

ПРИЧИНЫ ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В КОНДЕНСАТЕ ПАРОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК

Д. т. н., проф. Шемпелев А. Г.¹,
асс. Иглин П. В.¹ (ФГБОУ ВО «Вятский
государственный университет»)

АННОТАЦИЯ. Показана необходимость создания системы диагностики для определения причин повышенного содержания кислорода в конденсате паротурбинных установок (ПТУ). Предложена методика для создания системы диагностики, обеспечивающая более эффективный контроль за работой конденсационной установки и упрощающая ее наладку.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конденсатор, агрессивные газы, кислород, паротурбинная установка, ТЭС, система диагностики, паротурбинная установка, вакуум.

ABSTRACT. The work shows the necessity for developing diagnostic system in order to find the causes of the increased oxygen content in condensate during operation of heat exchange apparatus. Our own methods for creation of diagnostic system are offered and described. Methods provides more efficient control over operation of condenser and essentially simplifies its maintenance.

KEYWORDS: condenser, aggressive gases, oxygen, steam turbine plant, TES, diagnostic system, steam turbine facility, vacuum.

Разработка мониторинговых и диагностических систем является одной из актуальных задач современной энергетики. Широкое использование таких систем позволяет обеспечить качественное обслуживание и ремонт ПТУ, повысить эффективность и надежность их эксплуатации.

Важнейшим элементом ПТУ является конденсационная установка (КУ), включающая в себя системы воздухоудаления, циркуляционного водоснабжения, удаления конденсата и ряд других. Анализ совместной работы этих систем и поиск неисправностей представляет собой достаточно сложную задачу, поскольку эффективность работы конденсатора обусловлена совокупным влиянием большого количества факторов.

Большинство диагностических систем конденсационных установок [1–3] имеют в своей основе базы данных (свидетельств неисправностей) и базы знаний (гипотез неисправностей), составленные, например, с использованием нормативно-технических документов [4, 5] и литературных источников [6, 7]. Однако не для всех имеющихся свидетельств можно подобрать соответствующую гипотезу, позволяющую однозначно выявить причину неисправности и степень ее влияния на показатели эффективности КУ. В частности, существенные затруднения вызывает определение причин повышенного содержания кислорода в конденсате на выходе из конденсатора.

Поддержание концентраций коррозионно-активных газов (кислорода и углекислого газа) в основном конденсате в допустимых пределах является одним из основных условий обеспечения надежности и долговечности паротурбинного и котельного оборудования. Соблюдение норм содержания кислорода в основном конденсате предотвращает коррозию внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов, расположенных в тракте основного конденсата от конденсатора до деаэраатора, и вынос продуктов коррозии меди и железа на теплообменные поверхности котлов.

Нормы содержания кислорода в конденсате на выходе из теплообменных аппаратов паровых турбин установлены правилами технической эксплуатации [8]. Например, для турбоустановок, работающих с прямоточными или барабанными парогенераторами с давлением выше 10 МПа и щелочным водным режимом, концентрация кислорода в конденсате не должна превышать 20 мкг/кг.

В условиях эксплуатации содержание растворенных газов в воде, в частности кислорода, контролируется с помощью проб, отбираемых из соответствующих точек конденсатного тракта (напорный трубопровод конденсатных насосов конденсатора, напорный трубопровод конденсатных насосов сетевых подогревателей, тракт основного конденсата после последнего подогревателя низкого давления).

По мере движения паровоздушной смеси через трубные пучки конденсатора пар конденсируется, его

¹ 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36

парциальное давление падает, а парциальное давление воздуха растет, достигая максимума в зоне воздухоохладителя. В соответствии с этим конденсация пара происходит не при температуре $t_{н'}$, соответствующей давлению пара на входе в трубный пучок, а при температуре насыщения $t_{п'}$, соответствующей парциальному давлению пара $p_{п'}$ в рассматриваемой зоне конденсации.

