

УДК 621.184.004

**АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ КОТЛОВ
ТИПА ДКВР**

Т.С. Тайлашева

Томский политехнический университет

E-mail: taylasheva@tpu.ru

Тайлашева Татьяна Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института ТПУ. E-mail: taylasheva@tpu.ru
Область научных интересов: исследование надежности работы циркуляционных систем паровых котлов в условиях изменения параметров рабочей среды, качества водоподготовки.

Представлен аналитический обзор опыта эксплуатации промышленных и отопительных двухбарабанных паровых котлов отечественного производства, актуальность которого определяется, с одной стороны, распространенностью котлов данного типа в малой энергетике России и стран СНГ; с другой стороны, связанное с этим количество публикаций позволяет ставить задачу обобщающего анализа, имеющего целью выявить основные направления улучшения эксплуатационных показателей, что имеет большое значение для определения перспектив и уточнения условий использования. Основные причины снижения надежности работы котлов, подтверждаемые статистикой эксплуатационных инцидентов, состоят в сочетании специфики конструктивного исполнения испарительной системы, требующей уделить особое

внимание водно-химическому режиму и качеству питательной и котловой воды, с неконтролируемыми и нередкими в практических условиях превышениями локальных тепловых нагрузок топочных экранов. Полученные выводы могут послужить основой как для выработки корректирующих мероприятий на всех стадиях жизненного цикла паровых котлов данного конструктивного ряда, так и для определения эффективных направлений научного обеспечения этих мероприятий.

Ключевые слова:

Двухбарабанный паровой котел, топочная камера, конвективный пучок, циркуляционная схема, ступенчатое испарение.

В опубликованной информации об эксплуатации и исследовании двухбарабанных промышленных и отопительных котлов особое внимание уделено котлам типа ДКВР. Такой факт объективно обусловлен следующими обстоятельствами: распространенность этой конструкции; возможность многоцелевого использования в качестве источника тепло- и пароснабжения; приспособленность к широкому диапазону качества исходной воды.

В публикациях обсуждались не только эксплуатационные ситуации [1, 2, 3–5] или возможности модернизации [6, 7, 8], но и перспективы дальнейшего использования котлов [9–11]. Вместе с тем со всей очевидностью обозначена проблема эксплуатационной надежности котлов типа ДКВР-20 [1, 2, 5–8, 12–15].

Накопленные опытом многочисленные факты, в отдельных случаях подтвержденные специально предпринимавшимися исследованиями, позволили обозначить основные причины эксплуатационных инцидентов. Подавляющее большинство причин связано со следующими факторами: нарушение уровня котловой воды в верхнем барабане, отклонение в проведении режима периодической и непрерывной продувок, превышение тепловых нагрузок, солесодержания котловой воды, повышенная скорость роста внутренних отложений в трубах и т. п. При этом статистика аварий [7, 8, 13–15] показывает, что среди них преобладающее число связано с повреждением труб бокового экрана солевого отсека испарения.

Объяснения этому основываются на конструктивных особенностях котлов и на специфике условий эксплуатации. Так, в силу конструктивного и схемного исполнения солевых отсеков с выносными циклонами включенные в них испарительные поверхности нагрева значительно уступают по надежности другим элементам котла. Это выражается, в частности, в том, что из этих поверхностей нагрева при нарушении режимов продувки опережающими темпами

уходит вода, имеет место самое высокое солесодержание, а также повышенное содержание накипеобразующих примесей в котловой воде. Убедительным доказательством этому является конкретное заключение специалиста: «Относительная паропроизводительность второй ступени испарения достигает 40 % от общей производительности котла, в то время как ее поверхность нагрева составляет всего лишь 12 % общей поверхности. Если же рассматривать только тепловосприятие экранов, то на долю солевого отсека приходится до 73 % от тепловосприятия всех экранов» [15]. Совершенно очевидно значительное влияние удельной тепловой нагрузки на надежность испарительных элементов.

