

Вакуумная деаэрация воды для систем теплоснабжения

*Доктор техн. наук, профессор В.И. Шаранов
Ульяновский государственный технический университет*

Необходимость применения вакуумных деаэраторов при деаэрации подпиточной воды систем теплоснабжения доказана как теоретически [1-4], так и практически в ходе длительной эксплуатации ТЭЦ и котельных. Преимущества вакуумных деаэраторов перед деаэраторами других типов проявляются при использовании для деаэрации низкопотенциальных теплоносителей, что позволяет увеличить выработку электрической энергии на тепловом потреблении в теплофикационных турбоустановках ТЭЦ, понизить потери теплоты с уходящими газами в котельных установках [4]. При обработке подпиточной воды теплосети существенным преимуществом вакуумных деаэраторов является снижение потерь конденсата греющего пара с подпиточной водой [3]. В большинстве случаев при применении вакуумной деаэрации взамен атмосферной удается снизить капитальные затраты на сооружение деаэрационных установок [3].

Однако в связи с большей сложностью схем деаэрационных установок, необходимостью поддержания герметичности их вакуумных систем и значительным разнообразием тепловых и гидравлических режимов работы при эксплуатации вакуумных деаэраторов требуется достаточно высокая техническая культура обслуживающего персонала. На теплоэнергетических предприятиях с низкой культурой эксплуатации вакуумные деаэраторы эффективно работать не могут.

Несмотря на то, что на многих ТЭЦ и котельных серийно выпускаемые струйно-барботажные вакуумные деаэраторы давно освоены и работают весьма эффективно [1,2], нередки жалобы эксплуатационников на трудности обеспечения нормативного качества вакуумной деаэрации. Как правило, эти трудности связаны с проектными недоработками и недостаточной подготовкой инженерно-технического персонала. Не разобравшись в большом числе факторов, от которых зависит качество вакуумной деаэрации, специалисты этих предприятий, а также ряда исследовательских и наладочных организаций чаще всего пытаются решить проблемы противокоррозионной обработки установки новых, «хороших» вакуумных деаэраторов, тем более что в последние годы недостатка в рекламных предложениях нет.

Отметим, что все известные рекламные материалы не содержат самой необходимой информации о стадии разработки, режимах эксплуатации и гарантиях качества деаэрации в каждом режиме, компоновочных решениях, поскольку рекламируемые деаэраторы предлагается внедрить впервые (о чем не упоминается) или без серьезной экспериментальной проверки. Рекламируются намерения авторов разработки и желание продать творение собственного интеллекта или вообще что-нибудь продать.

Отметим, что в отношении рекламных материалов следует пользоваться правилом, сформулированным профессором МЭИ В.М. Бродянским: «Будь осторожен с рекламой и предложениями новых «сверхэффективных» процессов, машин и систем. Тщательно проверяй их, особенно в тех случаях, когда авторы ссылаются на высокие научные

авторитеты или, напротив, ниспровергают их» [6]. Однако там, где меньше знания – больше слепой веры в чудесное избавление от имеющихся трудностей.

В последние годы широко рекламируются как последнее чудо техники струйные аппараты «КВАРК» и «АВАКС» [6,7].

Даже из рекламных материалов, авторы которых плохо представляют, каким критериям должна соответствовать деаэрация воды в теплоэнергетических установках, видно, что эти деаэраторы по многим характеристикам уступают серийным аппаратам традиционных конструкций, прошедшим длительный эволюционный отбор.

Так, в материалах [6] сведения о массообменной эффективности и промышленных испытаниях щелевых деаэраторов предприятие-изготовитель МО «КВАРК» не приводит, утверждая, однако, что щелевые деаэраторы обеспечивают постоянное и устойчивое качество обработанной воды в широком диапазоне расходов и рабочих температур с полным исключением гидроударов, режимов захлебывания, влагуноса и проскоков недеаэрированной жидкости.

Информация МО «КВАРК» носит откровенно рекламный характер, что не позволяет использовать ее как вполне достоверную. Так, нельзя доверять даже утверждению о 4-20-кратном преимуществе щелевых деаэраторов перед обычными деаэраторами в весе. Например, масса ДЩ-300 составляет 650 кг, а ДА-300 - 1200 кг, т.е. ДЩ-300 легче ДА-300 менее чем в 2 раза. Многие данные о традиционных атмосферных и вакуумных деаэраторах, приведенные в [7], не соответствуют действительности.

