

Раздел шестой

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

6.4. ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

6.4.2. Анализ новых разработок воздушных конденсаторов

Клевцов А.В., Пронин В.А.; МЭИ(ТУ)

В результате анализа опыта ведущих мировых фирм по применению ВК можно сделать вывод, что совершенствование их конструкций шло практически в одном направлении — в устранении конструктивных недоработок. Опубликованная информация по техническим характеристикам свидетельствует о том, что значения среднего коэффициента теплопередачи различных конструкций ВК существенно отличаются. Значительные расхождения между ними не могут быть объяснены только внешними отличиями конструкций ВК разных изготовителей. Большие расхождения могут вызываться другими причинами, например разной структурой и толщиной образующейся на поверхности металла оксидной пленки. Имеющиеся отечественные и зарубежные данные не позволяют ожидать дальнейшего значительного повышения эффективности и надежности функционирования существующих и эксплуатируемых ВК.

Отдельным вопросом при разработке и эксплуатации ВК может стать неравномерность конденсации по глубине трубного пучка. В связи с тем, что температурный напор падает по направлению к выходу воздушного потока из трубной сборки, некоторые ряды труб конденсируют меньше пара, чем те, которые имеют более низкую температуру охлаждающего воздуха. В результате нарушается равномерность падения давления по рядам трубного пучка, что приводит к возвратному движению пара от крайних выходных рядов по охлаждающему воздуху к тем рядам труб, где конденсация уже произошла. Отсутствие теоретических и экспериментальных исследований этой проблемы оставляет вопрос разработки точной методики расчета ВК открытым.

При проектировании ВК большое значение имеет правильный выбор величины недогрева воздуха до температуры насыщения отработавшего пара. Эта задача является технико-экономической, поскольку уменьшение недогрева повышает тепловую экономичность установки, но приводит к росту металло- и капиталовложений в ВК.

При отыскании оптимальных параметров конденсационной установки или низкопотенциального комплекса турбоагрегата, включающего в себя ЦНД турбины, конденсационную установку и систему технического водоснабжения, некоторые величины, необходимые для расчета поверхности охлаждения ВК, относят к числу искомым и для некоторых из них задают возможные пределы изменения. Расчеты производят при этом для различных вариантов, а окончательный вариант выбирают с учетом изменений приведенных затрат на конденсационную установку и связанные с ней элементы энергоблока.

Ясно, что выбор типа поверхности теплообмена должен производиться в сочетании с разработкой технологии ее изготовления, а теплофизические и ресурсные (в том числе коррозионные) испытания должны подтвердить тепловую эффективность выбранной поверхности и ее технологичность.

Таким образом, проведенный анализ применяемых в энергетической промышленности ВК и их эксплуатационных характеристик, позволил выявить наиболее суще-

ственные недостатки, сдерживающие более широкое внедрение ВК:

- возможность переохлаждения и замерзания конденсата при низких температурах окружающего воздуха;
- неэкономичность орошения поверхности теплообмена при высоких температурах охлаждающего воздуха для углубления вакуума;
- склонность к снежным заносам и обледенению нижней части оребренных труб;
- большая площадь, занимаемая ВК;
- необходимость периодической очистки поверхности теплообмена от отложений на ребрах и трубах (очистка водой или воздухом);
- низкая сейсмостойкость.

Реальным конкурентом ВКУ является оборотная система водоснабжения с испарительными градирнями или брызгательным бассейном. Эта система обладает следующими недостатками:

- низкое качество и высокая температура охлаждающей воды;
- высокие капиталовложения в строительство;
- отрицательное экологическое воздействие на окружающую среду, связанное с выбросом большого количества водяных паров и уносом капельной влаги;
- необходимость системы водоподготовки для подпитки контура системы технического водоснабжения;
- необходимость сооружения дорогостоящих градирен (высокие капитальные и эксплуатационные затраты).

Как ранее отмечалось, по оценке специалистов фирмы ГЭА (Германия) стоимость ВКУ составляет 80...100% стоимости оборотного водоснабжения с поверхностным конденсатором, расходы электроэнергии на привод вентиляторов и циркуляционных насосов также приблизительно равны.

