



ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА

О деаэрации подпиточной воды для теплофикационных систем

Шарапов В. И., доктор техн. наук

Ульяновский государственный технический университет



Шарапов В. И.

Рассмотрены отдельные аспекты обеспечения энергетической эффективности применения вакуумных деаэраторов на ТЭЦ. Установлено, что наиболее благоприятные условия для создания энергетически эффективных технологий вакуумной деаэрации обеспечиваются с помощью серийно выпускаемых горизонтальных струйно-барботажных вакуумных деаэраторов конструкции НПО «ЦКТИ». Предложен способ подготовки подпиточной воды теплосети на ТЭЦ, обеспечивающий технологически необходимый подогрев исходной воды перед вакуумным деаэратором и значительное повышение энергетической эффективности теплофикационной турбоустановки за счет снижения температуры обратной сетевой воды перед сетевыми подогревателями. Показано, что вакуумная деаэрация подпиточной воды при температуре 60 °С обеспечивает санитарно-эпидемиологическую безопасность открытых систем теплоснабжения.

Ключевые слова: вакуумная деаэрация, энергетическая эффективность, теплофикационные системы, санитарно-эпидемиологическая безопасность.

Технологии деаэрации подпиточной воды теплосети на ТЭС, и в первую очередь — температурные режимы деаэрации оказывают существенное влияние на тепловую экономичность электростанций и теплофикационных систем в целом. Особенно велико это влияние в теплофикационных системах с ТЭЦ, к которым подключены крупные открытые системы теплоснабжения. В 60-е годы прошлого века в НПО «ЦКТИ» специально для таких систем были разработаны струйно-барботажные вакуумные деаэраторы, позволяющие проводить деаэрацию при относительно невысокой температуре, что дает возможность использовать для нагрева теплоносителей перед деаэраторами пар высокоэкономичных низкопотенциальных отборов или отработавший пар турбин. В настоящее время эти деаэраторы серийно выпускает Саратовский завод энергетического машиностроения. Струйно-барботажные вакуумные деаэраторы получили широкое распространение на электростанциях страны. Схемы теплофикационных турбоустановок многих действующих ТЭЦ спроектированы непосредственно для использования вакуумных деаэраторов.

Результаты начального периода освоения вакуумных деаэраторов представлены в [1, 2]. В настоящей статье рассмотрим актуальные

проблемы применения вакуумных деаэраторов, и прежде всего — обеспечение их энергетической эффективности.

Конструктивные особенности вакуумных деаэраторов. На некоторых электростанциях применение струйно-барботажных вакуумных деаэраторов конструкции НПО «ЦКТИ» сопряжено с рядом трудностей. Практика показывает, что неудовлетворительная работа любых вакуумных деаэраторов обусловлена тремя основными причинами: несоблюдением технологически необходимого температурного режима деаэрации; плохой работой газоотводящих аппаратов; наличием неплотностей в вакуумной системе деаэрационной установки. В отдельных случаях к этим причинам добавляется недостаточность высоты установки вакуумного деаэратора для обеспечения свободного слива деаэрированной воды из деаэратора в бак-аккумулятор.

Особо следует отметить, что указанные причины неудовлетворительной работы относятся не только к струйно-барботажным деаэраторам конструкции НПО «ЦКТИ», они характерны для любых конструкций вакуумных деаэраторов, и при их устранении можно организовать хорошую деаэрацию. Тем не менее, не сумев наладить эффективную работу серийно выпускаемых вакуумных деаэра-

торов, многие специалисты переходят к их усовершенствованию или поиску “принципиально новой” конструкции, однако до сих пор такие попытки не увенчались успехом [3, 4].

В [3] дан сравнительный анализ серийно выпускаемых струйно-барботажных вакуумных деаэраторов и различных вариантов реконструированных деаэраторов. Показано, что деаэраторы конструкции НПО “ЦКТИ” существенно превосходят по массообменной и энергетической эффективности все реконструированные аппараты. Это обеспечивается прежде всего за счет хорошо развитой струйной ступени, которая позволяет осуществлять деаэрацию при минимальных температурах исходной и деаэрированной воды, хотя и приводит к некоторому увеличению габаритов аппаратов. Кроме того, реконструированные вакуумные деаэраторы значительно уступают серийным и по надежности [4].