Для ориентировочных оценок содержаний кислорода в конденсате можно использовать температуру конденсата на выходе из конденсатора $t_{к'}$. При этом величина переохлаждения конденсата определяется как:

$$\delta t_{к} = t_{п'} - t_{к'}$$

Основные газовые компоненты, входящие в состав воздуха (O_2 , CO_2 , N_2), относятся к числу труднорастворимых в воде газов и для раствора каждого из них справедлив закон Генри, который можно записать для определения равновесных содержаний труднорастворимых газов в воде, контактирующей с паровоздушной смесью

$$C_i^{жк} = \frac{C_i^g}{H_i} \cdot \frac{p_{см}}{1 - 0,378 \cdot \varepsilon_{возд}}$$

где $C_i^{жк}$ — массовая концентрация растворенного газа при его давлении $p_{г}$ и температуре $t_{г}$;

C_i^g — массовая концентрация рассматриваемого компонента в воздухе;

H_i — константа Генри для данного газа при температуре жидкости в единицах давления;

$p_{см}$ — давление паровоздушной смеси над поверхностью конденсата;

$\varepsilon_{возд}$ — массовое содержание воздуха в смеси, определяемое по известному уравнению

$$\varepsilon_{возд} = \frac{1}{1 + 0,622 \cdot \frac{p_{п'}}{p_{возд}}}$$

где $p_{п'}$ — парциальное давление пара в паровоздушной смеси; $p_{возд}$ — парциальное давление воздуха в паровоздушной смеси.

Поскольку массовый состав сухого воздуха известен, то для каждого его компонента величина C_i^g определяется однозначно в зависимости от $\varepsilon_{возд}$.

Таким образом, при данной постановке задачи определение концентраций труднорастворимых газов в воде сводится к определению парциальных давлений пара ($p_{п'}$) и воздуха ($p_{возд}$) в рассматриваемой зоне контакта паровоздушной смеси и воды.

Если считать, что окончательное газосодержание конденсата определяется к моменту попадания его на днище конденсатора, то в зависимость следует подставлять значения $p_{п'}$ и $p_{возд'}$, определенные для зоны регенеративного подогрева конденсата. Величина парциального давления в зоне регенеративного подогрева может быть определена по измеренной температуре конденсата на днище конденсатора с помощью таблиц водяного пара, а парциальное давление воздуха как разность между измеренным давлением в конденсаторе и парциальным давлением пара.

На рис. 1 показаны расчетные зависимости равновесного содержания кислорода в конденсате в зависимости от величины переохлаждения конденсата.

Представленные на рис. 1 данные позволяют установить, что равновесные содержания кислорода в конденсате, соответствующие предельным нормативным значениям (20 мкг/кг) в рассмотренном диапазоне изменения давлений, могут быть получены при величине переохлаждений от 0,5 до 1,2°C.

На рис. 2 представлены зависимости фактического и расчетного кислородосодержания на выходе из конденсатора от величины переохлаждения конденсата. Они получены при испытаниях конденсатора модернизированной турбоустановки Т-110/120-130 путем перевода дренажей и добавочной воды на днище конденсатора.

Проведенные исследования показали, что при определенных условиях экспериментальные значения содержания кислорода в конденсате весьма близки к равновесным, рассчитанным для условий, имеющих место в эксперименте.

Указанными условиями являются:

- отсутствие подачи зараженных кислородом потоков, подаваемых в конденсатосборники под уровень конденсата;
- отсутствие подачи в конденсатор химически обес-

