

УДК 621.772

Н.Б. КАРНИЦКИЙ, д.т.н., профессор (БНТУ)
И.А. КОВШИК, аспирант (БНТУ), инженер ОАО «Белэнергоремналадка»
г. Минск

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ОВАЛЬНОСТИ ДЕАЭРАТОРОВ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ТЭС

Вопросы безопасности оборудования ТЭС стояли всегда остро – высокие параметры среды, опасность воздействия высоких температур на персонал, и.т.д. Именно сейчас, вследствие устаревания оборудования эта проблема становится особо важной. Невозможность замены отработавшего свой ресурс оборудования, исходя из экономических соображений, требует более тщательного подхода к изучению изменению свойств металла.

Цель данной статьи – сделать обзор ряда проблем баков деаэраторов в течении всего срока эксплуатации. Эти виды сосудов имеют наибольший объем из множества сосудов работающих под давлением на ТЭС и наибольшую толщину стенки. Особенность их компоновки на ТЭС – это расположение на деаэрационной этажерке, которая находится между котельным и турбинным цехом, над помещениями щита управления. В случае аварии, более 60 тонн воды при температуре более 164 °С могут привести к тяжелым последствиям при попадании в эти помещения.

К 2017 году 85 % процентов баков деаэраторов повышенного давления с толщиной стенки 10..16 мм, установленных на ТЭС в странах бывшего СССР, отработали расчетный (назначенный) срок службы, устанавливаемый для деаэраторов высокого давления заводами изготовителями (Бийский котельный завод, Таганрогский котельный завод), который равен 30 лет.

Рассмотрим данную ситуацию применительно к Республике Беларусь (далее – РБ), согласно пункту 407 правил Госпромнадзора РБ [1] после отработки расчетного (назначенного) срока эксплуатации проводится техническое диагностирование в целях определения возможности, параметров и условий дальнейшей эксплуатации этого оборудования, включающее методы неразрушающего контроля для получения информации о фактическом состоянии металла.

На предприятиях и организациях входящих в ГПО «Белэнерго» Министерства энергетики РБ, эксплуатирующих сосуды под давлением, распространяется стандарт [2], который устанавливает порядок и правила проведения технического диагностирования сосудов для продления их срока службы.

Согласно СТП 33240.17.429-18 [2] одним из критериев технического состояния сосуда является относительная овальность корпуса.

Относительную овальность цилиндрических элементов определяют путем измерения максимального (D_{max}) и минимального (D_{min}) диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях контрольного сечения. Величина овальности (a) в процентах рассчитывают по формуле:

$$a = \frac{2 \cdot (D_{max} - D_{min})}{D_{max} + D_{min}} \cdot 100\% ,$$

где: D_{max} и D_{min} – наибольший и наименьший наружные диаметры, измеренные в одном сечении, мм.

Техническое диагностирование деаэраторов на самых крупных ТЭС РБ выявило изменение относительной овальности корпусов деаэраторов сверх нормативных норм. Величины предельных значений относительной овальности приведены в таблице.

Таблица – Сравнение предельных значений относительной овальности для некоторых электростанций

Наименование ТЭС	Марка деаэратора, давление, МПа	Максимальное значение относительной овальности, a , МПа	Предельное значение овальности согласно	
			СТП [2]	ОСТ 26 291-94[3], правилам Госпромнадзора [4]
Начальные параметры ТЭС ВД: $P_0 = 12,8$ МПа $t_0 = 545$ °С $t_{min} = 545$ °С	Д-7 0,68	6,2	1,5 %	1% 1,5 % для сосудов при отношении толщины корпуса к внутреннему диаметру 0,01
Начальные параметры ТЭС СКД: $P_0 = 23,8$ МПа $t_0 = 545$ °С $t_{min} = 545$ °С	Д-7 0,68	6,1		0,5 % для сосудов работающих под вакуумом или наружном давлении

Для более детального изучения проблемы, были изучены документы, описывающие ремонты деаэраторов за весь период эксплуатации. Известно, что изначально баки деаэраторов повышенного давления оснащались изнутри приварными кольцевыми ребрами жесткости. В процессе эксплуатации, в области приварки ребер к телу бака в 1970-х годах, практически на всех обследованных деаэраторных баках повышенного давления были обнаружены дефекты (трещины).

