

Результаты наладки котла ДЕ-25-24-380 ГМ

Федоров А. И. канд. техн. наук

ОАО «ВТИ», Москва

Приведены результаты осмотров и ревизии внутрибарабанных устройств котла ДЕ-25-24-380 ГМ. Выполнена наладка схемы ступенчатого испарения, позволившая снизить соледержание котловой воды чистого отсека за счет исключения переброса котловой воды из солевого отсека в чистый. Благодаря этому уменьшилось соледержание отпускаемого пара и повысилась надежность пароперегревателя и котла в целом.

Ключевые слова: паровой котел, пароперегреватель, наладка схемы ступенчатого испарения, соледержание пара и котловой воды, переброс котловой воды, кратность упаривания между отсеками.

Котлы ДЕ Бийского котельного завода широко применяются в отечественной промышленной энергетике в отопительных и производственных котельных в качестве источников пара низкого давления. При этом основное количество этих котлов предназначено для выработки насыщенного или слабоперегретого пара давлением 1,4 МПа и температурой 225 °С.

В одной из котельных были установлены два котла ДЕ-25-24-380 ГМ. При их наработке приблизительно 35 000 ч начались систематические повреждения трубок пароперегревателя (ПП) 2-й ступени. С целью анализа их работы были выполнены осмотры топки, ПП и всех поверхностей нагрева, вырезаны образцы труб ПП, а также осуществлен осмотр внутрибарабанных сепарационных устройств котла и др. В результате этого, а также проведенных расчетов выявлены причины повреждений ПП и разработаны мероприятия (режимные и реконструктивные) по повышению их надежности. Одна из причин низкой надежности ПП — неудовлетворительная работа внутрибарабанных сепарационных устройств и схемы ступенчатого испарения. Данная статья посвящена анализу работы и наладке схемы ступенчатого испарения и сепарационных устройств.

Котел ДЕ-25-24-380 ГМ — двухбарабанный водотрубный с естественной циркуляцией, внутренний диаметр барабана $d_{\text{вн}} = 1000$ мм, толщина стенки $\delta_{\text{ст}} = 22$ мм (сталь 16ГС). В качестве основного топлива используется сернистый мазут с теплотой сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 9301 \div 10\,352$ ккал/кг (38 943 — 43 395 кДж/кг), который сжигается в горелках ГМП-16 с камерой двухступенчатого сжигания [1]. Основные параметры котла: паропроизводительность — 25 т/ч, давление в барабане — 25,4 кгс/см² (2,34 МПа), давление перегретого пара — 24 кгс/см² (2,4 МПа), температура перегретого пара — 380 °С, КПД котла (брутто) — 91,9 %.

Пароперегреватель котла выполнен двухступенчатым, причем обе ступени изготовлены из труб диаметром 38 × 3 мм. Он установлен сразу за топкой, в начале конвективного пучка. Для регулирования температуры перегретого пара в котле предусмотрен поверхностный пароохладитель (ПО), охлаждаемый котловой водой и расположенный в нижнем барабане. Гидравлически ПО включен по пару после 1-й ступени ПП (в рассечку). Котел выполнен по двухступенчатой схеме испарения котловой воды (КВ), причем 2-я ступень испарения — внутрибарабанный. В нее включены задний экран топки, задние части левого и правого экранов и часть конвективного пучка. Средний уровень воды в барабане находится на геометрической оси, а верхний и нижний уровни — на отметках ± 60 мм от среднего. Схемой водоподготовки предусмотрено двухступенчатое Na-катионирование исходной воды. Соледержание питательной воды составляет от 100 до 200 мг/дм³ в зависимости от времени года.

На рис. 1 показаны сепарационные устройства котла и конструкция солевого отсека (СО). Как видно, здесь применена простейшая сепарационная схема. Пароводяная смесь из экранов (или конвективного пучка) с помощью коробов и отбойных козырьков подводится в барабан. Далее осушка пара происходит в паровом объеме барабана в жалюзи и дырчатых пароприемных листах. Ранее в НПО ЦКТИ исследовали работу данной схемы с барабаном $d_{\text{вн}} = 1000$ мм на стенде [2] и в промышленных условиях [3]. Было установлено, что сепарационная схема выдает пар, удовлетворяющий нормам для котлов без ПП, т. е. не более 1 % [4]. Проверку этой схемы для условий работы котлов с ПП и тем более с повышенным давлением (2,4 МПа), когда норма пара составляет 500 мкг/дм³ [4], не проводили. Поэтому был выполнен осмотр поврежденного ПП одного из котлов с вырезкой поврежденных и непо-

