаэраторе при этом снижается температура выпара, и могут появляться вибрации колонки, усиленные шумы и гидравлические удары. Для оценки режима работы деаэратора необходимо иметь характеристики предельных гидравлических режимов.

Расчетные характеристики предельных режимов колонки ДСП-500 для давлений пара $72,6 \cdot 10^4$ и $11,8 \cdot 10^4$ Па представлены на рис. 1 [1]. С понижением давления в деаэраторе при одной и той же величине нагрева воды предельная гидравлическая нагрузка колонки снижается; с уменьшением же нагрева воды и давления в деаэраторе, что характерно для режимов скользящего давления, предельная гидравлическая нагрузка колонки возрастает. Поэтому качество деаэрации воды и надежная работа аппарата вполне могут быть обеспечены при скользящем давлении. При этом величина давления в деаэраторе обуславливается режимом работы турбоустановки или давлением пара в камере отбора, к которому подключен деаэратор.

Выполненные расчеты показывают, что в диапазоне нагрузок 300-100 МВт деаэратор может питаться паром из отбора 4 (рис. 2). Получаемое в нем с учетом гидравлических потерь в трубопроводе отбора и регуляторе давление пара, а также обусловленная режимом работы турбоустановки величина нагрева воды (рис. 3) соответствуют гидравлической нагрузке деаэратора гораздо меньшей, чем предельная (рис. 1).

Основной характеристикой деаэрационной установки является остаточная концентрация кислорода и свободной углекислоты после прохождения через колонку в зависимости от гидравлической нагрузки и температуры исходной воды (величины нагрева ее в деаэраторе).

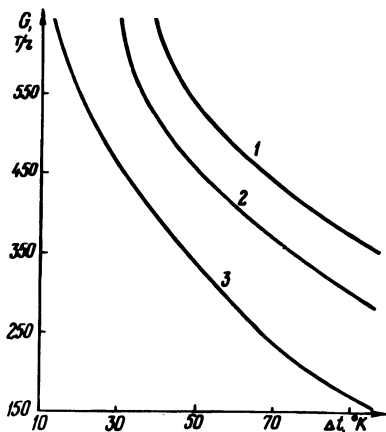


Рис. 1. Зависимость предельной гидравлической нагрузки колонки ДСП-500 от величины нагрева основного потока конденсата Δt и давления пара в колонке P :

1— $P_D = (68,6 \cdot 10^4 \text{ Па})$;
 2— $(39,2 \cdot 10^4)$; 3— $11,810^4$.

Рис. 3. Изменение давления P_D и температуры t_D воды в деаэраторе в зависимости от нагрузки блока при работе деаэратора со скольльзящим давлением пара:

($t_{\text{ПНД-4}}$ — температура воды после ПНД-4).

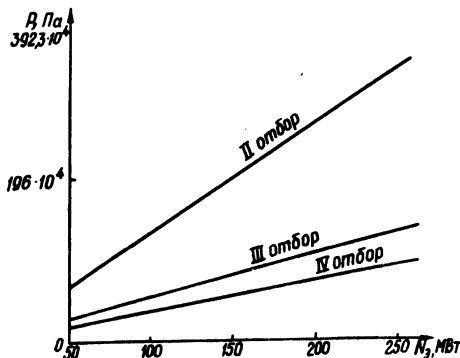
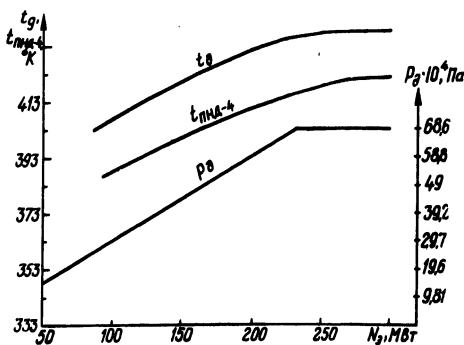


Рис. 2. Изменение давления в отборах турбины К-300-240 ЛМЗ в зависимости от мощности.