Наибольшее количество трещин было выявлено в местах приварки ребер жесткости. Трещины развивались от внутренней поверхности баков. Глубина трещин, как правило, составляла 2-5 мм (в отдельных случаях были сквозные) длина 10-40 мм, иногда около 1 м. Появлению повреждений в процессе эксплуатации деаэраторных баков вызывали особенности конструкции и изготовления (высокие местные напряжения в местах приварки ребер к обечайке, неудовлетворительное качество изготовления).

Опыт показал, что на ряде электростанций через 5-7 лет работы после проверки и последующего ремонта, в деаэраторах в местах приварки ребер жесткости к бакам, вновь стали обнаруживаться трещины, вплоть до сквозных. В связи с накопленным опытом, Главное техническое управление по эксплуатации энергосистем СССР в 1982 году выпустило противоаварийный формуляр [5], в котором рекомендовало главным инженерам ТЭС с деаэраторами повышенного давления (0,58 и 0,68 МПа) отработавшим после предыдущего контроля 50 тыс. ч. и более, произвести реконструкцию в ближайший капитальный ремонт. Реконструкция заключалась в удалении ребер жесткости, а также проведении усиления участков обечайки под деаэрационной колонкой и опорами.

Последующий опыт эксплуатации деаэраторов, реконструированных в соответствии с рекомендациями противоаварийного формуляра [5] показал, что на многих деаэраторах после удаления ребер жесткости, обечайка бака теряла геометрическую форму круга и росла относительная овальность.

Предельные значения овальности согласно нормативным документам [2-4] не должны превышать 0,5..1,5%. Такое условие можно считать уместным при изготовлении сосудов, поскольку это требование ужесточает технологическую дисциплину производства: обеспечивает качественную сборку и надежность конструкции [6]. При эксплуатации же решающим условием работоспособности объекта является условия его статической и циклической прочности.

В связи с этим, при повышении относительной овальности корпуса бака деаэратора выше значения 1,5 %, в соответствии с пунктом 7.9.4 СТП [2] выполняется расчет на статическую и усталостную прочность с учетом фактического состояния металла и геометрических характеристик бака.

Существуют нормативные документы [7, 8], позволяющие выполнить оценку прочности овального сосуда. При расчете по ГОСТ Р [7] значение допускаемой овальности для деаэраторов повышенного давления допускают свыше 6%, а по РД [8] оно равно 1%. Расчеты по РД [8] базируются на том, что возникают зоны пластических шарниров на осях обечайки, которые и вызывают рост овальности. Многочисленные эксперименты показали, что под действием внутреннего избыточного давления (при нормальном режиме работы деаэратора) обечайка рихтуется и исходная относительная овальность уменьшается до допустимой, это подтверждается опытом эксплуатации сосудов которые по РД [8] не проходят, а по ГОСТ Р [7] удовлетворяют условию прочности.

Для проверки этого утверждения, были произведены эксперименты, позволяющие динамически оценить изменение овальности при вводе деаэраторов в рабочее состояние. На ряде ТЭС было установлено специальное приспособление контролирующее изменение вертикального диаметра бака. На рисунке приведены результаты изменения вертикального диаметра.