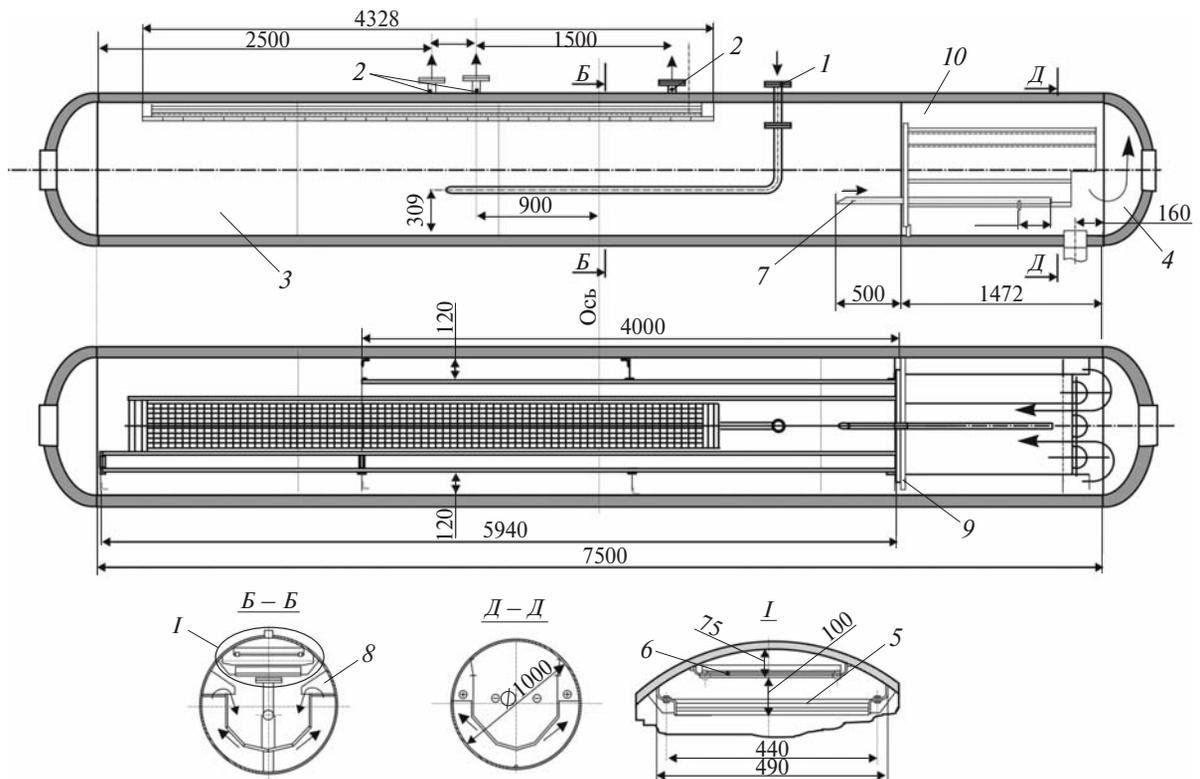


Рис. 1. Схема сепарационных устройств котла ДЕ-25-24-380 ГМ:

1 — подвод питательной воды; 2 — отвод насыщенного пара; 3 и 4 — чистый и солевой отсеки котла; 5 — жалюзийный сепаратор; 6 — дырчатый потолок; 7 — труба питания солевого отсека; 8 — отбойные козырьки; 9 — перегородки между чистыми и солевым отсеками; 10 — паровое окно; “+” и “-” — движение пара к лазу и от лаза

врежденных образцов труб, обрезаны доньшки коллекторов ПП 1-й и 2-й ступени для внутреннего осмотра. Выявлено, что проточная часть ПП имеет значительные отложения солей, что послужило одной из причин пережога трубок ПП.

На рис. 2 в качестве примера показана внутренняя полость выходного коллектора ПП 2-й ступени (вид с глухого торца коллектора при обрезанном доньшке). Как видно, на стенках коллектора наблюдается значительный слой отложений светлого цвета (их толщина в отдельных местах достигает 20 мм). Химический анализ показал, что отложения состоят на 80 % из солей натрия (NaCl , Na_2SO_4 и др.). Такое соотношение солей характерно для КВ котлов низкого давления.

Занос солями ПП возможен по двум причинам — из-за плохой работы сепарационных устройств (повышенный механический унос капель котловой воды) либо неплотности трубок ПО (или коммутационных линий). Были проанализированы данные водно-химического режима котлов за последние годы. В таблице в качестве примера приведены данные за февраль 2007 г. Из них следует:



Рис. 2. Выходной коллектор ПП 2-й ступени (вид с глухого торца)

1. При солесодержании питательной воды $S_{п.в} = 150 \div 200 \text{ мг/дм}^3$ котлы работали с непрерывной продувкой P , равной в среднем 8–10 %, иногда достигающей 15 %.

