

Л. Н. Москалев, С. И. Поникаров, И. И. Поникаров

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТАКТНОГО КОНДЕНСАТОРА ВИХРЕВОГО ТИПА

Ключевые слова: контактная конденсация, ресурсо- энергосбережение, деаэрация, содержание остаточного кислорода в воде.

Рассмотрены два варианта технологических принципиальных схем используемых на ТЭЦ, предложена новая схема с использованием контактного конденсатора вихревого типа. Использование предлагаемого аппарата позволит сэкономить: ресурсы, электроэнергию, время и материальные средства на обслуживание и ремонт оборудования.

Keywords: contact condensation, resource - saving, deaeration, the concentration of residual oxygen in the water.

Two options are considered technological concepts used in CHP proposed new scheme, using the contact condenser vortex type. The use of the proposed system will allow to save resources, energy, time and resources for maintenance and repair of equipment.

В настоящее время, практически все отрасли российской промышленности нуждаются в техническом перевооружении, так как более 65% оборудования физически и морально изношены, в частности, теплоэнергетика, химическая и хлорная промышленность и др. [1] Кроме того, одной из важнейших проблем стоящих перед предприятиями РФ является неэффективное использование энергии и природных ресурсов, а также негативное влияние на экологию и экономику нашей страны. Согласно указу Президента РФ поставлена задача по снижению энергоёмкости российской экономики к 2020 году практически вдвое. Как известно, в мире происходит изменение климата и считается, что в России из-за летней жары произошло обмеление рек, что привело к повышению цен на электроэнергию [2].

Целью статьи является определение возможности применения, в теплоэнергетике, разработанного на кафедре МАХП КНИТУ, вихревого контактного конденсатора с двухзаходным тангенциально закручивающим устройством (ККВТ), предназначенного для конденсации неочищенного пара при непосредственном соприкосновении рабочих сред [3].

На всех ТЭЦ используется типичная схема обращения воды рис.1. В данной статье рассматривается турбина К-500-240-2 мощностью 500МВт. Ниже приведен принцип работы данной схемы, более подробное описание приводится в литературе [4] и в данной статье рассматриваться не будет.

Природная вода, загрязненная примесями, поступает на ВПУ 23, где происходит ее очистка. Но основной характеристикой, кроме жесткости и щелочности является содержание растворенных газов – O_2 и CO_2 . Данные газы являются коррозионно-агрессивными для всего оборудования ТЭЦ. Поэтому после 23, вода поступает в термический деаэратор 7, в котором за счет нагревания воды паром до температуры насыщения при которой происходит перенос растворенных газов в паровую фазу. Часть пара с растворенными газами в нем покидает деаэратор и направляется в конденсатор (на рис.1 не показан), другая часть пара конденсируется. Конденсат, после деаэратора 7 насосом подается в ПВД 9 для подогрева воды отработанным паром, который

выходит из турбины 3. Далее, подогретый пар через котлоагрегат 1 и пароперегреватель 2 подается в турбину 3.

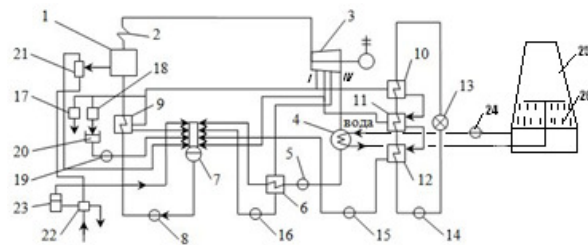


Рис. 1 - Принципиальная схема ТЭЦ: 1 – котлоагрегат; 2 – пароперегреватель; 3 – турбина; 4 – конденсатор; 5 – насос; 6 – подогреватель низкого давления (ПНД); 7 – деаэратор; 8 – питательный насос; 9 – подогреватель высокого давления (ПВД); 10, 11, 12 – сетевые подогреватели; 13 – потребитель; 14 – сетевой насос; 15, 16 – конденсатные насосы; 17, 18 – внешние потребители; 19 – конденсатный насос; 20 – сборная емкость; 21 – расширитель; 22 – теплообменник; 23 – водоподготовка (ВПУ); 24 – циркуляционные насосы; 25 – градирня, 26-ороситель.