Таким образом, за основу технико-экономических показателей можно принять стоимость системы оборотного водоснабжения с испарительной градирней.

В этом случае положительный эффект от использования ВК определяется:

- независимостью местоположения электростанции от источника водоснабжения;
- отсутствием экологического загрязнения окружающей среды парами и капельной влагой;
- отсутствием дорогостоящих градирен;
- снижением образования отложений в виде накипи и биообразований в теплообменном оборудовании;
- повышением надежности функционирования теплоэнергетического оборудования и энергоблока в целом;
- более высокой технологичностью, которая определяется модульной поставкой ВК, заводской сборкой ее элементов;
- сокращением сроков строительства электростанции за счет блочной поставки ВК;
- практически полным отсутствием возможности заброса конденсата в проточную часть турбины;
- возможностью автономного вывода в ремонт любой секции без отключения ВК в целом, что повышает надежность функционирования турбоустановки.

Внедрение ВКУ в энергетике

На мусоросжигательном заводе (МСЗ-2) («Спецзавод № 2» ГУП «Экотехпром») находятся в эксплуатации турбоустановки П-1,2-13/6 с ВКУ, изготовленными ОАО «Калужский турбинный завод» (КТЗ).

При эксплуатации завода были выявлены недостатки в работе ВКУ, связанные с повреждением труб, т.е. происходило размораживание конденсационных труб в зимний период. Кроме того, имели место отказы в работе вентиляторов.

Было проведено обширное экспериментальное исследование по определению параметров и характеристик ВКУ при различных вариантах включения вентиляторов и разных расходах пара, проведен анализ возможных причин «размораживания» труб поверхности нагрева ВКУ и возможные пути повышения надежности их работы.

Выполненный анализ работы ВКУ показал, что конструктивная схема ВКУ имеет органический недостаток, а именно: нижние концы труб либо всей поверхности нагрева, либо отдельных труб практически во всех режимах работы ВК заполнены воздухом. Это значит, что продувочные модули ВКУ и эжектор не справляются со своими функциями по удалению неконденсирующихся газов (воздуха).

Результаты экспериментов КТЗ показали:

1. Установлена большая неравномерность температур теплообменной поверхности ВКУ в нижней части модулей как при естественной конвекции, так и при частичном включенных вентиляторах. В нижней части модулей температура поверхности труб на входе охлаждающего воздуха при некоторых режимах работы ВК близка к температуре охлаждающего воздуха, что может приводить к замерзанию конденсата в трубах при отрицательных температурах воздуха;

2. Основной причиной неравномерного распределения тепловой нагрузки является коллекторный эффект и малая доля поверхности теплообмена, выделенная в газоохладителе.

Указанные недостатки при работе ВКУ создают нежелательные последствия при отрицательных температурах атмосферного воздуха, что является одной из главных причин проведения дальнейших исследований и разработки технических мероприятий по повышению надежности функционирования ВКУ.

В МЭИ (ТУ) была проанализирована работа ВК при различных режимах эксплуатации мусоросжигательного завода. По результатам измерений полей температур наружных поверхностей и воздуха, полей скоростей воздуха на выходе из модулей ВКУ при их работе позволил провести теплоаэродинамический анализ процесса течения и теплообмена в секциях ВКУ.

Анализ полученных данных:

- наблюдаются большие перекосы температуры воздуха на выходе из пучков в поперечном и продольном направлениях;
- в верхней части модулей температура уходящего воздуха существенно выше, чем в нижней; например $\bar{t}_{\text{верх}} = 50,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $\bar{t}_{\text{низ}} = 37,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ (рис. 6.23). В то же время скорость воздуха в этих же местах в нижней части имеет более высокие значения, чем в верхней (рис. 6.24);
- по краям модулей заметны щели для прохода воздуха и возможного переохлаждения труб в крайних рядах;
- в модуле с газоохладителем уровень температуры поверхности труб вверху ниже, чем внизу. Однако для

нижней части наблюдается переохлаждение отдельных труб, что очевидно связано со стеканием и переохлаждением конденсата с последующим его возможным замерзанием.