2. Средние значения солесодержания насыщенного $S_{н.п}$ и перегретого $S_{п.п}$ пара составляли от 1,55 до 3,09 мг/дм^3 . Норма солесодержания пара для котлов ДЕ-25-24-380 ГМ согласно ГОСТ [4] — 500 мкг/дм^3 . Следовательно, котлы работали с солесодержанием

Водно-химический режим котла																
Дата (февраль 2007 г.)	$S_{п.в.}$, мг/дм ³		$S_{к.в.}$, мг/дм ³ (чистый отсек)		$S_{к.в.}$, мг/дм ³ (солевой отсек)		P , %		$S_{н.п.}$, мг/дм ³		$S_{п.п.}$, мг/дм ³		$K_{у}^{II} = S_{к.в.}^{II} / S_{к.в.}^{I}$		$K_{у}^{I} = S_{к.в.}^{I} / S_{п.в.}$	
	1-е полдня	2-е полдня	1-е полдня	2-е полдня	1-е полдня	2-е полдня	1-е полдня	2-е полдня	1-е полдня	2-е полдня	1-е полдня	2-е полдня	1-е полдня	2-е полдня	1-е полдня	2-е полдня
1	138	129	1783	1562	1907	2341	7,8	5,83	1,15	1,2	1,33	1,46	1,07	1,50	12,92	12,11
9	140	145	1752	1734	2441	2112	6,08	7,37	1,54	1,47	1,73	1,65	1,39	1,22	12,51	11,96
12	144	161	1018	1381	1316	1801	12,29	9,82	1,61	1,48	1,83	1,67	1,29	1,30	7,07	8,58
13	159	158	1560	1741	2013	—	8,58	6,29	—	1,57	—	1,84	1,29	—	9,81	11,02
14	148	170	1046	1452	1340	1911	12,42	9,76	1,84	1,72	1,5	1,45	1,28	1,32	7,07	8,54
15	154	152	1866	1704	2356	2236	6,99	7,29	1,84	2,34	1,73	1,71	1,26	1,31	12,12	11,21
16	168	161	2121	2140	—	—	6,94	6,71	2,55	1,95	1,68	1,57	—	—	12,63	13,29
19	141	148	2144	2123	—	2123	5,66	7,49	1,34	1,21	2,51	1,75	—	1,00	15,21	14,34
20	165	158	1907	1115	2427	1484	7,29	11,92	1,56	1,84	1,33	1,45	1,27	1,33	11,56	7,06
21	152	143	1856	1983	2421	2821	6,7	5,34	1,22	1,16	1,64	1,47	1,30	1,42	12,21	13,87
22	149	152	1369	2045	2016	—	7,98	6,42	1,23	1,4	1,31	1,18	1,47	—	9,19	13,45
26	169	166	1311	1229	1749	2313	10,7	7,73	1,29	—	1,08	—	1,33	1,88	7,76	7,40
27	171	172	1282	2033	1736	—	10,93	7,05	1,05	1,22	1,47	1,55	1,35	—	7,50	11,82
28	148	149	740	624	934	893	18,83	20,03	1,42	2,25	1,19	1,94	1,26	1,43	5,00	4,19
Среднее значение	153,3	154,6	1553,9	1633,3	1888,0	2003,5	9,23	8,50	1,51	1,60	1,56	1,59	1,30	1,37	10,18	10,63

пара, существенно превышающем норму, что приводило к заносу солями ПП.

3. Солевого содержания насыщенного и перегретого пара близки по значениям. Основная причина заноса солями ПП — это вынос капель КВ из барабана (плохая работа сепарационных устройств). При наличии неплотностей в трубках ПО солевого содержания перегретого пара было бы значительно выше солевого содержания насыщенного пара.

4. Схема ступенчатого испарения котловой воды работает с малой кратностью концентрации между 1-й и 2-й ступенями испарения ($K_y^II = S_{к.в}^{II} / S_{к.в}^I$), равной 1,07 – 1,40, и значительной кратностью концентрации между 1-й ступенью испарения и питательной водой ($K_y^I = S_{к.в}^I / S_{п.в}$), равной примерно 10 (засоление чистого отсека). Рассмотрим это подробнее.