Наиболее полные исследования факторов, влияющих на аварийность котлов ДКВР-20, изложены в работах ЦКТИ [1, 2, 5, 7, 13–15]. Установлено, что повреждения труб вызваны образованием внутренних отложений, которые ведут к увеличению термического сопротивления многослойной системы и при достижении некоторой его величины – к перегреву стенки трубы.

Поскольку накипеобразование пропорционально концентрации накипеобразующих солей в воде, то существует предельное солесодержание котловой воды, индивидуальное для каждого сочетания циркуляционной схемы и режимных условий работы котла. Предельное солесодержание котловой воды в каждом отдельном случае определяется несколькими критериями: необходимым качеством пара, накипеобразованием, экономической целесообразностью.

В схемах ступенчатого испарения с выносными центробежными циклонами влажность пара на выходе из сепаратора данного типа при правильном выборе конструкции не зависит от солесодержания котловой воды [14, 16, 17]. Данное обстоятельство позволяет увеличивать солесодержание котловой воды без вреда для качества пара на выходе из сепарационного устройства. В свою очередь, поскольку влажность насыщенного пара из выносных циклонов не зависит от солесодержания котловой воды, в процессе проведения теплотехнических испытаний и пусконаладочных работ на ряде предприятий часто задается чрезмерно завышенное значение общего солесодержания котловой воды, хотя для котлов типа ДКВР со ступенчатым испарением оно рекомендовано в диапазоне от 6000 до 10 000 мг/кг [18].

Исходя из этих соображений и опытных данных, в качестве одной из причин ускоренного образования внутренних отложений в солевом отсеке называют несоответствующий режим выполнения непрерывной продувки [1]. В большинстве случаев продувка организована по принципу поддержания общего солесодержания в пределах допустимых значений, в то время как для схем со ступенчатым испарением приемлемым является поддержание величины продувки с учетом степени упаривания воды по отсекам испарения [1, 13]. Концентрация накипеобразующих соединений в котловой воде солевого отсека изменяется пропорционально степени упаривания и определяется качеством питательной воды. Нередки случаи, когда совершенно одинаковые по конструкции котлы, которые работают на одинаковом топливе, но установлены в разных регионах, оказываются в разных условиях по образованию накипи. Причина этому одна – различное качество питательной воды. Установлено, что за счет ведения водно-химических режимов, при которых ограничивается максимальное значение степени упаривания, срок эксплуатации котла между очистками внутренних поверхностей нагрева солевого отсека увеличивается до трех лет и более [13].

Нет необходимости доказывать, что обеспечение эксплуатационной надежности котлов за счет организации водоподготовки и ведения водно-химического режима возможно лишь при достаточно высокой квалификации обслуживающего персонала. К сожалению, при столь большой распространенности котлов ДКВР и разнообразии условий их применения пока это требование повсеместно не может быть соблюдено. Как бы то ни было, уровень профессиональной подготовки обслуживающего персонала в работах [13, 15, 19] называется наравне с другими факторами обеспечения надежности котлов ДКВР-20. Например [1, 15], в первые годы эксплуатации котлов ДКВР-20 обслуживающий персонал промышленно-отопительных котельных зачастую не был готов к работе с более мобильными и менее инерционными котлами со ступенчатым испарением, в отличие от других типоразмеров котлов ДКВР. И сегодня в случае удовлетворительного обслуживания сказывается отсутствие возможности в режиме реального времени отслеживать и контролировать основные эксплуатационные показатели работы котла [15].

Другим важным и общим условием для обеспечения надежности паровых котлов путем управления качеством питательной воды и поддержания оптимального диапазона содержания циркулирующей в контуре воды является необходимость содержать водно-аналитическую лабораторию для обеспечения химического контроля за котловой водой и паром. Это доступно для крупных котельных, а в других условиях не всегда является приемлемым по причине излишнего удорожания стоимости единицы получаемого пара и отпущенного тепла.