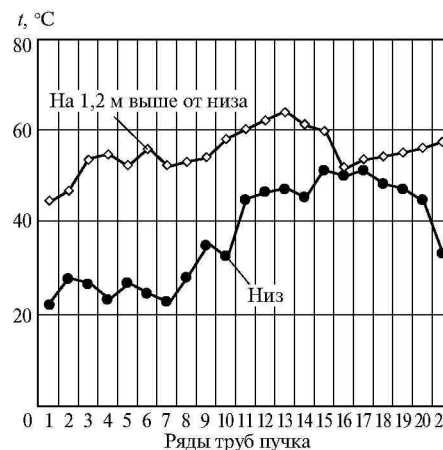


Рис. 6.23. Температура воздуха на выходе из модуля

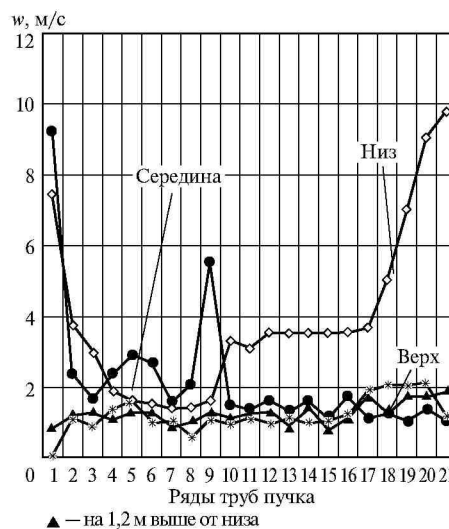


Рис. 6.24. Скорость воздуха на выходе из модуля

Проведенные измерения полей температур и скоростей воздуха конденсационных модулей и газоохладителя ВКУ на ГУП «Экотехпром» спецзавода № 2 в г. Москве показали:

- 1) большую неравномерность температур потока и поверхностей теплообмена на выходе из трубных пучков. Это согласуется с полученными ранее результатами НИЭКЦ (КТЗ). Кроме того, выявлена большая неоднородность распределения скоростей воздуха в охлаждаемых модулях ВКУ, что может являться существенным фактором рассогласования параллельной работы конденсационных труб;
- 2) отсутствие контрольно-измерительных средств и регулирующих устройств, что не позволяет повысить управляемость и надежность рассматриваемой ВКУ;
- 3) необходимо разработать технические предложения и мероприятия по обеспечению управляемости работы ВКУ на ГУП «Экотехпром» спецзавода № 2 в г. Москве.

Технические предложения

Конденсация водяного пара из паровоздушной смеси происходит при течении потока смеси сверху вниз в конденсационных трубах и снизу вверх в газоохладителе. Когда суммарная поверхность (длина трубы) конден-

сации в точности соответствует расстоянию «окончания» конденсации, эжектор будет отсасывать паровоздушную смесь с небольшим содержанием водяного пара в соответствии с давлением в ВК.

Деление длины поверхности на две части, т.е. на *нисходящую* и *восходящую*, приводит к необходимости определения точного соотношения этих длин. В реальных условиях это соотношение изменяется, что может привести к нарушениям процесса конденсации. Например, для бесконечно длинной вертикальной воздухоохлаждаемой конденсационной трубы при подводе пара сверху, пар конденсируется на всей поверхности трубы от начала конденсации. Конденсат, стекающий по внутренней поверхности трубы, будет переохлаждаться, давление насыщения будет падать, температура конденсата будет снижаться и приближаться к температуре охлаждающего воздуха, конденсат может замерзнуть при отрицательных температурах атмосферного воздуха.

Если множество этих конденсационных труб бесконечной длины соединить вверху и внизу на общие коллекторы пара и конденсата, то равновесие (равномерность) конденсации сохранится в любом случае, даже если конденсационные трубы будут охлаждаться неодинаково. Это справедливо для бесконечно длинных труб.