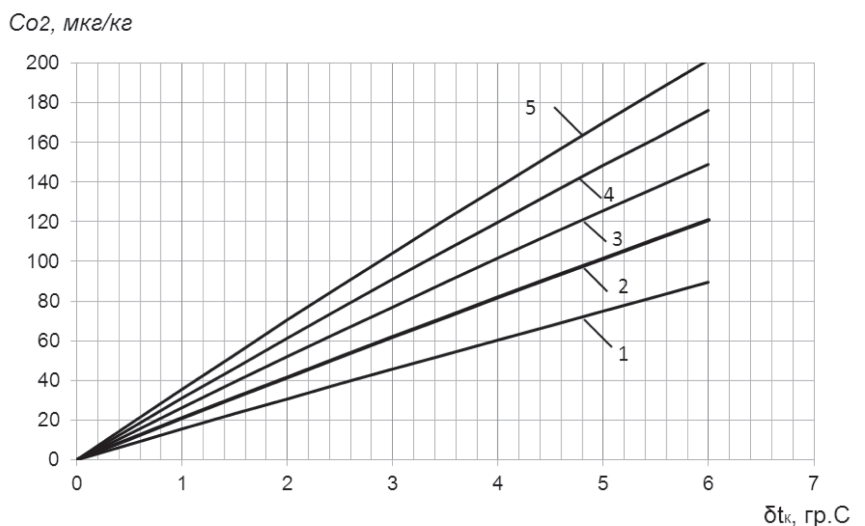


Рис. 1. Зависимость содержания кислорода в конденсате от величины его переохлаждения относительно температуры насыщения при различных давлениях в конденсаторе. 1, 2, 3, 4, 5 — при давлениях в конденсаторе соответственно 3, 5, 7, 9 и 11 кПа.

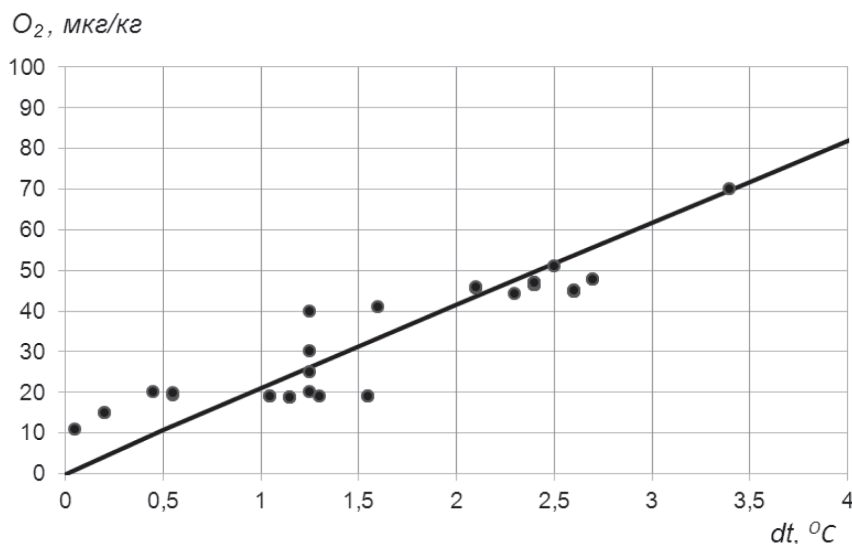


Рис. 2. Зависимость содержания кислорода в конденсате на выходе из конденсатора КГ2-6200 от величины переохлаждения конденсата:

• — эксперимент; — расчет при давлении в конденсаторе 5 кПа (коэффициент детерминации $R_2 = 0,85$).

соленой воды, имеющей температуру ниже температуры насыщения при давлении в конденсаторе, особенно при малых пропусках пара в конденсатор.

Задача диагностики существенно упрощается, если имеется возможность производить отбор проб с днища конденсатора специальным насосом-пробоотборником, однако реализация такой возможности достаточно сложна.

Предлагается следующая методика определения причин повышенного содержания кислорода в конденсате на выходе из конденсатора:

1. В случае подачи в конденсатор химически обессоленной воды на период проведения измерений на первом этапе ее закрывают.

2. Производятся измерения давления в конденсаторе ($p_n = p_{см}$), температур конденсата на днище конденсатора (t_k) и на напоре конденсационных насосов ($t_{кн}$), величины присосов воздуха в конденсатор ($G_{возд}$) и фактического содержания кислорода в конденсате на напоре конденсатных насосов ($C_{O_2}^{\phi}$).

3. По величине давления в конденсаторе определяется соответствующая температура насыщения (t_n), а по температуре конденсата t_k — величина парциального давления паров с зоне регенеративного подогрева (p_n). По разности давлений ($p_n - p_n = p_{возд}$) определяется парциальное давление воздуха в зоне регенеративного подогрева. По известным величинам суммарного и парциальных давлений определяется равновесная концентрация кислорода в конденсате ($C_{O_2}^p$) на днище конденсатора по описанной выше методике или по рис. 1 с помощью вычисленной величины переохлаждения конденсата.