Технически некорректным является утверждение об эффективной работе щелевых деаэраторов с температурой 95-99⁰С. Представляемая как преимущество работа деаэраторов без нагрева воды в них в действительности является существенным недостатком, т.к. требует значительного подогрева недеаэрированной воды перед деаэратором. Это снижает надежность подогревателей и трубопроводов исходной недеаэрированной воды и деаэрационной установки в целом. Кроме того, для эффективной десорбции коррозионно-активных газов в щелевых аппаратах необходимо поддерживать достаточно высокое давление воды перед деаэратором (величина которого не указывается в рекламных материалах), а, следовательно, требуются дополнительные энергетические затраты на деаэрацию. На ТЭЦ подогрев до столь высокой температуры всего потока исходной воды может привести к понижению эффективности использования низкопотенциальных отопительных отборов пара теплофикационных турбин.

Отметим общий для создателей «новейших» конструкций вакуумных деаэраторов недостаток: они не имеют представления о том, как сказываются на энергетической эффективности ТЭЦ или котельных параметры работы созданных ими аппаратов, прежде всего, - температурный режим деаэрации, давление обрабатываемой воды перед деаэратором, энергетические затраты на удаление выпара деаэратора.

Проверка работы щелевых деаэраторов на ряде котельных, проведенная сотрудниками ИГЭУ, показала, что эти аппараты по массообменной эффективности уступают традиционным типам деаэраторов [8].

В 2004 году Кинешемским машиностроительным заводом проведена беспрецедентная рекламная кампания по продвижению на рынок «ваккуомно-атмосферных кавитационно струйных» деаэраторов АВАКС (написание по паспорту деаэратора на компакт-диске, приложенному к статье [7]). Любопытная закономерность: чем хуже

аппарат, тем кудрявее он называется, тем наукообразнее становятся термины и тем больше грамматических ошибок в его описании.

В многочисленных рекламных статьях и материалах на компакт-дисках расписывались невероятные достоинства деаэраторов АВАКС: высочайшая массообменная и энергетическая эффективность, малые габариты, возможность вакуумной деаэрации со свободным сливом деаэрированной воды в емкости, на которых установлены эти устройства (в обычных вакуумных деаэраторах разность отметок деаэратора и бака должна составлять не менее 10 м). Пассажи из рекламных выступлений на видеоматериалах: «Впервые в мире..., АВАКС завоюет всю Россию и зарубежье..., не перевелись на Руси мастера...», - напоминали вдохновенную речь Остапа Бендера в Васюках. К сожалению, в эту рекламную кампанию вольно или невольно были вовлечены достаточно известные специалисты по водоподготовке и струйным аппаратам.

В двух из трех приложенных к статье [7] на компакт-диске «экспертных заключений» эффективность десорбции диоксида углерода вообще не оценивается, а в экспертном заключении Ивановского предприятия «Облкоммунэнерго» указывается, что остаточная концентрация диоксида углерода в деаэрированной воде после АВАКСов составляет $3,3 - 6,16 \text{ мг/дм}^3$ – столько, сколько содержится в необработанной водопроводной воде!

Лишь в одном экспертном заключении честно признавалось, что деаэратор испытывался в режиме рециркуляции (однако кратность рециркуляции не называлась и в выводах АВАКС рекомендовался к применению в схемах без рециркуляции). Покупатели АВАКСов не заметили такой «мелочи».

Тем не менее, в упомянутом выше паспорте деаэратора АВАКС гарантировалось обеспечение остаточного содержания кислорода менее 20 мкг/дм^3 и полное удаление свободной углекислоты, однако не указывались условия, при которых эти показатели качества могут быть достижимы. В стандарте на термические деаэраторы [9], например, четко указывается, что при определенных значениях щелочности и начального содержания диоксида углерода удаление этого растворенного газа не гарантируется. Разумеется, в паспорте не упоминалась возможность работы деаэратора только в режиме рециркуляции, т.е. о том, что АВАКС может деаэрировать только многократно деаэрированную воду.