Пользуясь известной [20] зависимостью $A = f(C, q^n)$ (где A – интенсивность накипеобразования; C – концентрация накипеобразующих веществ в воде; q – тепловой поток), интенсивность тепловой нагрузки на экраны в ряде работ [1, 7, 12, 15, 21, 22] также относят к основным причинам выхода из строя экранных труб. Однако при этом отсутствуют результаты исследований, связывающих условия ведения топочного процесса с изменением тепловых потоков. Лишь в некоторой мере исключением является публикация [12], в которой приводятся численные данные (без указания способа и средств их получения) о распределении тепловых потоков по стенке котла ДКВР-20-13 при сжигании мазута. Установлено, что наличие высокотемпературного ядра горения в окрестности экранных труб, создаваемого за счет «мелкодисперсного распыла мазута или тщательного перемешивания газа с воздухом, приводит к сгоранию топлива в небольшом объеме в непосредственной близости от горелок» [12].

Горелочные устройства типа ГМГ, применяемые в данном котле, создают неравномерное распределение тепловой нагрузки по длине топки за счет короткого факела [2,3,6]. Основные рабочие горелки при проектировании обычно рассчитывались с учетом работы в форсированных режимах. Поэтому эти горелки при переводе серийно выпускаемых котлов ДКВР-20 на сжигание природного газа способны обеспечивать работу котла при паропроизводительности до 150 % от номинальной. Однако реально значительная часть котлов работает в диапазоне нагрузки от 50 до 100 % или в переменных режимах, что обуславливает неоптимальную работу горелок.

Изучение работы газомазутных котлов ДКВР с горелками ГМГ [2] показало несоответствие между реальной паропроизводительностью котла и теплопроизводительностью горелочных устройств. В переменных режимах несения нагрузки горелочные устройства не обеспечивают устойчивого эффективного горения топлива. При работе горелочных устройств в диапазоне 25...65 % от номинальной нагрузки наблюдается понижение скорости движения газовоздушной смеси, ухудшение смесеобразования и, как следствие, снижение КПД котлов на 2–3 %. В поисках способа повышения эффективности сжигания природного газа и мазута в горелках ГМГ была предложена установка подпорного кольца к регистру вторичного воздуха [2]. Данный способ реконструкции горелочных устройств показал свою целесообразность при эксплуатации котлов в широком диапазоне нагрузки: от 100...120 % и ниже от номинала.

Эти результаты позволяют заключить, что для условий нестационарных и пониженных режимов работы газомазутных котлов ДКВР является актуальным тщательный выбор режимов работы горелочных устройств, а на стадии проектирования котлов – подробная проработка компоновки горелок.

Широкая распространенность и многочисленность находящихся в эксплуатации котлов типа ДКВР-20, казалось бы, должны обеспечить обширную и общеприемлемую для корректировки конструирования информацию о фактах, определяющих надежность. Однако на самом деле это существенно затрудняет анализ имеющихся данных, поскольку имеет место очень разнообразная специфика сочетания эксплуатационных факторов.

Помимо уже упоминавшихся отличий в качестве питательной воды и ведении водно-химических режимов, одним из аспектов этой специфики для многих сфер промышленной энергетики является прямая зависимость работы котлов от условий работы основного производства. Сезонные изменения потребности в технологическом паре для ряда промышленных предприятий имеют чрезмерно широкий диапазон: от нагружения по максимуму до 150 % от номинальной паропроизводительности до разгрузки в глубокий минимум вплоть до 15 %. При этом суточные изменения нагрузки по технологическим условиям в том же диапазоне могут происходить неоднократно. Такой режим работы оборудования зачастую связан с минимизацией затрат на получение промышленного пара и сокращением периода работы без производст-

венной нагрузки. Как бы то ни было, в таких условиях нельзя исключать нарушения естественной циркуляции, прежде всего в контуре с наиболее высокими гидравлическими сопротивлениями, что наряду с другими рассмотренными выше особенностями работы котлов может приводить к разрушению экранных труб.

