

УДК 621.321

Деаэрационные испытания конденсатора турбины при повышенном содержании свободной углекислоты в остром паре

Виноградов В.Н., Ледуховский Г.В., кандидаты техн. наук, Барочкин А.Е., Прохорова Е.А., студенты

Сформулирована проблема нормирования качества турбинного конденсата по содержанию диоксида углерода. Приведены результаты деаэрационных испытаний конденсатора КП-540/2 турбины ПТ-12-35/10М, работающей при повышенном содержании свободной углекислоты в остром паре. Доказана недостаточность производительности основного эжектора конденсационной установки по условию обеспечения десорбции диоксида углерода из турбинного конденсата.

Ключевые слова: десорбция кислорода, десорбция диоксида углерода, конденсатор, паровая турбина, коррозия, защита от коррозии.

Deaeration tests of turbine condenser working at increased content of carbon dioxide in direct steam

Vinogradov V.N., Leduhovsky G.V., candidates of science; Barochkin A.E., Prohorova E.A., students

The problem of normalization of a turbine condensate quality under the content of carbon dioxide is formulated. Results of deaeration tests of condenser KP-540/2 of turbine PT-12-35/10M working at the increased contents of free carbonic acid in direct stream are shown. Insufficiency productivity of the main ejector on a condition of providing carbon dioxide desorption from a turbine condensate is proved.

Keywords: oxygen desorption, carbon dioxide desorption, condenser, steam turbine, corrosion, corrosion prevention.

В конденсаторе паровой турбины кроме прочих процессов протекает деаэрация основного конденсата. Действующими нормативными документами предусмотрен контроль содержания в турбинном конденсате за конденсатными насосами только растворенного кислорода (см. таблицу) [1].

Нормы содержания растворенного кислорода в основном конденсате паровых турбин

Тип тепловой электростанции (ТЭС)	Нормативная массовая концентрация кислорода в основном конденсате за конденсатными насосами, мкг/дм ³
ТЭС с прямоточными котлами давлением 13,8 – 25 МПа	20
ТЭС с котлами с естественной циркуляцией	20
То же, при работе турбин с ухудшенным вакуумом	20 (допускается корректировка с разрешения энергосистемы)

Полагается, что при обеспечении нормативного качества перегретого пара энергетических котлов, работающих на обессоленной воде, основной конденсат турбин практически не содержит свободной углекислоты: незначительные количества диоксида углерода, поступающие в вакуумную систему с присосами воздуха, удаляются основными эжекторами. Между тем паровые турбины, использующие в качестве острого пар котлов, работающих на

химически очищенной воде, а также котлов-утилизаторов металлургических, химических и других непрофильных энергетических производств, часто эксплуатируются в более тяжелых условиях: острый пар уже содержит свободный диоксид углерода с концентрацией до 80 мг/дм³. В таких случаях деаэрирующая способность конденсаторов турбин, особенно по диоксиду углерода, является важной с точки зрения обеспечения антикоррозионной защиты водяного тракта системы регенерации низкого давления паротурбинной установки. Тем не менее, руководящие документы не предусматривают нормирование качества турбинного конденсата по содержанию свободной углекислоты. Не установлен и интервал допустимых значений рН₂₅ турбинного конденсата. Главные причины этого связаны с традиционным подходом организации водно-химических режимов и удорожанием системы автоматизированного химического контроля.

Для выявления технологически обоснованных норм содержания диоксида углерода в турбинном конденсате, кроме изучения собственно коррозионных процессов в водяном тракте системы регенерации низкого давления, требуется определение деаэрирующей способности конденсаторов паровых турбин.

Нами проведены деаэрационные испытания конденсатора паровой турбины низкого давления ПТ-12-35/10М, установленной в теплосиловом цехе ОАО «Северсталь». Турбина работает в системе утилизации вторичных энергоресурсов и использует пар котлов-

утилизаторов за установками сухого тушения кокса. Питательная вода котлов состоит из турбинного конденсата (менее 20 % в общем расходе питательной воды) и добавочной воды. Последняя готовится по схеме «прямочная коагуляция в напорных механических фильтрах – Na-катионирование по технологии SCHWEBEBETT – атмосферная деаэрация».