Менее чем через год стали появляться резко негативные отзывы с предприятий, соблазненных внедрить АВАКС. Так, в мае 2005 г. на крупной конференции «Тепловые сети. Современные решения», проводившейся НП «Российское теплоснабжение», один из присутствовавших там инженеров рассказал, что на его предприятии после безуспешных попыток наладить с помощью АВАКСа деаэрацию это чудо вырезали и заменили в трубопроводе вставкой из обычной углеродистой стали. Уровень снижения концентрации кислорода в воде после прохождения контура установки остался прежним за счет поглощения кислорода при коррозии стальных трубопроводов. Отметим, что эффект «успешной» деаэрации воды в АВАКСе при многократной рециркуляции в значительной мере объясняется именно этим обстоятельством.

Затем появились несколько более полные данные об испытании АВАКСа, полученные сотрудниками МП «Ивгортеплоэнерго» и ИГЭУ [10,11]. В статьях [10,11] сделан четкий вывод о возможности эксплуатации АВАКСа только по рециркуляционным схемам с кратностью рециркуляции от 15 до 388. Об обычных схемах с одноразовым пропуском обрабатываемой воды через аппарат, по которым работают все

известные деаэраторы, не может идти речи. Из данных испытаний видно, что за 5 минут работы АВАКСа с рециркулирующей деаэрированной воды (при времени прохождения воды через деаэратор, измеряемом секундами или долями секунды) концентрация кислорода снижается всего лишь в 10 раз, например, с 4780 мкг/дм³ до 490 мкг/дм³.

Из приведенных в статьях [10,11] данных следует, что массообменная эффективность АВАКСа при единичном пропускании воды через него, т.е. в прямоточной схеме, в несколько раз ниже, чем эффективность серийных струйно-барботажных вакуумных аппаратов НПО ЦКТИ при работе их в режимах «холодной» деаэрации без подачи греющего агента в деаэраторы. Заведомо малоэффективные режимы «холодной» деаэрации изучались нами только для дополнительной сравнительной оценки совершенства различных конструкций аппаратов [1, 2].

Авторы статей [10,11] убедительно и корректно, мы бы сказали – деликатно, показали полную непригодность АВАКСов для практического применения в теплоэнергетике. Таким образом, очередные Нью-Васюки определенно не состоялись.

Отметим, однако, что сама по себе идея АВАКСа – вакуумной деаэрации путем отсоса газов из полости, образовавшейся в потоке воды с помощью завихрителя, – достаточно интересна. По нашему мнению, на ее основе можно было бы создать аппарат, в несколько раз превосходящий по эффективности АВАКС и пригодный для деаэрации воды с невысокой коррозионной агрессивностью (естественно, при использовании в единственно приемлемых схемах с одноразовым пропуском воды через деаэратор). Скорее всего, неудача «мастеров» из Кинешмы обусловлена недостаточными для реализации интересной идеи знаниями в областях аэрогидродинамики и деаэрации.

Мы будем рады, если где-то удастся добиться действительно хорошей деаэрации в АВАКСах и квалифицированно подтвердить это. К сожалению, на многих малых котельных далеко не всегда имеется химическая лаборатория. В связи с этим трудно представить, что на немногих упомянутых в рекламных материалах АВАКСа предприятий, на которых недолгое время эксплуатируются АВАКСы, проводились сколько-нибудь представительные наладочные испытания этих аппаратов. Наши коллеги попытались связаться с предприятиями-счастливцами, перечисленными в рекламных материалах, по указанным в них телефонам. Опрос показал то, что и следовало ожидать. Некоторые указанные в табличке телефоны оказались квартирными и хозяева этих квартир подумали, что их спрашивают про американский самолет «Авакс». Ряд телефонов принадлежит фирмам-перепродавцам. Там ответ звучал примерно так: «Мы продали АВАКСы куда-то на Северный Кавказ, откуда же нам знать, что с ними».

В якутском городе Мирном сказали, что у них в котельной стоит обычный атмосферный деаэратор «вроде бочки». В большинстве предприятий инженеры горько вздохнули: в Кривом Роге содержание кислорода после АВАКСа больше 100 мкг/дм³, в Нижнем Тагиле АВАКС не пошел, не смогли его запустить, в г. Истра АВАКС отключили за бесполезностью: качество работы плохое, а энергии на собственные нужды котельной пожирает много.

Все же нашли пару «положительных примеров». Так, в Новосибирске ответили, что содержание кислорода в норме, свободной углекислоты нет, потому что обрабатывают натрий-катионированную воду. Правда, работают с многократной рециркуляцией, поскольку гидравлическую нагрузку на АВАКС менять нельзя, деаэрация сразу испортится. Испытаний, конечно же, не проводили.