Как отмечалось, котлы ДЕ выполнены по двухступенчатой схеме испарения КВ. С помощью поперечных перегородок (глухой — в нижнем барабане и с паровым окном — в верхнем барабане) организуются контуры чистого (ЧО) и солевого (СО) отсеков. Подача воды из ЧО в СО должна осуществляться только по трубе питания диаметром $108 \times 4,5$ мм (при правильной работе ступенчатой испарения).

Составим уравнение солевого баланса котла:

$$(100 + P)S_{п.в} = (n_{II} + P)S_{к.в}^I = PS_{к.в}^{II}, \quad (1)$$

где P и n_{II} — величина непрерывной продувки котла и паропроизводительность 2-й ступени испарения (в процентах от паропроизводительности котла); $S_{к.в}^I$ и $S_{к.в}^{II}$ — солевого содержания котловой воды 1-й и 2-й ступеней испарения.

Из уравнения (1) получаем кратности упаривания между отсеками:

$$K_y^II = S_{к.в}^{II} / S_{к.в}^I = (n_{II} + P) / P; \quad (2)$$

$$K_y^I = S_{к.в}^I / S_{п.в} = (100 + P) / (n_{II} + P). \quad (3)$$

Уравнение солевого баланса составлено без учета выноса солей с паром котла (им пренебрегаем), так как вынос солей с паром приблизительно на два порядка меньше выноса солей с непрерывной продувкой котла.

Согласно тепловому расчету котла (по данным НПО ЦКТИ) относительная паропроизводительность 2-й ступени испарения $n_{II} = 20 \div 25$ %. Примем величину непрерывной продувки котла равной примерно 10 %

(в среднем с такой продувкой работают котлы). Тогда значения кратности упаривания:

$$K_y^II = \frac{20(25) + 10}{10} = 3,0(3,5);$$

$$K_y^I = \frac{100 + 10}{20(25) + 10} = 3,67(3,14).$$

Такие кратности упаривания теоретически должны быть между ступенями испарения при отсутствии перебросов или перетоков котловой воды из СО в ЧО. Как видно из таблицы и результатов расчетов, K_y^I достигает 10,63, а K_y^II в среднем составляет 1,07 – 1,37. Из приведенных данных следует, что котлы работают с солевого содержанием котловой воды в ЧО в $10,63 / 3,67(3,14) = 2,9 \div 3,38$ раза более высоким, чем при нормальной работе схемы ступенчатого испарения. Пропорционально увеличенному значению $S_{к.в}^I$ повышается и солевого содержание пара, отпускаемого котлом. Подтверждением этому служит, например, классический график работы сепарационных устройств в функциональной зависимости $S_{п} = f(S_{к.в})$, представленный в [5].

Опыт наладки внутрибарабанных сепарационных устройств и схем ступенчатого испарения барабанных котлов [5 – 8] свидетельствует о том, что основными причинами засоления чистого отсека котлов ДЕ могут быть:

переброс котловой воды СО через паровое окно в перегородке верхнего барабана между отсеками;

переток котловой воды СО через неплотности в перегородках в нижнем и верхнем барабанах;

переток воды из ЧО в СО по кипячительным трубам (например, одна из кипячительных труб забирает воду из ЧО, а подает пароводяную смесь в СО);

непредставительность проб котловой воды ЧО для химического анализа.

Для определения причин засоления ЧО и улучшения качества пара котла были выполнены осмотр и ревизия внутрибарабанных сепарационных устройств, а также опрессовка водой контура ЧО и СО по специальной методике. В результате установлено:

принципиально сепарационные устройства котла выполнены согласно заводским чертежам;

некоторые элементы сепарационной схемы, например короб приема пароводяной смеси (см. рис. 1, разрез $B - B$, левая половина), имеют открытый торец, что приводит к значительному выносу влаги в паровой

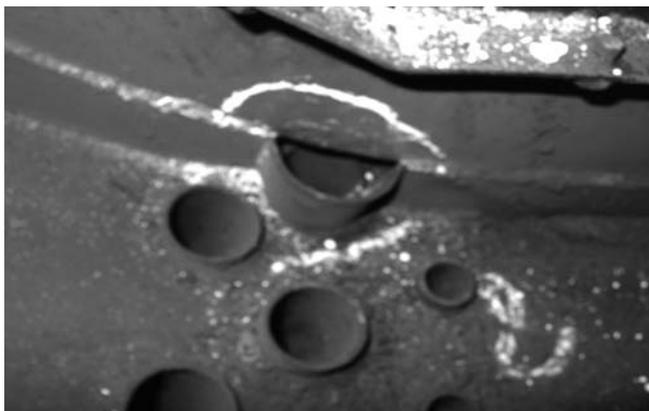


Рис. 3. Внешний вид одной из труб в верхнем барабане, падающей на перегородку

объем барабана (т. е. необходимы расчеты и реконструкция);