Для корректности анализа имеющихся сведений, обобщающих опыт эксплуатации, следует также иметь в виду, что задействованные на разных предприятиях котлы данного типа в своем большинстве выработали положенный ресурс, однако все еще находятся в эксплуатации. В связи с этим проводятся их капитальные ремонты с частичной или полной заменой поверхностей нагрева, коллекторов и сепараторов, а иногда и барабанов. Наряду с этим среди эксплуатируемых котлов есть такие, которые подвергались неоднократным реконструкциям и изменениям. Причинами конструктивных изменений являлись главным образом: возможность или необходимость перевода котла на сжигание непроектного топлива; стремление к повышению экономичности работы котла; изменение параметров пара и изменение нагрузки котла (в связи с изменением технологии использования промышленного пара); необходимость устранения последствий эксплуатационных нарушений режимов работы. Распространенным вариантом реконструкции является перевод котлов на сжигание непроектного вида топлива. Это может сочетаться с понижением рабочих параметров насыщенного пара, а иногда и паропроизводительности в связи с изменением сезонной потребности в отпускаемом тепле и паре.

Обобщая накопленный опыт использования котлов ДКВР-20, можно отметить, что для устранения основных причин аварийных повреждений предлагается [15] ряд весьма сложных и несомненно дорогостоящих мероприятий, связанных с изменением как условий и организации эксплуатации, так и конструктивных решений. В совокупности работ, опубликованных по рассмотренной проблеме [2–8, 13–17, 19, 23, 24], эти мероприятия сводятся к следующему: улучшение качества питательной воды промышленных котлов с выносными циклонами; организация и наладка режимов основной и периодической продувок; наладка режимов горения топлива с возможной заменой горелочных устройств с целью снижения местных тепловых напряжений; контроль уровня разности воды в барабане и выносном циклоне; организация эффективной рециркуляции в солевом контуре с применением специальных схем и устройств; изменение местоположения солевого отсека с переносом его в область меньших тепловых нагрузок.

Отмечая в целом недостаточность, а иногда и неоднозначность оценок, вытекающих из обобщения опыта эксплуатации, можно привести такое, например, заключение: «По данным котлонадзора, котлы ДКВР являются наиболее надежными из существующих типов отечественных котлов. В то же время следует отметить, что котлы производительностью 20 т/ч требуют более квалифицированного персонала, безнакипного водного режима и применения автоматического регулирования процессов питания и горения» [25].

Приходится констатировать также недостаточность научных исследований по вопросам надежности и работоспособности котлов типа ДКВР-20 как наиболее распространенного представителя конструктивного ряда двухбарабанных водотрубных котлов. С одной стороны, установлена значимость таких факторов, как солесодержание котловой воды и организация соответствующего водно-химического режима, удельный тепловой поток, изменение параметров циркуляции в контурах в связи с нагрузкой котла. С другой стороны, количественные оценки этих факторов либо не указаны, либо даны для единичных исследованных случаев. Наконец, кроме работы [1], нельзя привести примера исследований, направленных на комплексное изучение взаимосвязи выявленных факторов, и тем более – применительно к широкому диапазону режимов работы котлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акопьянц Б.Е. Особенности эксплуатации котлов ДКВР-20 / Б.Е. Акопьянц, В.П. Артемьев, Б.Л. Кокотов // Энергомашиностроение. – 1971. – № 3. – С. 10–11.
2. Тасс А.О. Повышение эффективности горелок ГМГ на котлах типа ДКВР // Промышленная энергетика. – 1971. – № 11. – С. 24–26.
3. Тайлашева Т.С., Корженко А.В. Особенности эксплуатационных режимов модернизированной горелки РГМГ – 2 котла ДСЕ-2,5-14 // Наука. Техника. Инновация /