Конденсатор турбины типа КП-540/2, двухходовой по охлаждающей воде, имеет площадь поверхности теплообмена 540 м², 2266 трубок внутренним диаметром 17 мм и длиной 4 м. Номинальный расход пара в конденсатор составляет 22,7 т/ч, минимальный и максимальный – соответственно 4,2 и 48 т/ч. Расчетная удельная паровая нагрузка конденсатора составляет 42 кг/(м²ч).

Конденсационная установка включает два основных паровых эжектора типа ЭО-30 производительностью по паровоздушной смеси 30 кг/ч и с расходом рабочего сухого насыщенного пара давлением 1,6 МПа 175 кг/ч. Создаваемый эжектором вакуум – 95 %.

Перед испытаниями произведен ремонт конденсационной установки с заменой трубной системы конденсатора, полной заменой охладителей эжекторов, а также выполнена проверка плотности вакуумной системы турбины. Сами деаэрационные испытания конденсатора совмещены с тепловыми испытаниями турбины, по результатам которых с нормативной точностью определены расходы и теплотехнические параметры теплоносителей по элементам тепловой схемы в широких диапазонах изменения режимных факторов.

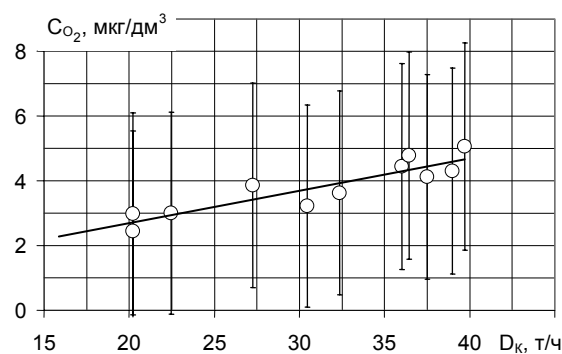
Выполнены измерения массовых концентраций (далее по тексту – концентраций) растворенного кислорода и диоксида углерода в турбинном конденсате за конденсатными насосами. Концентрация растворенного кислорода измерялась амперометрическим методом с использованием переносного кислородомера МАРК-302Т, а концентрация свободной углекислоты – алкалиметрическим методом.

По результатам испытаний выявлено следующее (рис. 1):

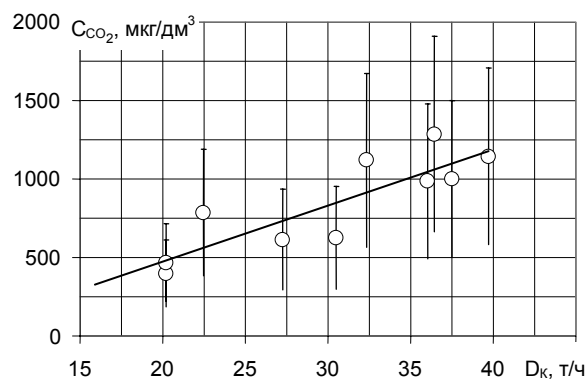
1) концентрация растворенного кислорода удовлетворяет нормам (табл. 1) во всем диапазоне паровых нагрузок конденсатора;

2) концентрация диоксида углерода при любых паровых нагрузках конденсатора не уменьшается до значений менее 300 мкг/дм³;

3) при увеличении паровой нагрузки конденсатора концентрации растворенного кислорода и диоксида углерода увеличиваются.



а)



б)

Рис. 1. Зависимость концентрации растворенного кислорода (а) и диоксида углерода (б) в турбинном конденсате от расхода пара в конденсаторе: C_{O_2} и C_{CO_2} – концентрация в турбинном конденсате соответственно растворенного кислорода и диоксида углерода; D_k – расход пара в конденсаторе турбины; \circ – окончательные результаты измерения в опытах; сплошные линии – регрессионные зависимости (метод наименьших квадратов)

Первые два вывода доказывают необходимость изучения процессов десорбции диоксида углерода в конденсаторах турбоагрегатов и введения нормативов по этому показателю применительно к турбинному конденсату. При указанных на рис. 1 концентрациях свободной углекислоты (при безаммиачном водно-химическом режиме конденсатно-питательного тракта) значение pH_{25} турбинного конденсата близко к 6,0. В этих условиях даже с учетом малых температур конденсата необходимо учитывать возможную опасность углекислотной коррозии тракта регенерации низкого давления [2].