Что-то не похоже все это на новое слово в деаэрационной технике.

В 80-годы активно рекламировались прямоточные распылительные деаэраторы Ярославского политехнического института ДВПР [12]. Эти деаэраторы, в отличие от аппаратов КВАРК и АВАКС, предусматривали подачу в них греющего пара и имели хотя и невысокую, но гораздо большую эффективность, чем КВАРКи и АВАКСы.

Основными недостатками форсуночных распылительных деаэраторов ЯрПИ являются низкая массообменная и энергетическая эффективность из-за принятой в аппаратах прямоточной схемы движения потоков теплоносителей, а также трудность регулирования нагрузки деаэраторов: значительное изменение нагрузки может быть осуществлено только при изменении диаметров сопел. По этим причинам деаэраторы ЯрПИ не получили сколько-нибудь заметного распространения.

В последние годы предпринимаются попытки вновь рассказать о прелестях прямоточных распылительных деаэраторов, особенно частые в белорусском журнале «Энергия и менеджмент» [13]. Эти попытки, очевидно, рассчитаны на то, что в 21-м веке люди уже забыли об убедительных доказательствах преимуществ противоточных аппаратов перед прямоточными, полученных в веке 20-м.

Сотрудникам НИЛ ТЭСУ УлГТУ пришлось заняться сравнительной оценкой противоточных и прямоточных деаэраторов в связи с определением теоретически необходимого удельного расхода выпара в этих аппаратах [14]. Удельный расход выпара, т.е. удельный расход десорбирующего агента, в значительной степени определяет массообменную и энергетическую эффективность деаэраторов. Оказалось, что для достижения одинакового остаточного содержания растворенного кислорода в прямоточных аппаратах, к которым относятся рассмотренные выше АВАКСы, КВАРКи и деаэраторы ЯрПИ, теоретический удельный расход выпара должен быть примерно в 100 раз больше, чем в противоточных деаэраторах!

Из материального баланса процесса десорбции легко определить, что требуемого ПТЭ [15] нулевого содержания растворенного диоксида углерода в воде при прямотоке можно достичь только при бесконечно большом (!) удельном расходе выпара [14]. Нам кажется, приведенных данных достаточно для того, чтобы навсегда прекратить досужие размышления об энергетических и массообменных преимуществах прямоточных деаэраторов перед противоточными.

Содержащееся в работе [12] утверждение, что увеличение удельного расхода выпара в деаэраторах до 10-30 кг на 1 т деаэрированной воды (в несколько раз выше регламентированных стандартом [9] величин!) позволяет повысить эффективность работы деаэратора и производительность деаэрационной установки, свидетельствует о полном непонимании автором этой книги сути массообменной и энергетической эффективности термической деаэрации.

Точно также, как информация в статье [13] о том, что замена серийно выпускаемых струйно-барботажных деаэраторов ДВ-400 на прямоточные ДВПР-400 якобы позволила что-то улучшить (конкретные данные, разумеется, не приводятся) говорит только о неумении авторов выполнять наладку широко распространенных и весьма эффективных аппаратов ДВ-400 и о страстном стремлении заменить их на собственные творения. Из текста статьи [13], в частности, видно, что авторы не подозревают о наличии в деаэраторах ДВ-400 встроенных охладителей выпара.

Сказанное не означает, что прямоточные аппараты не должны применяться в теплоэнергетических установках. Важно правильно определить сферу их применения. Они применимы для реализации в них процессов с малым диапазоном регулирования гидравлических нагрузок и невысокой интенсивностью теплообмена, например, конденсации сбросных потоков отработавшего в промышленных установках пара, обеспыливания газов.

Анализ массообменной и энергетической эффективности вакуумных деаэраторов показал, что из применяемых в настоящее время конструкций лучшие показатели имеют серийные аппараты горизонтального типа [2]. Многолетняя эксплуатация горизонтальных вакуумных деаэраторов позволила накопить значительный опыт совершенствования технологий водоподготовки и схем теплофикационных установок с их применением. На ТЭЦ и котельных с высоким уровнем культуры эксплуатации эти аппараты работают экономично и обеспечивают нормативное качество деаэрации [1, 2].