В последние 10 – 15 лет на теплоэнергетических предприятиях начали применять вакуумные деаэраторы “принципиально новых” конструкций: щелевой “КВАРК”, аджиевский вакуумно-атмосферный кавитационно-струйный “АВАКС” и вихревой деаэратор конструкции Б. А. Зими́на. Появление деаэраторов “КВАРК” и “АВАКС” сопровождалось активной рекламной кампанией в научно-технических журналах энергетического профиля. Общими отличиями этих аппаратов являются распыл воды (или создание турбулизированного потока) в деаэраторе за счет повышенного давления исходной воды перед деаэратором, высокий подогрев исходной воды перед деаэратором (до 60 – 100 °С), отсутствие подачи греющего агента. Работа деаэраторов “КВАРК” и “АВАКС” достаточно подробно рассмотрена в [5, 6].

Особо следует отметить центробежно-вихревые деаэраторы конструкции Б. А. Зими́на [7]. По имеющимся данным, эти аппараты надежны и, несмотря на пониженную энергетическую эффективность, обеспечивают нормативное качество деаэрации, прежде всего в тех случаях, когда наладка их выполняется квалифицированно. Фирмой Б. А. Зими́на выпускаются центробежно-вихревые деаэраторы различных типоразмеров, производительность их варьируется от нескольких тонн в час до 1200 т/ч. К сожалению, в печати отсутствуют сколько-нибудь подробные сведения о промышленных испытаниях этих деаэраторов, что не позволяет в полной мере оценить их эффективность.

Как уже отмечалось, для обеспечения максимальной энергетической эффективности использования вакуумной деаэрации на ТЭС конструкции деаэраторов должны осуществлять обработку воды при минимально возможной температуре теплоносителей. Так, наиболее экономичные горизонтальные струйно-барботажные вакуумные деаэраторы НПО “ЦКТИ” обеспечивают эффективную деаэрацию при температуре исходной воды 35 – 45 °С, температуре воды, используемой в качестве греющего агента для вакуумной деаэрации, 90 – 100 °С и температуре деаэрированной воды 50 – 60 °С.

Схемы включения вакуумных деаэраторов в теплофикационные установки ТЭС должны давать возможности использовать энергетические преимущества низкотемпературной вакуумной деаэрации. Эти возможности обеспечиваются при подогреве теплоносителей перед вакуумными деаэраторами паром низкопотенциальных отборов и отработавшим паром теплофикационных турбин. Благодаря этому достигается максимальная высокоэкономичная выработка электроэнергии на тепловом потреблении. В свое время Департамент науки и техники РАО “ЕЭС России” утвердил использование удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении (в расчете на 1 м³ деаэрированной воды) в качестве критерия энергетической эффективности применения вакуумных деаэраторов в схемах теплофикационных установок [8, 9].

В первые два-три десятилетия освоения струйно-барботажных вакуумных аппаратов были созданы технологии подогрева теплоносителей перед деаэраторами, в полной мере обеспечивающие максимальный эффект комбинированной выработки электрической и тепловой энергии за счет вакуумной деаэрации [1, 2, 8]. Близкой к эталонной можно считать технологию подогрева теплоносителей перед вакуумной деаэрационной установкой большой производительности на Южной ТЭС в Санкт-Петербурге. На этой ТЭС исходная вода подогревается до 40 °С в мощных встроенных пучках конденсаторов турбин Т-250-240, а сетевая вода, используемая в качестве греющего агента в вакуумных деаэраторах, подогревается до 90 – 100 °С в теплое время года в верхнем сетевом подогревателе одной из турбин станции [10]. Применение этой технологии на Южной ТЭС дает экономию условного топлива до 100 тыс. т в год.