- Материалы докладов региональной научной конференции – Новосибирск: Изд. НГТУ, 2002. – Ч. 2. – С. 185–187.
4. Куныанский В.М., Дьяконов В.И. Опыт наладки котлов ДКВР-20-13 на Шебелинском газе // Промышленная энергетика. – 1971. – № 6. – С. 22–25.
 5. Сутоцкий Г.П., Коваленко Т.В. Особенности воднохимического режима высокофорсированных котлов промышленной энергетики // Промышленная энергетика. – 1971. – № 9. – С. 47–49.
 6. Ведрученко В.Р. Методика выбора типа форсунки для котлов малой и средней мощности при проектировании и реконструкции котельных установок / В.Р. Ведрученко, В.В. Крайнов, А.В. Казимиров // Промышленная энергетика. – 2006. – № 3. – С. 33–40.
 7. Акопьянц Б.Е. Пути совершенствования солевых отсеков с выносными сепараторами на действующих котлах низкого и среднего давления // Промышленная энергетика. – 1992. – № 7. – С. 37–39.
 8. Модернизация парового котла ДКВР-20-23 / Е.Ф. Бузников, Л.Я. Березницкий, А.В. Евдокимов, Ю.П. Мясников, А.Г. Высоцкий // Промышленная энергетика. – 1976. – № 2. – С. 44–45.
 9. Лебедев В.М. Проблемы и пути развития теплоэнергетики региона // Промышленная энергетика. – 2008. – № 4. – С. 2–6.
 10. Пакшин А.В., Каримов З.Ф. Эффективность реконструкции пароводогрейной котельной в мини-ТЭЦ // Промышленная энергетика. – 2004. – № 10. – С. 27–32.
 11. Федоров В.А., Смирнов В.М. Опыт разработки, строительства и ввода в эксплуатацию малых электростанций // Теплоэнергетика – 2000. – № 1. – С. 9–13.
 12. Выявление и предотвращение причин аварий на котлах ДКВР-20, работающих на газе и мазуте / Д.Б. Ахмедов, Д.С. Калинин, Н.В. Ветров, В.Я. Калинина // Промышленная энергетика. – 1974. – № 7. – С. 20–21.
 13. Акопьянц Б.Е., Кокотов Б.Л. О нормах качества котловой воды промышленных котлов со ступенчатым испарением // Промышленная энергетика. – 1972. – № 9. – С. 33–34.
 14. Акопьянц Б.Е. Повышение допустимого солевого содержания продувочной воды в котлах низкого давления // Промышленная энергетика. – 1991. – № 4. – С. 13–15.
 15. Акопьянц Б.Е. Недостатки конструкции промышленных котлов ДКВР // Новости теплоснабжения. – 2000. – № 4. – С. 37–40.
 16. Мынкин К.П. Сепарационные устройства паровых котлов. – М.: Энергия, 1971. – 192 с.
 17. Акопьянц Б.Е. Конструкции и допустимые нагрузки выносных центробежных сепараторов пара // Тяжелое машиностроение. – 1990. – № 11. – С. 10–12.
 18. Паровые котлы типа Е (ДКВР): 0302.020.ТО: техническое описание, инструкция по монтажу и эксплуатации. – Бийск: ОАО «Бийский котельный завод», 2006. – 52 с.
 19. Сутоцкий Г.П., Фурсенко В.Ф. О водно-химическом режиме промышленных котельных с котлами типа ДКВР // Промышленная энергетика. – 1976. – № 6. – С. 18–19.
 20. Манькина Н.Н. Исследование условий образования железистоокисных отложений // Теплоэнергетика. – 1960. – № 3. – С. 8–12.
 21. Влияние теплового потока на скорость образования отложений продуктов коррозии железа и меди в котлах / Т.И. Петрова, В.И. Кашинский, В.Н. Семенов, В.В. Макрушин и др. // Теплоэнергетика. – 2008. – № 7. – С. 2–5.
 22. Давидзон М.И. Накипеобразование в экранных трубах котлов // Теплоэнергетика. – 2008. – № 7. – С. 43–46.
 23. Шапуров М.Ф. Предотвращение углекислотной коррозии металла в паровых котлах типа ДКВР // Промышленная энергетика. – 1982. – № 2. – С. 22–23.
 24. Загорин А.С., Тайлашева Т.С. Теплофизические факторы эксплуатационной надежности испарительных элементов двухбарабанных котлов // Известия ТПУ. – 2009. – Т. 315, № 4: Энергетика. – С. 10–15.
 25. 50 тысяч котлов ДКВР / Г.Н. Гарденина, В.Ф. Дэрк, А.А. Дорожков, П.Ф. Казанцев // Промышленная энергетика. – 1972. – № 12. – С. 22–24.

Поступила 07.07.2014 г.