Отметим, однако, что изготовитель этих деаэраторов Саратовский завод энергетического машиностроения не уделяет должного внимания текущей работе по совершенствованию конструкций и схем включения вакуумных деаэраторов в теплоэнергетические установки, а также не прилагает к поставляемым деаэраторам подробную инструкцию по их эксплуатации. Отсутствие необходимого технического сопровождения приводит к тому, что эксплуатационники становятся жертвой не весьма добросовестной рекламы.

Наш опыт показывает, что эффективность работы вакуумных деаэраторов зависит не столько от их конструкции, сколько от условий эксплуатации. Организация эффективной работы вакуумных деаэраторов возможна лишь при высоком качестве проектирования теплофикационных установок и достаточной квалификации наладочного и эксплуатационного персонала. Тепловые схемы ТЭЦ и котельных должны обеспечивать стабильное поддержание технологически необходимых режимов вакуумной деаэрации, которые определяются типом применяемых деаэраторов, качеством исходной воды и методами ее додеаэрационной обработки. При эксплуатации вакуумных деаэрационных установок должен осуществляться комплекс эффективных мер по поддержанию герметичности их вакуумной системы, обеспечению отвода пара из деаэраторов, режима работы сливных трубопроводов и баков-аккумуляторов, регулированию процесса деаэрации [1, 2, 16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарапов В.И. Подготовка подпиточной воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов. М.: Энергоатомиздат. 1996. 176 с.
2. Шарапов В.И., Цюра Д.В. Термические деаэратеры. Ульяновск: УлГТУ. 2003. 560 с.
3. Шарапов В.И. Актуальные проблемы использования вакуумных деаэраторов в открытых системах теплоснабжения// Теплоэнергетика. 1994. № 8. С. 53-57.

4. Шарапов В.И., Орлов М.Е. Технологии обеспечения пиковой нагрузки систем теплоснабжения. М.: Изд-во «Новости теплоснабжения». 2006. 208 с.
5. Бродянский В.М. Аксиомы энергосбережения// Материалы IV РНТК «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности». 24-25 апреля 2003 г. Ульяновск: УлГТУ. 2003. Том 2. С. 5,6.
6. [http// www.kwark.ru](http://www.kwark.ru)
7. Деаэраторы «АВАКС». // АВОК. 2004. № 6 (статья и приложенный к журналу компакт-диск).
8. Виноградов В.Н., Шатова И.А. Первичное энергетическое обследование и проблемы водоподготовки котельных// Материалы IV РНТК «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности». 24-25 апреля 2003 г. Ульяновск: УлГТУ. 2003. Том 2. С. 240-243.
9. ГОСТ 16860-88*. Термические деаэраторы. М.: Изд-во стандартов. 1989.
10. Шатова И.А., Барочкин Е.В., Ледуховский Г.В. Выбор схемы включения прямоточных деаэрационных устройств// Материалы IV Российской научно-практической конференции «Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования». Иваново: ИГЭУ. 2005. С. 63-65.
11. Шатова И.А., Барочкин Е.В., Ледуховский Г.В. Оценка влияния октадециламина на деаэрацию химочищенной воды// Материалы IV Российской научно-практической конференции «Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования». Иваново: ИГЭУ. 2005. С. 66-69.
12. Галустов В.С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике. М.: Энергоатомиздат. 1989. 240 с.
13. Галустов В.С., Розенберг Л.А. Утилизация тепла и конденсата паровых выбросов// Энергия и менеджмент. 2004. № 4-5. С. 17-19
14. Шарапов В.И., Малинина О.В., Цюра Д.В. О предельной массообменной и энергетической эффективности термических деаэраторов// Энергосбережение и водоподготовка. 2003. № 2. С. 61-64.
15. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. 16-е издание. Екатеринбург: Уральское юридическое изд-во. 2003. 256 с.
16. Шарапов В.И. О реконструкции вакуумных деаэраторов// Промышленная энергетика. 1999. № 5. С. 17-20.

Сведения об авторе: Шарапов Владимир Иванович, доктор техн. наук, профессор, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, зав. кафедрой ТГВ, руководитель НИИ «Теплоэнергетические системы и установки» Ульяновского государственного технического университета (432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, УлГТУ, кафедра ТГВ).

Перепечатано из журнала «Водоочистка», №1, 2007