Последний вывод указывает на недостаточность производительности основных эжекторов конденсационной установки по паровоздушной смеси. Действительно, согласно многочисленным опубликованным результатам исследований конденсаторов турбин как деаэраторов [3, 4] (рис. 2), при верном выборе производительности воздухоудаляющего устройства должна наблюдаться иная зависимость, в частности, по кислороду: концентрация кислорода в турбинном конденсате должна уменьшаться с увеличением паровой нагрузки конденсатора.

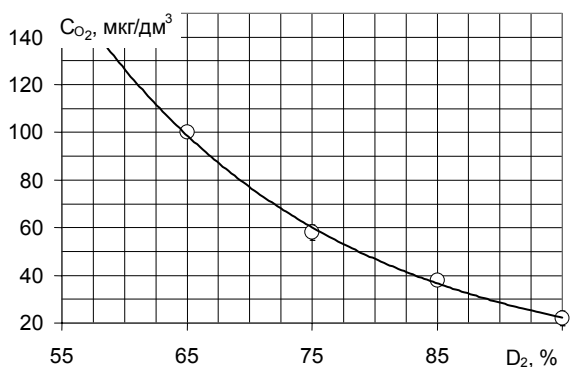
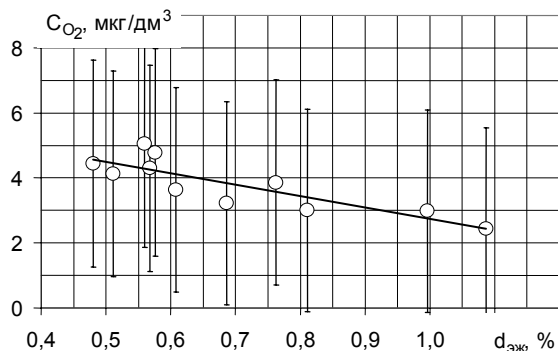


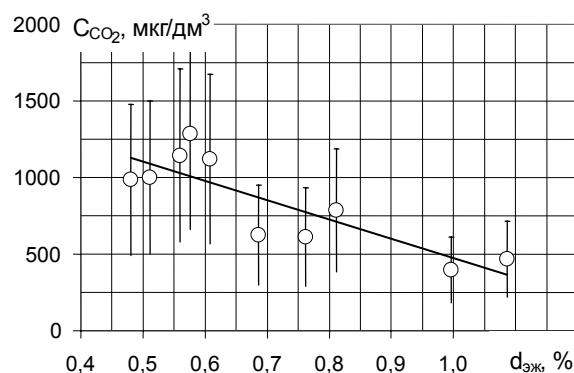
Рис. 2. Данные Е.А. Сукачева по деазирующей способности конденсатора турбины, работающей с ухудшенным вакуумом (площадь поверхности теплообмена 1000 м², производительность основного эжектора 30 кг/ч): D_2 – паровая нагрузка конденсатора (в процентах от номинальной); прочие обозначения – см. рис. 1

Вывод о недостаточности производительности воздухоудаляющего устройства подтверждается корреляцией значений концентраций газов в турбинном конденсате и значений относительной нагрузки основного эжектора, рассчитанной как процентное отношение расхода рабочего пара на эжектор и расхода пара в конденсатор турбины (рис. 3). Минимальным значениям концентрации кислорода или диоксида углерода в турбинном конденсате соответствуют значения относительной паровой нагрузки воздухоудаляющего устройства конденсационной установки более 1 %. Необходимо отметить, что перед проведением испытаний произведена полная замена охладителей эжекторов, а «запаривание» самих эжекторов в ходе испытаний не зафиксировано.