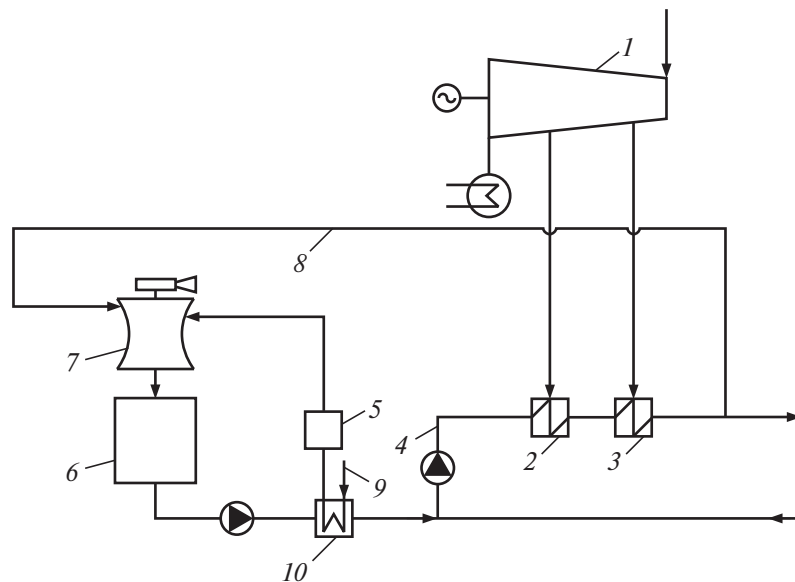


Схема подогрева исходной воды перед вакуумной деаэрацией деаэрированной подпиточной водой [11, 12]:

1 — теплофикационная турбина; 2 и 3 — нижний и верхний сетевые подогреватели; 4 — трубопровод сетевой воды; 5 — водоподготовительная установка; 6 — бак-аккумулятор; 7 — вакуумный деаэратор; 8 — трубопровод греющего агента; 9 — трубопровод исходной воды; 10 — подогреватель исходной воды

Естественно, что использование такой технологии возможно лишь на ТЭЦ, работающих по графику тепловых нагрузок. На ТЭЦ, работающих по графику электрических нагрузок (а в настоящее время большинство ТЭЦ переводится именно в такой режим работы), эта схема не обеспечивает надежного подогрева теплоносителей перед деаэраторами, поскольку режим работы подогревателей сетевой воды и встроенных пучков конденсаторов существенно изменяется в течение года. В отопительный период, когда турбины работают с минимальными пропусками пара в конденсаторы, не обеспечивается необходимый подогрев исходной воды во встроенных пучках до $35 - 45^\circ\text{C}$. В связи с недостаточностью подогрева исходной воды во встроенных пучках конденсаторов на большинстве ТЭЦ для подогрева исходной воды используют пар высокопотенциальных производственных отборов турбин. Это делает практически бессмысленным применение вакуумных деаэраторов, предназначенных для повышения энергетической эффективности ТЭЦ за счет увеличения расходов низкопотенциального пара и соответствующего увеличения выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

Однако следует отметить, что на ТЭЦ с вакуумными деаэраторами подпиточной воды теплосети имеются другие значительные, до настоящего времени не использованные резервы повышения энергетической эффективности. В последние годы в НИЛ “Тепло-

энергетические системы и установки” (НИЛ ТЭСУ) УлГТУ разработана технология подогрева исходной воды перед водоподготовительной установкой и вакуумными деаэраторами подпиточной воды теплосети, позволяющая обеспечить как необходимый температурный режим вакуумной деаэрации, так и существенное повышение энергетической эффективности использования пара низкопотенциальных отопительных отборов теплофикационных турбоустановок. Особенность предложенного решения заключается в том, что в качестве греющей среды в поверхностном подогревателе исходной воды используется деаэрированная подпиточная вода, которая после этого подогревателя подается в обратный трубопровод теплосети с температурой $35 - 45^\circ\text{C}$ [11, 12].