Турбина 3 делится на три цилиндра с давлением и температурой находящихся в различных интервалах, а именно цилиндр высокого давления (ЦВД $P_{\text{раб.вх.}} = 23,5 \text{ МПа}$, $t_{\text{раб.вх.}} = 540^\circ\text{C}$, $P_{\text{раб.вых.}} = 4,28 \div 6 \text{ МПа}$, $t_{\text{раб.вых.}} = 274 \div 340^\circ\text{C}$), цилиндр среднего давления (ЦСД $P_{\text{раб.вх.}} = 3,81 \text{ МПа}$, $t_{\text{раб.вх.}} = 540^\circ\text{C}$, $P_{\text{раб.вых.}} = 0,324 \div 1,75 \text{ МПа}$, $t_{\text{раб.вых.}} = 217 \div 425^\circ\text{C}$), цилиндр низкого давления (ЦНД $P_{\text{раб.вх.}} = 0,312 \text{ МПа}$, $t_{\text{раб.вх.}} = 217^\circ\text{C}$, $P_{\text{раб.вых.}} = 0,018 \div 0,174 \text{ МПа}$, $t_{\text{раб.вых.}} = 58 \div 162^\circ\text{C}$). Каждый цилиндр делится на несколько ступеней, с которых происходит отбор отработанного пара, в данной статье каждая ступень не описывается, описание этих ступеней можно найти в [4]. Отработанный пар из ЦВД делится на несколько потоков для подачи: в ПВД, потребителям 17 и 18, в сборную емкость 20, в подогреватель 10 воды. Из сборной емкости 20 насосом 19 на деаэрацию в деаэратор 7. Отработанный пар из ЦСД также делится на несколько потоков: в деаэратор 7, в подогрева-

тель 11 воды. Предусмотрен подогрев воды, расположенными последовательно поверхностными подогревателями 10, 11, 12, перекачиваемой насосом 14 для потребителя 13. Пар, пройдя аппараты 10, 11, 12 конденсируется, температура конденсата составляет 31°C, подается насосом 15 в деаэратор 7. Часть отработанного пара из ЦСД и ЦНД подается насосом 16, через ПНД 6, в деаэратор 7. В ПНД 6 происходит подогрев конденсата до температуры $t=149^{\circ}\text{C}$, который выходит из поверхностных конденсаторов 4 ($P_{\text{раб.}} = 0,0039\text{МПа}$, $t_{\text{раб.вых.}} = 29^{\circ}\text{C}$) в деаэратор 7. Количество конденсаторов составляет 2 комплекта с поверхностью охлаждения 11540 м². В поверхностных конденсаторах создается и поддерживается вакуум за счет подачи охлаждающей воды с температурой 12÷15°C, чем глубже в вакуум, тем выше КПД турбины. Например, в данной турбине с изменением вакуума в конденсаторе на $\pm 0,01\text{ МПа}$ приводит к изменению мощности турбины на $\pm 3680\text{ кВт}$ [5]. Плотность орошения конденсатора составляет

$$\frac{L_{\text{в}}}{G_{\text{п}}} = 60 \div 65. \text{ Из ЦНД, пар с суммарным расхо-}$$

дом $G_{\text{п}} = 792 \div 840\text{ кг/ч}$ подается на конденсацию в конденсаторы 4. Однако конденсация не полная, т.е. наличие несконденсированных паров $G_{\text{нк}}$ расход которых приблизительно равен 3274 кг/ч, поэтому предусмотрен эжектор (на схеме не показан) в котором происходит полная конденсация несконденсированных паров. Для перекачивания циркуляционной воды в градирню 25 (охлаждение оборотной воды) с расходом $L_{\text{в}} = 51480\text{ м}^3/\text{ч}$ необходимы насосы 24, например: типа 60ВЦ-10/40 с подачей $L_{\text{в}} = 36000\text{ м}^3/\text{ч}$ в количестве не менее 2-х комплектов [6]. С мощностью двигателя 6300 кВт/ч каждый. Кроме выше сказанного, поверхностные конденсаторы имеют недостатки:

- загрязнение пара и конденсата оксидами металла трубного пучка;
- недогрев основного конденсата до температуры насыщения греющего пара вследствие термического сопротивления металла стенок трубок и присутствия неконденсирующихся газов в греющем паре;
- пониженная надежность всей установки из-за частого повреждения трубок, обусловленного коррозией;
- высокая стоимость и большая трудоемкость изготовления.