элементы сепарационной схемы котла (жалюзи, дырчатые листы, коробка и др.) покрыты значительным слоем отложений, поэтому перед пуском котла все эти элементы были тщательно очищены от отложений;

в коробках приема пароводяной смеси и перегородках имелись непровары, щели, которые были устранены;

циркуляционная схема рассматриваемого котла выполнена таким образом, что несколько “очков” кипяtilьных труб (на развертке барабанов) попадают на разделительные перегородки между ЧО и СО: в нижнем барабане — две трубы, в верхнем барабане — три трубы (рис. 3). При правильном включении этих труб они должны забирать воду и подавать пароводяную смесь строго в пределах одного отсека (например, если эта труба забирает воду из ЧО, то и подавать пароводяную смесь должна в ЧО). В данном котле эти трубы забирали воду из ЧО нижнего барабана и подавали пароводяную смесь в верхний барабан — как в ЧО, так и в СО. Это приводило к тому, что нарушалась нормальная работа схемы ступенчатого испарения котловой воды. В СО поступало воды больше, чем необходимо для выработки пара и непрерывной продувки, т. е. $D_{II} + D_{н.пр}$ (D_{II} — паропроизводительность СО; $D_{н.пр}$ — величина непрерывной продувки). Вследствие этого вода СО разбавлялась, а вода ЧО засолялась водой СО через водоперепускную трубу (вода по этой трубе двигалась в сторону ЧО, а не наоборот, как должно быть при нормальной работе). В результате кратность упаривания K_y^{II} между отсеками значительно снижалась, что подтверждено работой котла со дня пуска.

В [8] подробно рассмотрены процессы, происходящие в схемах ступенчатого испарения барабанных котлов при наличии перебросов, перетоков котловой воды через трубы из одной ступени испарения в другую. Рассмотренный выше дефект котла ДЕ вызван тем, что у “стаканов”, с помощью которых трубы заводятся в отсеки, не было доннышек специальной конструкции, которые должны быть установлены при изготовлении котла на заводе. Доннышки изготовили и приварили к “стаканам”. После этого выполнили экспресс-испытания котла, которые показали:

кратность упаривания между отсеками увеличилась до 1,5 – 2,14 (ранее была равна 1,14 – 1,42);

солеосодержание отпускаемого пара снизилось до 1,02 – 1,23 мг/дм³ (до этого составляло 1,55 – 3,1 мг/дм³), вследствие чего повысилась надежность ПП (за счет уменьшения выноса солей из барабана в ПП).

Таким образом, на основе анализа конструкции сепарационных устройств, результатов наладки схем получения пара, удовлетворяющего нормам [4], установлено, что при данном качестве питательной воды ($S_{п.в} = 100 \div 200$ мг/дм³) необходима частичная реконструкция сепарационных устройств котла. Возможен также другой вариант получения пара, удовлетворяющего нормам, — снижение солеосодержания питательной воды.

Список литературы

1. **Котлы** малой и средней мощности и топочные устройства (отраслевой каталог). — М.: ЦНИИТЭИ-тяжмаш, 1992.
2. **Стеновые** исследования и выбор внутрибарабанных сепарационных устройств для котлов промышленной энергетики / Б. Е. Акопьянц, В. П. Артемьев, В. А. Ларченко и др. — Энергомашиностроение, 1979, № 4.
3. **Освоение** головных образцов унифицированной серии паровых котлов с газомазутными топочными устройствами / Б. Е. Акопьянц, В. П. Артемьев, В. А. Ларченко и др. — Труды ЦКТИ, 1978, вып. 162.
4. **ГОСТ 20995–75.** Котлы паровые стационарные давлением до 3,9 МПа. Показатели качества питательной воды и пара.
5. **Федоров А. И.** Пособие по эксплуатации барабанных котлов среднего и высокого давления. — М.: ВТИ, 2010.
6. **Федоров А. И.** Рекомендации по наладке внутрикотловых сепарационных устройств барабанных котлов. — М.: ОРГРЭС, 2001.
7. **Федоров А. И.** Выявление и устранение солевых перекосов в барабанных котлах высокого давления. — Энергетик, 2005, № 7.
8. **Федоров А. И.** Методика расчета схем ступенчатого испарения в барабанных котлах с двухсторонними солевыми отсеками. — Теплоэнергетика, 2007, № 4.

a.fedorov.vti@mail.ru