© «Вестник ИГЭУ» Вып. 2 2008 г.

УДК 621.311.22

СОВРЕМЕННЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

МОШКАРИН А.В., д-р техн. наук, КАЛАТУЗОВ В.А., канд. техн. наук

Приводятся положения технического перевооружения систем технического водоснабжения тепловых электростанций.

Ключевые слова: низкопотенциальная часть электростанции, градирни, ограничения мощности ТЭС, техническое перевооружение.

MODERN APPROACHES TO TECHNICAL REEQUIPMENT OF PROCESS WATER SUPPLY SYSTEM AT HEAT POWER STATIONS

V. A. KALATUZOV, Candidate of Engineering, A. V. MOSHKARIN, Doctor of Engineering

The article gives conditions of technical reequipment of process water supply system at heat power stations.

Key words: low-potential part of the power station, water-cooling tower, capacity restrictions at thermal power station, technical reequipment.

Система технического водоснабжения (СТВ) – сложный природно-технический комплекс, основной технологический узел низкопотенциальной части (НПЧ) электростанции. НПЧ включает в себя СТВ с циркуляционными насосами и гидроохладителями, конденсаторы паровых турбин, маслогазоохладители и другие общестанционные технологические теплообменники. Основной функцией НПЧ является обеспечение охлаждающей водой работы турбоагрегатов с установленной мощностью и поддержание наивыгоднейшего (экономического) вакуума в конденсаторах независимо от изменения режимов их эксплуатации. Эффективная работа НПЧ зависит от сбалансированности параметров конденсаторов турбин, циркуляционных насосов, охладителей в различных сочетаниях с метеорологическими параметрами района расположения электростанции.

СТВ электростанций обеспечивает термодинамические процессы электростанции путем передачи и рассеивания тепловой энергии в окружающей атмосфере.

В основном в СТВ ТЭЦ установлены башенные безвентиляторные градирни испарительного типа.

В эксплуатации находится более 370 градирен площадью орошения более 670000 м^2 , единичной производительностью от 2000 до 36000 м^3/ч. Общая производительность более 5000000 м^3/ч. Восполнение потерь воды путем ее забора из природных источников составляет 1,1 млрд м^3/год. Потери теплоты в гидроохладителях составляют 60 % от всех потерь электростанции.

Анализ результатов обследований и технологических испытаний градирен и систем технического водоснабжения выявил, что охлаждение воды в системах – ниже нормативного в среднем на 2–10 °С, а недостаток воды для обеспечения охлаждения расчетных объемов пара в конденсаторах турбин составляет 30–40 %.

Ограничения мощности тепловых электростанций представляют собой серьезную проблему в процессе производства электрической энергии и не только как фактор, снижающий установленную мощность генерирующего агрегата (электростанции), но и как одна из причин, снижающая надежность и ухудшающая экономичность работы всего оборудования ТЭС.

Ограничения из-за недостаточного теплопотребления зависят от циркуляционных систем технического водоснабжения, так как часто охлаждение и конденсация неиспользуемого в регулируемых отборах пара и дополнительная выработка электроэнергии в конденсационном режиме не обеспечены охлаждающей водой. Недостаток воды и высокие значения ее температуры, как правило, одновременно ухудшают вакуум в конденсаторах и снижают экономичность оборудования в эксплуатационных режимах.

Наибольшие ограничения возникают в неотопительный период, в период снижения теплопотребления и увеличения выработки электроэнергии в конденсационном режиме или режиме с малым объемом регулируемых отборов пара.

Анализ ежегодных ограничений мощности по названным причинам за период 1995–2006 гг. показывает, что каждый год с 1995 по 2006 год при росте установленной мощности с 121375,9 до 122587,3 МВт ограничения росли с 6187 до 11977 МВт. Пережог топлива за этот же период в среднем составляет 6200 тыс. т у.т.

Причины, определяющие наличие ограничений мощности.

Предпроектные:

1. Расчеты системы технического водоснабжения не учитывают гидравлический и тепловой балансы турбоагрегатов, градирен в реальных метеорологических условиях. Расчетные параметры при заданных метеорологических условиях часто не соответствуют значениям 5 %-й обеспеченности.