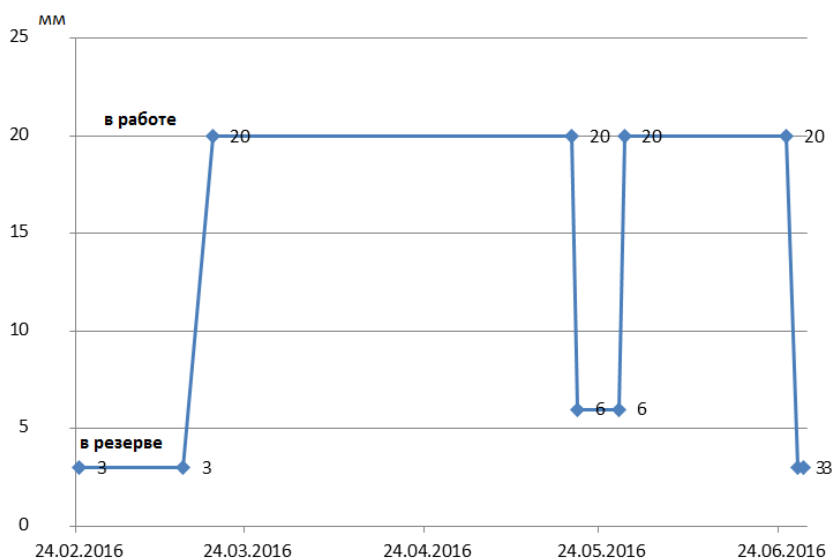


Рисунок – Динамика изменения вертикального диаметра бака

Из анализа результатов следует, что при вводе деаэратора в рабочее состояние вертикальный диаметр увеличивался максимально на 20 мм. При полном останове вертикальный диаметр возвращался в исходное состояние. Это свидетельствует о том что относительная овальность обечайки деаэратора изменяется незначительно и остаточной деформации не наблюдается.

Несмотря на это, на ряде деаэраторов на внутренней поверхности деаэратора вдоль нижней образующей были выявлены трещины. Данное

место особенно опасно, т.к. концентрация механических напряжений при наличии овальности и нормальной работе деаэратора в нем достигает наибольшей величины.

Также одной из проблем является то, что при сливе воды из деаэратора внутреннее давление в баке может опуститься ниже атмосферного. Это возможно, если слив воды будет находиться ниже уровня бака и отсутствует сообщение с атмосферой. Внутреннее давление в баке в таком случае будет равно разности между атмосферным давлением и давлением столба воды, высотой от бака до точки слива. Расчёты на прочность показывают более высокие возникающие напряжения в овальном сечении бака деаэратора при нагружении наружным давлением по отношению к случаю когда бак нагружен внутренним избыточным давлением.

Выводы:

1. В качестве усиления бака деаэратора необходимо использовать устанавливаемые внутри бака неприварные (плавающие) кольцевые ребра жесткости.
2. Избегать возникновения вакуума в деаэраторе при сливе.
3. Работникам ТЭС следует организовать непрерывный контроль динамики овальности баков деаэраторов (при повышении относительной овальности)

Список литературы:

1. Правила по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (утвержденные Постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 28.01.2016 № 7). – Минск : 2016. – 200 с.
2. СТП 33240.17.429-18 Инструкция по продлению срока службы сосудов, работающих под давлением. – Минск : БелТЭИ, 2018. – 89 с.
3. ОСТ 26-291-94 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. – Москва : НПО ОБТ, 1994. – С. 335
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (утвержденные Постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 27.12.2005 № 56). – Минск : БОИМ, 2005. – С. 290
5. Противоаварийный формуляр № Ц-02-82 (Т) от 11.02.1982. – Москва: Главное техническое управление по эксплуатации энергосистем СССР, 1982. – С. 9
6. Долинский, В. М. Оценка работоспособности сосудов с овальностью : / В. М. Долинский, В. Н. Стогний, В. И.Черемская. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 2013. – №1. С. 51–52

7. ГОСТ Р 52887.11 – 2007. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек. – Москва : Стандартиформ, 2009. – 10 с.

8. РД 26-6-87 Методы расчета на прочность с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек. – Москва : 1987. – 28 с.