На рисунке приведена принципиальная схема ТЭС, работающей по предложенной технологии. Исходная вода нагревается до технологически необходимой температуры в поверхностном подогревателе 10. В вакуумном деаэраторе 7 исходная вода деаэрируется при температуре 60°C в соответствии с рекомендациями [8, 13], для чего в вакуумный деаэратор в качестве греющего агента подается перегретая сетевая вода. Деаэрированная подпиточная вода с температурой 60°C отводится из вакуумного деаэратора в бак-аккумулятор 6. Далее ее используют в качестве греющей среды в поверхностном подогревателе 10 исходной воды. Охлажденная в подогревателе 10 с 60 до $35 - 45^\circ\text{C}$ деаэриро-

ванная подпиточная вода подается в сетевой трубопровод 4 перед нижним сетевым подогревателем 2. Подача в обратный сетевой трубопровод охлажденной до 35 – 45 °С деаэрированной подпиточной воды позволяет существенно снизить температуру обратной сетевой воды. Так, при расходе обратной сетевой воды 3000 м³/ч, расходе подпиточной воды 1500 м³/ч, температуре исходной воды перед вакуумным деаэратором 40 °С температура смеси обратной сетевой и подпиточной воды перед нижним сетевым подогревателем в среднем за отопительный период на 6 – 7 °С ниже, чем в традиционных схемах с непосредственной подачей деаэрированной подпиточной воды после вакуумного деаэратора в обратный сетевой трубопровод.

Уменьшение температуры обратной сетевой воды перед сетевыми подогревателями приводит к снижению параметров пара отопительных отборов турбин и к соответствующему увеличению выработки электроэнергии на тепловом потреблении. Дополнительное повышение экономичности ТЭЦ достигается за счет отказа от использования для подогрева исходной воды высокопотенциального пара производственного отбора.

Расчет энергетической эффективности нового решения, выполненный с помощью методики удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении за счет отборов пара на подогрев теплоносителей в тепловой схеме водоподготовки [8, 9], показал, что годовая экономия условного топлива при реализации технологии [11, 12] на ТЭЦ достигает 20 тыс. т в расчете на одну турбоустановку Т-100-130.

О возможности применения вакуумных деаэраторов в открытых системах теплоснабжения. В Санитарных правилах и нормах (СанПиН) 2.1.4.2496–09 [14] изложены гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. В них, как и в более раннем издании СанПиН 1988 г., без какой-либо аргументации предписывается проводить деаэрацию воды для открытых систем теплоснабжения при температуре не менее 100 °С, т.е. запрещается применять вакуумную деаэрацию в открытых системах теплоснабжения. В этом противоречивом документе в качестве безопасной для систем горячего водоснабжения указывается температура 60 °С (почему же деаэрацию следует проводить при 100 °С?) и также отмечается, что для противонакипной обработки воды надо применять силикат натрия, хотя всем

известно, что этот реагент является скорее накипеобразующим и применяется в системах теплоснабжения совсем в других целях.

Понятно, что после выхода СанПиН [14] никто не стал отказываться от применения вакуумной деаэрации, как и после выхода правил в 1988 г. В то время по заданию Главтехуправления Минэнерго СССР специалистами НИЛ ТЭСУ УлГТУ совместно со специалистами научных и практических подразделений Минздрава СССР были проведены исследования, в результате которых определены безопасные в санитарно-эпидемиологическом отношении условия вакуумной деаэрации, в частности, установлено, что вполне достаточна температура 60 °С. На основе исследований разработаны рекомендации [13], позволившие снять запрет на применение вакуумных деаэраторов в открытых системах теплоснабжения. Это имеет большое значение, поскольку именно в открытых системах теплоснабжения применение вакуумных деаэраторов для обработки значительных количеств подпиточной воды позволяет существенно повысить энергетическую эффективность ТЭЦ.

Необходимо отметить, что рекомендации [13] не отменены, и многие проектные и эксплуатационные организации продолжают ими пользоваться. Эти рекомендации, а также подробный анализ СанПиН [14] приведены в [15].

Выводы

1. Применение вакуумной деаэрации подпиточной воды теплосети создает возможности для существенного повышения энергетической эффективности ТЭЦ и теплофикационных систем в целом.

2. Наиболее благоприятные условия для создания энергетически эффективных технологий вакуумной деаэрации обеспечиваются при применении серийно выпускаемых горизонтальных струйно-барботажных вакуумных деаэраторов конструкции НПО “ЦКТИ”.