ККВТ позволит практически полностью устранить недостатки, присущие поверхностным конденсаторам. Технологическая схема с ККВТ представлена на рис.2.

Предлагаемая технологическая схема рис.2 предполагает использование дополнительного насоса 28 для подпитки свежей водой. Данная технологическая схема позволит: сэкономить электроэнергию и сократить подачу охлаждающей жидкости табл.1.

При использовании технологической схемы с ККВТ, количество подаваемой жидкости уменьшится в 6 раз, требуется насос с меньшей потреб-

ляемой мощностью, тип насоса 80ВЦ-2,5/40. Так как количество перекачиваемой жидкости уменьшается то можно использовать один насос на линии циркуляции.

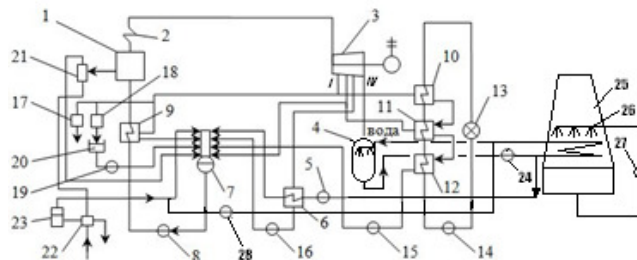


Рис. 2 - Принципиальная схема ТЭЦ с использованием ККВТ: 1 – котлоагрегат; 2 – пароперегреватель; 3 – турбина; 4 – ККВТ; 5 – насос; 6 – подогреватель низкого давления (ПНД); 7 – деаэратор; 8 – питательный насос; 9 – подогреватель высокого давления (ПВД); 10, 11, 12 – сетевые подогреватели; 13 – потребитель; 14 – сетевой насос; 15, 16 – конденсатные насосы; 17, 18 – внешние потребители; 19 – конденсатный насос; 20 – сборная емкость; 21 – расширитель; 22 – теплообменник; 23 – водоподготовка (ВПУ); 24 – циркуляционные насосы; 25 – градирня, 26 – ороситель; 27 – циркуляционный насос; 28 – насос для подпитки свежей водой для орошения в ККВТ

Таблица 1 - Сравнительная характеристика технологических схем рис.1 и рис.2

Тип конденсатора	$\sum N_{\text{дв}}$	$G_{\text{п}}$	$L_{\text{в}}$	$G_{\text{нк}}$
Поверхностный	14318	800	51480	3274
ККВТ	3927	800	8580	0
Экономия, %	72,6	0	83,3	100

$\sum N_{\text{дв}}$ – потребляемая мощность циркуляционных насосов из электросети, кВт; $G_{\text{п}}$ – расход пара из ЦНД на конденсацию, кг/ч; $L_{\text{в}}$ – расход воды на конденсацию пара из ЦНД, м³/ч; $G_{\text{нк}}$ – расход несконденсированных паров, кг/ч

Проведенные эксперименты на экспериментальном стенде [3] показали, что при плотности орошения $\frac{L_{\text{в}}}{G_{\text{п}}} = 10$ и при температуре охлажда-

ющей жидкости от 21°C до 35°C происходит полная конденсация паров [7] рис.3, при этом создается вакуум $P_{\text{к}}=0,025\div 0,07$. Создание такого вакуума показывает явное преимущество над поверхностными конденсаторами. Так как идет полная конденсация, то от использования эжектора можно отказаться.

На рис. 3 представлена температура охлаждающей жидкости, при которой появятся несконденсированные пары при различных условиях. На этом же графике представлены экспериментальные точки, сопоставленные с расчетной кривой. По данной кривой можно увидеть и оценить расход несконденсированных паров при определенной температуре охлаждающей жидкости. Экспериментальные точки укладываются на расчетные кривые с погрешностью до 15%.