Таким образом, воздухоудаляющее устройство рассматриваемой турбины позволяет поддерживать концентрацию кислорода в турбинном конденсате не более нормативного значения 20 мкг/дм³ во всех режимах работы турбины. Однако при этом выявлено низкое качество турбинного конденсата по содержанию свободной углекислоты. Исходя из этого, можно полагать, что производительность воздухоудаляющего устройства конденсационной установки при работе турбины на остром паре с относительно большой концентрацией свободной углекислоты (в рассматриваемом случае значение этой концентрации составляло от 35 до 40 мг/дм³) необходимо выбирать с учетом деаэрационной способности конденсатора по диоксиду углерода. В настоящее время этот вывод особенно актуален для паровых турбин проектируемых парогазовых энергоблоков с котлами-утилизаторами, работающими на смягченной воде.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость концентрации растворенного кислорода (а) и диоксида углерода (б) в турбинном конденсате от относительной нагрузки основного эжектора: $d_{эж}$ – относительная нагрузка основного эжектора по рабочему пару; прочие обозначения – см. рис. 1

Заключение

Нормирование качества конденсата турбин, острый пар которых получен из химически очищенной воды, в том числе паровых турбин парогазовых энергоблоков, необходимо осуществлять не только по концентрации растворенного кислорода, но и по содержанию свободной углекислоты.

Экспериментальные данные показывают, что даже при обеспечении нормативных значений концентрации растворенного кислорода в турбинном конденсате качество этого конденсата по содержанию свободной углекислоты может быть неудовлетворительным.

Производительность основного эжектора конденсационной установки при работе турбины на остром паре с относительно большой концентрацией свободной углекислоты необходимо выбирать с учетом деаэрационной способности конденсатора по диоксиду углерода.

Введению нормативов качества турбинного конденсата по содержанию диоксида углерода должно предшествовать решение следующих задач:

– исследование деаэрирующей способности конденсаторов паровых турбин относительно десорбции диоксида углерода;

– исследование влияния диоксида углерода в турбинном конденсате на эксплуатационную надежность работы элементов системы регенерации паровых турбин и качество питательной воды;

– разработка рекомендаций по выбору производительности воздухоудаляющих устройств конденсационных установок с учетом деаэрирующей способности конденсаторов по диоксиду углерода;

– анализ изменения тепловой экономичности систем регенерации турбин при увеличении нагрева основного конденсата в охладителях эжекторов;

– разработка методов непрерывного контроля содержания диоксида углерода в турбинном конденсате.

Виноградов Владимир Николаевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике,
телефон (4932) 38-57-38,
e-mail: admin@xste.ispu.ru

Ледуховский Григорий Васильевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
кандидат технических наук, ассистент кафедры тепловых электрических станций,
телефон 8-910-698-99-90,
e-mail: lgv83@yandex.ru

Барочкин Алексей Евгеньевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
студент кафедры тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Прохорова Екатерина Альбертовна,
Ивановский государственный энергетический университет,
студент кафедры тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Список литературы

1. **Правила** технической эксплуатации тепловых электрических станций и сетей Российской Федерации : утв. Приказом Минэнерго России № 229 от 19.06.03: введ. в действие с 30.06.03 : зарег. в Минюсте России 20.06.03 № 4799. – М.: Омега-Л, 2006.

2. **Акользин П.А.** Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. – М.: Энергоиздат, 1982.

3. **Сукачев Е.А.** Деаэрирующая способность конденсаторов турбин с ухудшенным вакуумом / Водоподготовка, водный режим и химконтроль на паросиловых установках: Сб. статей; Под общ. ред. М.С. Шкроба и В.И. Вульсона. – М.: Изд-во «Энергия», 1974. – Вып. 5. – С. 106–108.

4. **Ермолов В.Ф., Николаев Г.В., Максимов К.И.** Деаэрационные испытания конденсатора 300КЦС-1 / Результаты наладки и испытаний теплообменного оборудования турбин К-300-240: Тр. ЦКТИ / НПО ЦКТИ; Под ред. В.А. Пермякова. – Л.: ЦКТИ, 1969. – Вып. 94. – С. 63–70.