3. Существующие технологии подготовки подпиточной воды теплосети на ТЭЦ с использованием вакуумной деаэрации имеют большие резервы повышения энергетической эффективности. Предлагаемый способ подготовки подпиточной воды теплосети на ТЭЦ обеспечивает технологически необходимый подогрев исходной воды перед вакуумным деаэратором и значительное увеличение энергетической эффективности теплофикационной турбоустановки за счет снижения температу-

ры обратной сетевой воды перед сетевыми подогревателями.

4. Выполнение требования СанПиН о проведении деаэрации подпиточной воды для открытых систем теплоснабжения при температуре не ниже 100 °С привело бы к существенному уменьшению энергетической эффективности теплофикационных систем. Вакуумная деаэрация подпиточной воды при температуре 60 °С обеспечивает санитарно-эпидемиологическую безопасность открытых систем теплоснабжения.

Список литературы

1. **Шарапов В. И.** Актуальные проблемы использования вакуумных деаэраторов в открытых системах теплоснабжения. — Теплоэнергетика, 1994, № 8.
2. **Шарапов В. И.** Подготовка подпиточной воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов. — М.: Энергоатомиздат, 1996.
3. **Шарапов В. И., Кувшинов О. Н.** Анализ эффективности вакуумных деаэрационных установок. — Теплоэнергетика, 1997, № 11.
4. **Шарапов В. И.** О реконструкции вакуумных деаэраторов. — Промышленная энергетика, 1999, № 5.
5. **Шарапов В. И., Макарова Е. В.** О прямоточных вакуумных деаэраторах. — Энергосбережение и водоподготовка, 2006, № 3.
6. **Шарапов В. И., Орлов М. Е.** Проверка деаэратора “АВАКС” в промышленной эксплуатации. — Энергосбережение и водоподготовка, 2008, № 2.
7. **Зимин Б. А.** Сможет ли Россия преодолеть техническое и технологическое отставание. Записки изобретателя. — М.: Изд-во “Новости теплоснабжения”, 2011.
8. **Шарапов В. И.** Рекомендации по выбору схем теплофикационных установок с вакуумными деаэраторами. — В кн.: Справочно-информационные материалы по применению вакуумных деаэраторов для обработки подпиточной воды систем централизованного теплоснабжения. М.: СПО ОРГРЭС, 1997.
9. **Методика** расчета энергетической эффективности технологий подготовки воды на тепловых электростанциях / В. И. Шарапов, П. Б. Пазушкин, Е. В. Макарова, Д. В. Цюра. — Изв. вузов. Проблемы энергетики, 2002, № 7 – 8.
10. **Пат. № 1366656 (СССР). МПК F 01 K 17/02.** Тепловая электрическая станция / В. И. Шарапов. — Открытия. Изобретения, 1988, № 2.
11. **Пат. № 2469955 (RU). МПК F 01 K 17/02.** Способ вакуумной деаэрации подпиточной воды теплосети на тепловой электростанции / В. И. Шарапов, С. Е. Фирсова, В. В. Птичкина. — Изобретения. Полезные модели, 2012, № 35.
12. **Пат. № 2469956 (RU). МПК F 01 K 17/02.** Способ вакуумной деаэрации подпиточной воды теплосети на тепловой электростанции / В. И. Шарапов, С. Е. Фирсова, В. В. Птичкина. — Изобретения. Полезные модели, 2012, № 35.
13. **Рекомендации** по применению вакуумных деаэраторов в схемах подготовки подпиточной воды для открытых систем теплоснабжения. — В кн.: Справочно-информационные материалы по применению вакуумных деаэраторов для обработки подпиточной воды систем централизованного теплоснабжения / В. И. Шарапов, О. Н. Кувшинов, С. П. Белотелов и др. М.: СПО ОРГРЭС, 1997.
14. **Санитарные** правила и нормативы СанПиН 2.1.4.2496–09. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Изменение к СанПиН 2.1.4.1074–01. — Российская газета, 22.05.2009, № 4916.
15. **Шарапов В. И.** О законодательных и нормативных актах по централизованному теплоснабжению. — Тр. Академэнерго, 2013, № 1.

vlad-sharapov2008@yandex.ru