Для обеспечения номинальной электрической мощности турбоагрегатов, в соответствии с их техническими условиями, температура охлажденной воды:

- должна быть 12 °С (для турбин типа К) и 20 °С (для турбин типа Т и ПТ) для обеспечения экономического вакуума в конденсаторах турбин;
- должна удовлетворять условиям конденсации отработавшего пара после его расширения в паровых турбинах при давлении не более 0,012 МПа (0,12 кгс/см^2) или температуре насыщения 49,1 °С;
- должна быть не более 33 °С по условиям температурного режима работы вспомогательного оборудования (маслогазоохладителей (МГО)).

В результате выполненных натурных испытаний циркуляционных систем технического водоснабжения и анализа работы многих ТЭС выявлено, что ограничения мощности связаны с двумя ограничениями:

© ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

1) по температуре конденсируемого пара 49,1 °С;

2) температуре воды на МГО < 33 °С.

Ограничения по температуре насыщения возникают на разных турбинах в разное время в зависимости от кратности охлаждения, как правило, при температуре охлаждающей воды больше 25 °С и расходе пара в конденсатор больше 50–70 % от номинального. При этом типовые проекты градирен рассчитаны на обеспечение температурного режима работы МГО (33 °С).

На величину располагаемой мощности оказывают влияние не только характеристики турбин, конденсаторов и градирен, но и метеофакторы, основные из которых температура и влажность.

2. Расчетные значения температуры охлажденной воды в градирнях значительно превышают значения 12 и 20 °С для обеспечения экономического вакуума в конденсаторах турбин.

Градирни, устанавливаемые на электростанциях, – типовые. Расчетные параметры градирен не соответствуют расчетным параметрам технических условий конденсаторов турбин и нормам технологического проектирования.

3. В одном проекте применяются гидравлически несовместимые градирни. Расчетные значения температуры охлажденной воды градирен одной и той же площади орошения, разных серий выпуска, при всех прочих равных условиях, имеют существенные отличия между собой.

Проектные:

1. Проекты не содержат необходимый объем конструкций и оборудования, обеспечивающих надежную работу систем в различных климатических условиях, различных вариантах состава и режимов работы основного оборудования. Включаемые в проект конструкции часто имеют отрицательные результаты их эксплуатации (сопла, тепломассообменные устройства (ТМУ), водоуловители), отсутствуют устройства обеспечения работы в зимних режимах, и т.д. В зимний период часто электростанциям приходится держать в работе большее количество циркуляционных насосов и градирен, чем этого требуют режимы.

2. Реализуются проекты, не прошедшие экспертизу в организациях, выполняющих диагностические работы на действующих электростанциях и имеющих опыт пуско-наладочных работ.

Технико-экономические обоснования не содержат полноты расчетов. Разработанные проекты не соответствуют ТЭО. Например, одновременно с пуско-наладочными работами блока ПГУ-450 Калининградской ТЭЦ-2 производится анализ проекта, на внесение изменений в который практически не оставлено времени.

Технические задания на проектирование не содержат полноты требований по всем разделам проекта системы технического водоснабжения.

3. Проекты не соответствуют нормам технологического проектирования и СНиПам. Несовместимы гидравлические характеристики градирен, циркуляционных насосов и конденсаторов турбин. Несмотря на то, что введен в действие закон о техническом регулировании, Заказчик в большинстве случаев требует исполнения проектов до разработки стандартов организаций в соответствии с имеющими место нормативно-техническими документами.

4. Технологические особенности сооружений и локальные метеоусловия площадки строительства не учитываются.

5. Отсутствие индивидуального проектирования градирен имеет существенные недостатки. Конструктивное исполнение не обеспечивает расчетные условия удельных показателей расхода воздуха и плотности орошения.

6. При выборе тепломассообменных устройств и водоуловителей из полимерных материалов не принимаются во внимание их физико-химические свойства, способы изготовления и практические результаты применения. Например, конструкции из ПВХ, кроме низкой механической прочности, являются благоприятной средой для роста водорослей.

Разрушения данного типа оросителя зафиксированы в начальный период эксплуатации на ряде электростанций (Ново-Зиминская ТЭЦ, Каргалинская ТЭЦ, ТЭЦ Байконурэнерго и др.).