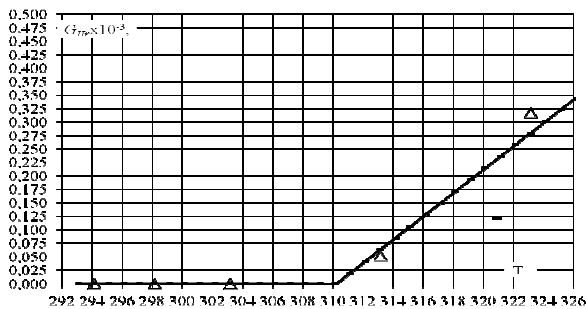


Рис. 3 - Зависимость расхода несконденсированных водяных паров G_{HK} от температуры охлаждающей жидкости при $L_B / G_H = 10$: линия – расчет, точки – эксперимент

Также ККВТ можно использовать вместо традиционных вакуумных деаэраторов. Из-за того, что давление ниже атмосферного, преимущество состоит:

- смещение в сторону уменьшения равновесное содержание растворенных газов;
- можно использовать в качестве греющей среды горячую воду, температура которой выше, чем температура насыщения в деаэраторе. Горячая вода в деаэраторе вскипает, а образующийся при этом пар конденсируется на каплях деаэрируемой воды и нагревает последнюю до температуры насыщения.

Для нахождения остаточной концентрации кислорода в воде использовалась номограмма представленная на рис. 4.

Количество несконденсированных паров при подаче охлаждающей жидкости с различной температурой берем из рис. 3.

Таким образом, при использовании предлагаемого аппарата появляется возможность в отказе от нескольких единиц различного оборудования. Данный отказ приведет к значительной экономии не только ресурсов и электроэнергии, но и времени и средств на необходимые ремонты всего оборудования технологической схемы.

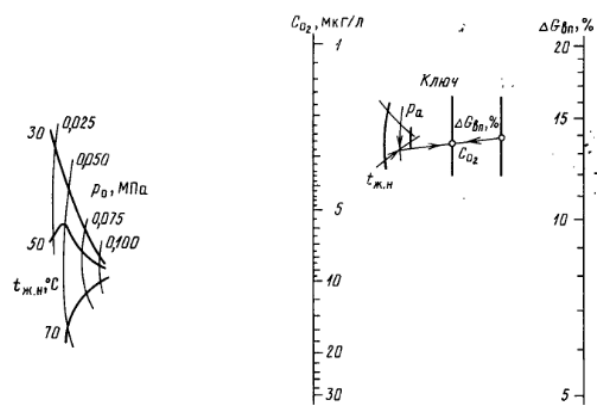


Рис. 4 - Номограмма для определения остаточной концентрации кислорода в воде при вакуумной деаэрации [8]

Литература

1. Бирюк В. В. Пути применения газотурбинных установок марки НК для модернизации ТЭЦ / Бирюк В.В., Ларин Е.А., Федорченко Д.Г., Шелудько Л.П. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, №3(19), 2009 с.344-351
2. Энергоэффективность в России: скрытый резерв. Отчет подготовлен группой банка в тесном сотрудничестве с Центром по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ), 2008. – 166 с.
3. Москалев, Л.Н. Описание экспериментальной установки для проведения исследований процесса конденсации в контактно-вихревом аппарате / Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И. // Вестник Казанского технологического университета. Т. 14. №14; 2011. – 318 с.
4. Саввин В.Н. Пароватурбина К500-240 ХТГЗ / Под. Ред. В.Н. Саввина. – М. Энергоатомиздат, 1984 - 264 с.
5. РД 34.30.501. Методические указания по эксплуатации конденсационных установок паровых турбин электростанций
6. СО 153-34.30.501 Методические указания по эксплуатации конденсационных установок паровых турбин электростанций. Часть 6
7. Москалев И.Н. Определение работоспособности контактного конденсатора вихревого типа / Москалев И.Н., Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Халиков М.Р. // Вестник Казанского технологического университета. Т. 16. №23; 2013. – с. 162.
8. Галустов В.С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике / Галустов В.С. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 240 с.

© Л. Н. Москалев – зав. лаб. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, lejnya@yandex.ru; С. И. Поникаров – д-р техн. наук, проф., зав. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ; И. И. Поникаров – д-р техн. наук, проф. той же кафедры, советник Ректората КНИТУ.