Если трубы будут иметь ограниченную длину и охлаждаться неравномерно, то в конденсационный коллектор будет поступать конденсат с разной температурой. При этом в трубах с температурой конденсата более низкой, будет и более низкое давление паровоздушной смеси. В связи с этим из общего нижнего коллектора в более холодные трубы будет подсасываться пар вместе с воздухом, т.е. будут образовываться воздушные пробки (блокирование конденсации). Это недопустимо.

Чтобы избежать возвратного течения паровоздушной смеси, необходимо укорачивать длину параллельных конденсационных труб, пока не окажется, что из самой «холодной» трубы в нижний коллектор будет проходить «пролетный» пар. При этом расход пролетного пара будет различным в разных трубах, но давление в нижнем конденсационном коллекторе (и температура конденсата) будут одинаковы. Вместе с потоком пролетного пара будет уходить и воздух, т.е. не будут образовываться воздушные пробки.

Итак, для нормальной работы параллельно включенных труб необходимо обеспечить определенную поверхность конденсации (длину труб) с пролетным паром. В этом случае всякого рода ограничители поверхности теплообмена, омываемой атмосферным воздухом (жалюзи, клапаны и т.п.) могут обеспечить необходимый тепловой режим с пролетным паром. Поскольку при эксплуатации ВКУ будут изменяться тепловые режимы вместе с изменением температуры атмосферного воздуха, следова-

тельно, применение регуляторов по изменению расхода, температуры и скорости охлаждающего атмосферного воздуха — обязательно.

Для восходящего течения, т.е. при движении паровоздушной смеси снизу вверх в газоохладителе, переохлаждение пара и конденсата может произойти раньше выходного сечения трубы. Поскольку этот процесс является предельным и не определяется точной границей, то в эжектор будет поступать оставшийся пар и при интенсивном охлаждении атмосферным воздухом в трубах газоохладителя возможно переохлаждение конденсата. Таким образом, газоохлаждаемые трубы необходимо защищать от чрезмерно холодного атмосферного воздуха.

Итак, для обеспечения нормальной и эффективной работы ВКУ следует измерять давление и температуру пара, поддерживать тепловой режим с минимальным давлением пара в конденсаторе. При плюсовых температурах атмосферного воздуха, необходимо обеспечивать наибольшую скорость воздуха. При пониженных, т.е. отрицательных температурах атмосферного воздуха необходимо ограничивать длину конденсационных труб с помощью жалюзи или клапанов. В этом случае, в каждой из параллельных конденсационных труб на входе в нижний коллектор будет поступать пролетный пар.

Для обеспечения переменных режимов при переходе к отрицательным температурам атмосферного воздуха необходима система регулирования трех уровней:

1. Поддержание температурного уровня охлаждающего воздуха — воздухообмен при рециркуляции воздуха: $p_{п\ min}$ без замерзания при $t_{воздуха} > 0\ ^\circ\text{C}$;

2. Исключение замерзания конденсата: $p_{п\ min}$, $t_{конденсата} > 0\ ^\circ\text{C}$.

3. Запуск ВК в зимнее время при любой температуре атмосферного воздуха: воздухообмен и прогрев всего объема, $t_{воздуха} > 0\ ^\circ\text{C}$.

Надежная работа вентиляторов может быть обеспечена при уменьшении числа циклов при управлении пуском и остановом приводного двигателя.

Использование регулируемого асинхронного электропривода позволяет с высокой надежностью и эффективностью решать задачи автоматизации.

Преобразователи частоты АП-140 разработаны и серийно изготавливаются НПЦ «Приводная Техника» и предназначены для преобразования одно- или трехфазного напряжения с постоянной частотой 50 Гц в трехфазное напряжение с переменной частотой в диапазоне от 0,2 до 400 Гц. Это свойство преобразователей частоты делает возможным их широкое применение для бесступенчатого регулирования скорости любых асинхронных электродвигателей.