7. Конструирование градирен носит инерционный характер и базируется на устаревших проектных и конструктивных решениях. Устанавливаемые в градирнях конструкции из современных полимерных материалов не имеют целостного конструкторского решения, учитывающего многообразие воздействий в градирнях.

Причины, вызывающие рост ограничений мощности. К ним относятся:

1. *Отсутствие полноты и достоверности исходной информации при принятии решения по реконструкции или строительству*:

- по проведению балансовых испытаний (энергетических обследований) систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС;
- результатам балансовых тепловых и гидравлических натурных испытаний;
- результатам расчетов нормативных характеристик градирен;
- технико-экономическим обоснованиям при строительстве и реконструкции систем технического водоснабжения;
- разработке технических требований к конструкциям градирен (оросителям, водоуловителям, разбрызгивающим соплам и др.);
- техническим требованиям по составу и обработке технической воды и др.

2. *Недостоверные или неполные данные результатов испытаний*:

- лабораторные испытания проводятся различными организациями на разных стендах и по отличным друг от друга методам. Полученные результаты вследствие этого являются неоднозначными, неполными и приводят к несогласующимся выводам;
- стендовые испытания проводятся на установках и в условиях, не обеспеченных полнотой измерения и регулирования параметров;
- стенды, на которых производятся исследования ТМУ, не отвечают современному уровню моделирования, не выдерживаются требования по соблюдению чистоты эксперимента и обработки полученной информации, единообразию внешних условий (температур, влажности, барометрического давления и др.);
- лабораторные испытания не определяют прочностные характеристики материала и конструкций, их долговечность и стойкость в условиях работы градирни. К потребительским характеристикам также следует отнести трудоемкость работ сборки и монтажа, затраты на перевозку. Без учета этих данных не должны приниматься решения о целесообразности использования конструкций.

© ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»



Рис. 1. Зависимость объемного коэффициента тепломассообмена от относительного расхода воздуха: 1 – по результатам натурных испытаний; 2 – по лабораторным исследованиям 1984 г.; 3 – по лабораторным исследованиям 1979 г.

Результаты лабораторных испытаний носят общий характер в виде относительных коэффициентов, не содержат полноты параметров для проведения расчетов, часто носят противоречивый характер. Как правило, расчетные характеристики градирен с испытанными конструкциями отсутствуют. В качестве характеристики ТМУ используется безразмерный коэффициент.

Не выполняются нормативные документы и приказы по проведению экспертизы лабораторных исследований головными предприятиями РАО ЕЭС (Фирма ОРГРЭС). Определить достоверность полученных в лаборатории результатов можно балансовыми натурными испытаниями согласно [1, 2].

Оценку ТМУ градирен и сравнение их между собой НИИ производят относительным коэффициентам не являющихся физическими величинами и имеющих разную смысловую нагрузку в оценочных формулах разных институтов. Расчеты, выполняемые с применением данных коэффициентов, противоречивы и не подтверждаются натурными испытаниями (рис. 1).

Зависимости на рис. 1 построены по данным лабораторных натурных испытаний [3, 4].

Например, натурными испытаниями градирни № 2 ТЭЦ-11 ОАО «Мосэнерго» после ее строительства не подтвердились результаты лабораторных испытаний. Расход воды оказался меньше расчетного на 45 % и охлаждающий эффект хуже на 4,2 °С.

3. *Снижение качества и объема инженерных изысканий.* Часто отчеты обследований и испытаний, проекты реконструкций, проекты производства работ носят поверхностный характер, не содержат глубокого анализа, представительных данных и расчетов. Во многих случаях имеет место низкий уровень инженерной или научной подготовки исполнителей.

4. *Эксплуатационные причины:*

- физически и морально устаревшие трубопроводы, каналы, градирни, запорно-регулирующая арматура, их некомплектность;

- использование конструкций в градирнях из материалов, не соответствующих жестким условиям эксплуатации;

- отсутствие автоматизированных систем управления процессами распределения потоков воды и работой градирен в зависимости от эксплуатационных режимов и метеорологических условий;

- эксплуатация систем с неэффективным распределением тепловых и гидравлических потоков;

- проведение высоко затратных ремонтов и реконструкций на основании документов, не содержащих всего объема измеренных и рассчитанных параметров, обоснования повышения эффективности и надежности;

- выполнение реконструкций устаревших типов железобетонных градирен с нулевой балансовой стоимостью практически по цене нового строительства без гарантии их долговечности;

- ремонт и реконструкция градирен по проектам низкого качества и с применением конструкций, не имеющих результатов представительных испытаний или имеющих отрицательные результаты.