Если измеренное значение содержания кислорода на напоре конденсатных насосов превышает равновесное на величину, превышающую абсолютную погрешность средств измерений, то можно предполо-

жить, что причиной повышенных концентраций кислорода в конденсате на напоре конденсатных насосов являются водяные потоки, подаваемые под уровень конденсата в конденсатосборник. Указанные потоки могут содержать как растворенный кислород, так и воздух в виде пузырьков, образовавшихся при наличии присосов воздуха под уровень дренажей. При повышении давления в конденсатном насосе воздух, содержащийся в пузырьках, растворяется, и содержание кислорода в конденсате становится выше, чем на днище конденсатора.

Если измеренное значение содержания кислорода на напоре конденсатных насосов не превышает равновесное, рассчитанное по действительной величине переохлаждения конденсатора на днище, но больше нормативного, то причиной увеличенных содержаний кислорода в конденсате являются повышенные присосы воздуха в вакуумную систему турбоустановки или неполадки в работе основных эжекторов.

Сравнение содержаний кислорода в конденсате при закрытой и открытой подаче химически обессоленной воды позволяет оценить ее влияние на деаэрирующую способность конденсатора.

Таким образом, имеется возможность дополнить систему диагностики конденсационной установки ПТУ элементами, направленными на выявление причин повышенного содержания кислорода в конденсате на выходе из конденсатора. При этом не потребуются значительного количества дополнительных измерительных приборов или изменения тепловой схемы конденсационной установки.

Для реализации предлагаемого способа необходимо произвести измерения давления в конденсаторе, температуры конденсата на днище конденсатора и температуры конденсата на напоре конденсационных насосов, величины присосов воздуха в конденсатор и фактического содержания кислорода в конденсате на напоре конденсационных насосов. Далее аналитически определяется одна из двух причин повышенного содержания кислорода в основном конденсате:

1. Сброс «зараженных» кислородом водяных потоков под уровень конденсата и в конденсатосборник и (или) присосы воздуха в тракт от конденсатосборника до конденсатного насоса включительно.

2. Повышенные присосы воздуха в паровую часть вакуумной системы ПТУ.

Оперативный контроль по выявлению повышенного кислородосодержания из-за присосов воздуха в вакуумную систему ПТУ предлагается осуществлять по величине переохлаждения конденсата расчетным

способом или с помощью зависимости аналогичной представленной на рис. 1.

Выводы

Предложенная методика обеспечивает более эффективный контроль за работой КУ и существенно упрощает ее наладку.

Литература

1. Баран Л. С. Система комплексной диагностики конденсационных установок паровых турбин. М.: Труды ЦКТИ, 1992, №273, с. 103–109.
2. Беляев Д. В., Башуров Б. П. Диагностирование технического состояния теплообменных аппаратов на основе математического моделирования / М.: Теплоэнергетика, 2001, №5, с. 69–72.
3. Аронсон К. Э., Бродов Ю. М., Акифьева Н. Н. Разработка эле-

ментов комплексной системы мониторинга состояния теплообменных аппаратов ПТУ / М.: Тяжелое машиностроение, 2002, №2, с. 32–34.

4. МУ 34-70-122-85. Методические указания по эксплуатации конденсационных установок паровых турбин электростанций. М.: Союзтехэнерго, 1986.

5. МУ 37-70. Методические указания по наладке и эксплуатации пароструйных эжекторов конденсационных установок турбин ТЭС и АЭС. М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.

6. Шкловер Г. Г., Мильман О. О. Исследование и расчет конденсационных установок паровых турбин / М.: Энергоатомиздат, 1985, 240 с.

7. Берман Л. Д. О распределении концентраций газов в конденсате, образующемся в конденсаторах паровых турбин. М.: Электрические станции, 1984, №1, с. 19–22.

8. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. Министерство энергетики РФ. М.: ЗАО «Энергосервис», 2003, 368 с.