Анализ показывает, что при отлаженных гидродинамических режимах работы колонки остаточная концентрация O_2 и CO_2 в воде может появляться главным образом вследствие эжектирующего действия водяных струй, когда имеет место увлечение ими неконденсирующихся газов в мелкодисперсном состоянии. Понижение величины нагрева воды и гидравлической нагрузки, характерное для деаэратора, работающего при снижении нагрузки блока в режиме скользкого давления, улучшает качество

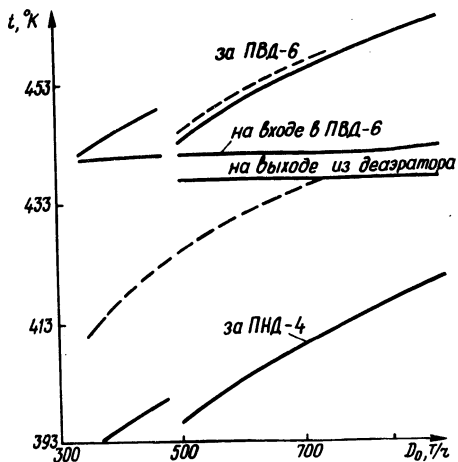
деаэрации воды. Для поддержания минимальных концентраций коррозионно-агрессивных газов в питательной воде существенную роль играет дальнейшая обработка воды в баке-аккумуляторе и в барботажном устройстве (при его наличии).

Для обеспечения надежной работы деаэрационной установки при скользящем давлении емкость баков-аккумуляторов и трубопроводов питательной воды должна быть рассчитана на предупреждение вскипания воды при максимально возможной скорости падения давления в деаэраторе. Поэтому необходимо обеспечивать минимальные гидравлические потери во всасывающих трубопроводах от деаэраторов к бустерным насосам и равномерный отвод к насосам при параллельной работе деаэраторов. Целесообразно устанавливать на блок один деаэратор, обеспечивающий глубокую дегазацию воды при скользящем давлении. При быстрых сбросах нагрузки дегазация воды производится за счет тепла, аккумулированного в воде, содержащейся в баке-аккумуляторе. При быстром нагружении блока температура воды за деаэратором может оказаться меньше температуры насыщения. Для предотвращения этого целесообразно в баке-аккумуляторе помешать барботажное устройство.

Дубль-блоки К-300-240 ЛМЗ имеют в тепловой схеме два деаэратора ДСП-500 с аккумуляторными баками емкостью по 75 м³ и две нитки ПВД. Специальные расчеты и анализ показывают, что емкость системы, а также диаметры соединительных и всасывающих линий могут обеспечить работу деаэраторов при скользящем давлении, исходя из сформулированных требований. Температурные условия работы насосов при скользящем давлении в деаэраторе улучшаются, увеличивается запас давления на не-вскипание воды на всасе насосов и повышается их надежность по кавитации (при плановом изменении давления в деаэраторе).

Общие задачи регулирования деаэрационной установки при работе со скользящим давлением остаются те же, что и при постоянном давлении (поддержание необходимого давления в деаэраторе, требуемого расхода пара и уровня в баке-аккумуляторе). Однако, поскольку давление пара в деаэраторе определяется режимом работы турбоустановки (давлением в камере отбора), величина его устанавливается на каждом режиме дополнительно введенным в схему регулирования программным задатчиком, который получает импульс по давлению в камере ПУ отбора. Для повышения надежности работы деаэратора на скользящем давлении пара устанавливается дифференциальное реле, следящее за скоростью изменения давления в деаэраторе. В случае превышения максимально допустимой скорости

Рис. 4. Температура питательной воды за подогревателями в зависимости от расхода пара на турбину (пунктирная линия — при работе деаэратора на скользком давлении).



изменения давления реле выдает импульс на подачу в деаэратор пара от другого источника с более высоким давлением.

При работе на скользком давлении деаэратор отключается от коллектора уплотнений ЦНД, и весь выпар используется в охладителях. Все соединительные линии между деаэраторами должны работать полным сечением.

Общий нагрев воды от температуры на выходе из ПВД-4 до температуры на выходе из ПВД-6 при работе деаэратора со скользким давлением несколько увеличивается и значительно перераспределяется между деаэратором и ПВД-6 по сравнению с режимами постоянного давления в деаэраторе (рис. 4). Обуславливается это некоторым повышением давления пара в камере Ш отбора и большим нагревом воды в охладителе пара ПВД-6.

Эффективность работы турбоустановки К-300-240 ЛМЗ на пониженных нагрузках (ниже 250 МВт) со скользким давлением в деаэраторе оценивается двумя слагаемыми: увеличением выработки электроэнергии на потоке пара, поступающем в деаэратор, и снижением расхода энергии на привод питательного насоса.

В результате расчетов получено, что работа деаэраторов блока К-300-240 при нагрузках 100 – 250 МВт в режиме скользкого давления увеличивает мощность блока на 1200 – 2000 кВт и обеспечивает годовую экономию условного топлива порядка 1400 – 1600 т.

Л и т е р а т у р а

1. Оликер И.И., Пермяков В.А. Термическая деаэрация воды на тепловых электростанциях. Л., 1971.