В 2003–2006 гг. выполнена работа по испытаниям низкопотенциальной части электростанций ОАО «Мосэнерго».

Получены следующие результаты:

1. Установленная мощность электростанций ОАО «Мосэнерго» с оборотными системами технического водоснабжения – 9015 МВт.

В оборотных СТВ ТЭЦ в работе находится 54 градирни. Общая производительность – 913500 м^3/ч.

Ограничения мощности ТЭЦ по охлаждающей воде в 2006 г. составили 1400 МВт.

Среднее недоохлаждение воды в неотопительном периоде – 3,6 °С. По этой причине пережог составляет 156 тыс. т у.т.

2. СТВ имеют неэффективное распределение тепловых и гидравлических потоков, ухудшающее технико-экономические показатели ТЭЦ.

3. В большей части градирен использованы конструкции, не соответствующие их расчетным

© ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

условиям и ухудшающие охлаждающую способность и гидравлические характеристики СТВ.

4. Затраты на ремонты приближаются к стоимости нового строительства. При этом ремонтные средства вкладываются в сооружения с нулевой балансовой стоимостью и отсутствием гарантии надежности и долговечности.

В соответствии с [5], принятие решений по реконструкции должно быть основано на результатах испытаний системы технического водоснабжения, определяющих причины ухудшения технико-экономических показателей и основные решения по их устранению. При их отсутствии могут приниматься неправильные решения, ухудшающие эксплуатационные характеристики электростанции.

Например, на ТЭЦ-16 ОАО «Мосэнерго» при неизменном составе оборудования электростанции, циркуляционной системы технического водоснабжения и градирен расход охлаждающей воды уменьшился с 36510 м^3/ч в 1968 г., до 32350 м^3/ч в 2005 г. Уменьшение расхода воды составляет 4160 м^3/ч, что для турбины ПТ-60/75-130/13 при кратности охлаждения 44,44 равнозначно ограничению конденсационной мощности ~31 МВт. Среднее недоохлаждение воды в системе при этом составляет 4,94 °С.

Основные результаты испытаний низкопотенциальной части электростанций ОАО «Мосэнерго» показаны в таблице.

Проведение обоснованных и контролируемых работ по техническому перевооружению экономически выгоднее нового строительства замещающей мощности.

Реализация технического перевооружения формируется комплексно по следующим направлениям:

1. Обеспечение комплексного, эффективного взаимодействия всех элементов циркуляционных систем при различных вариантах работающего оборудования и сочетаниях внешних атмосферных факторов при установленной мощности;

2. Разработка и внедрение высокоэффективных градирен нового поколения применительно к конкретным системам электростанций и метеорологическим условиям их расположения. Градирни нового поколения должны:

- проектироваться на конкретные метеорологические условия;
- обеспечивать работу электростанций с полной конденсационной нагрузкой в любых климатических зонах;
- обеспечивать температурные значения воды согласно требованиям обеспечения заданной заводом-изготовителем глубины вакуума в конденсаторах паровой турбины;



Рис. 1. Сетчатая конструкция ТМУ в виде вязанок



Рис. 2. Водоуловитель из элементов ПВХ полуволна

- изготавливаться из современных конструкционных материалов;
- иметь большую технологическую оснащенность, позволяющую безаварийно эксплуатировать градирни в различных климатических зонах;
- иметь автоматическое управление работой градирни;
- иметь меньшие значения потерь оборотной воды.

3. Утилизация и использование низкопотенциального тепла, непроизводительно выбрасываемого гидроохладителями в атмосферу;

4. Перевод электростанций с прямоточных систем на оборотные с искусственными гидроохладителями-градирнями;

5. Автоматизация и дистанционное управление распределения воды и процессами тепломассообмена в гидроохладителях.

