

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 энергоемкости 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 $P_{раб.вх.} = 23,5 \text{ МПа}$, $t_{раб.вх.} = 540^\circ\text{C}$, $P_{раб.вых.} = 4,28 \div 6 \text{ МПа}$, $t_{раб.вых.} = 274 \div 340^\circ\text{C}$), цилиндр среднего давления (ЦСД $P_{раб.вх.} =$

3,81МПа, $t_{\text{раб.вх.}} = 540^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{раб.вых.}} = 0,324 \div 1,75\text{МПа}$, $t_{\text{раб.вых.}} = 217 \div 425^{\circ}\text{C}$), 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 подогреватель 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 м^2 . В поверхностных конденсаторах создается и поддерживается вакуум за счет подачи охлаждающей воды с температурой $12 \div 15^{\circ}\text{C}$, 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 . Из ЦНД, пар с суммарным расходом кг/ч подается на конденсацию в конденсаторы 4. Однако конденсация не полная, т.е. наличие несконденсированных паров 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 $\text{м}^3/\text{ч}$ необходимы насосы 24, например: типа 60ВЦ-10/40 с подачей $\text{м}^3/\text{ч}$ в количестве не менее 2-х комплектов [6]. С мощностью э/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

дополни-тельного 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 потребляемой 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	Поверхностный	14318	800	51480	3274	ККВТ	3927	800	8580	0
Экономия, %	72,6	0	83,3	100	-	потребляемая мощность циркуляционных насосов из электросети, кВт;	-	расход пара из ЦНД на конденсацию, кг/ч;	Лв -	расход воды на конденсации пара из ЦНД, м ³ /ч;
-	расход несконденсированных паров, кг/ч	Проведенные эксперименты на экспериментальном стенде [3] показали, что при плотности орошения и при температуре охлаждающей жидкости от 21°С до 35°С происходит полная конденсация паров [7] рис.3, при этом создается вакуум $P_k=0,025\div0,07$. 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 от температуры охлаждающей жидкости при : 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]