№№ ТЭЦ	Ограничения мощности по СТВ, МВт	Стоимость работ по сокращению ограничения мощности, млн руб.	Стоимость реконструкции на 1 МВт прироста мощности, млн руб.	Затраты на введенный кВт мощности, у.е.	Уменьшение годовых затрат за пользование водными ресурсами, млн руб.	Сокращение затрат на пережог топлива, млн руб.
8	78	128	1,6	59,2		
9		40			46,9	2,2
11	40	107	2,7	100		
16	96	107	1,1	40,7		
20	156	162	1,04	38,5		
23	90	281	3,1	114,8		
25	154	255	1,65	61,1		
26	223	320	1,4	51,8		
Сумма	837	1400	12,59			
Среднее значение			1,8	66,5	46,9	2,2

Основой технического перевооружения являются:

1. Технико-экономический расчет и программа технического перевооружения систем технического водоснабжения.

2. Полнота инженерных изысканий.

3. Разработка новых нормативных документов и требований в целях обеспечения единого технического подхода при проектировании, эксплуатации и реконструкции оборудования и сооружений систем технического водоснабжения.

4. Проектирование градирен индивидуально, под конкретную электростанцию и метеоусловия площадки строительства. Выбор наиболее эффективного варианта определять путем расчетов обеспеченности электростанции в соответствии с [6], по достижению установленной мощности и заданной глубины вакуума при 5 %-й обеспеченности метеопараметров.

5. Использование в разработке проектов строительства и реконструкций СТВ и градирен анализа:

- проектных расчетных параметров работы электростанции;
- соответствия состава оборудования эксплуатационным режимам работы электростанции;
- влияния ремонтных и реконструктивных работ в системе технического водоснабжения на градирнях на технико-экономические показатели электростанции и градирен;
- конструктивного исполнения градирен и их совместимости по обеспечению сбалансированной и эффективной работы;
- расчетов обеспеченности электрической мощности электростанций циркуляционными системами водоснабжения.

Инженерно обоснованная реконструкция действующих электростанций позволяет обеспечить:

- ввод 1 кВт мощности по цене от 40 до 70 дол., при стоимости нового строительства, достигающей 2500 дол.;
- снизить затраты на необоснованные ремонты путем выполнения обследований строительных конструкций градирен, расчетов их надежности и долговечности. Технико-экономическими расчетами определять целесообразность ремонта или нового строительства;
- обеспечить надежность вытяжных башен градирен путем последовательной замены изношенных железобетонных башен, ремонты которых сопоставимы по стоимости с новым строительством, на металлические пространственно жесткие каркасы. Долговечность таких конструкций подтверждена практикой. Стоимость градирен в металлическом каркасе на 20 % меньше железобетонных;
- проектирование современных экологически чистых и водосберегающих градирен для действующих электростанций и строящихся ПГУ.

Для блоков ПГУ вместо привычных градирен предлагаем применять технологию охлаждения воды и удаление дымовых газов через совмещенное паро-газоудаляющее устройство. При этом снижаются затраты на добавочную воду, достигается более глубокое охлаждение и сокращаются затраты на топливо и т.д.

Заключение

Комплексный подход, основанный на анализе и статистике эксплуатации СТВ многих электростанций, позволит:

- повысить надежность и КПД электростанций;
- рационально расходовать денежные средства;
- оздоровить экологическую ситуацию;
- снизить потребление невосполняемых энергетических ресурсов;
- разработать и внедрить новые энергосберегающие технологии в области потребления воды.

Список литературы

1. СО 34.22.303-2005. Методика проведения натурных гидротермических и аэродинамических испытаний градирен испарительного типа.

2. СО 34.22.302-2005. Методика построения нормативных характеристик градирен испарительного типа.

3. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1998.

4. Гладков В.А., Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. Вентиляторные градирни. – М.: Стройиздат, 1976.

5. Правила техники эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. СПО ОРГРЭС. – М., 2003.

6. СО 153-34.1-22.508-2001. Методические указания по определению обеспеченности электрической мощности электростанций циркуляционными системами водоснабжения.

Калатузов Владимир Алексеевич,
Фирма «ОРГРЭС» (г. Москва),
начальник отдела, кандидат технических наук,
admin@tes.ispu.ru

Мошкарин Андрей Васильевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
admin@tes.ispu.ru

© ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»