

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ В ОХЛАДИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

И.Е. Вахромеев, Ю.Б. Евчина, Д.А. Шнайдер

В статье рассмотрены вопросы общего устройства охладительных установок, возможные пути оптимизации работы охладительных устройств, а также приведена схема автоматического регулирования процессов охлаждения в градирне.

Ключевые слова: охладительные установки, электрические станции, автоматизированное управление.

На современных электрических станциях необходимым элементом оборотных систем водоснабжения являются охладительные устройства. Работа этих устройств оказывает влияние на эффективность выработки электроэнергии и, как следствие, на ее стоимость. Поэтому одной из актуальных задач является оптимизация работы систем охлаждения электрических станций.

Одним из путей решения данной задачи является автоматизация управления процессами в охладительных установках. Целью работ по автоматизации является выработка закона управления, повышающего на основании фактических данным эксплуатации (температура, расход воды и т.д.) КПД охлаждающей установки

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2 - T_{II}},$$

где T_1 – температура охлажденной воды; T_2 – температура охлаждаемой воды; T_{II} – предельная температура охлаждения (температура по мокрому термометру).

В статье дан обзор возможных способов оптимизации работы градирен электрических станций, а также предложена система автоматического управления режимами их работы.

1. Факторы, влияющие на охлаждение

Охлаждение поступающей из конденсаторов турбин воды в градирнях осуществляется конвекцией и вследствие испарения [1].

Теплообмен конвекцией зависит в основном от двух факторов: разности температур охлаждаемой воды (T_2) и воздуха ($T_в$); скорости движения воздуха относительно поверхности воды.

Чем меньше разность температур, тем хуже теплообмен. В пределе, когда $T_2 = T_в$, теплообмена

конвекцией нет. Из этого следует, что теоретическим пределом охлаждения воды за счет конвекции является температура наружного воздуха.

Повышение скорости воздуха ускоряет теплообмен. При движении воды в охладительных устройствах часть ее испаряется. Испарение идет тем интенсивнее, чем меньше относительная влажность воздуха (ϕ). Величина ϕ определяется как отношение парциальных давлений водяных паров у поверхности воды и в воздухе при температуре насыщения. У поверхности воды воздух насыщен $\phi = 100\%$; над поверхностью воды воздух всегда не насыщен и $\phi < 100\%$. Поэтому испарение имеет место и в том случае, когда температура воздуха выше температуры охлаждаемой воды. Следовательно, посредством испарения воду можно охладить до температуры более низкой, чем температура окружающего воздуха.

Относительная влажность воздуха определяется по показаниям сухого и мокрого термометров. Температура мокрого термометра соответствует $\phi = 100\%$, эта температура является теоретическим пределом охлаждения воды при испарении (T_{II}). Практически температура охлажденной воды (T_1) бывает выше на величину δ , т.е.

$$T_1 = T_{II} + \delta.$$

На интенсивность охлаждения воды большее влияние оказывает скорость удаления паров воды от поверхности испарения. В этом смысле важное значение имеет скорость ветра или принудительное движение воздуха, создаваемое в охладителях.

Проведенные исследования [1] показывают, что охлаждение воды в охладительных устройствах обеспечивается в основном за счет испарения. Доля его в летние месяцы доходит до 90%, а в зимние снижается до 50%.

Таким образом, основными факторами, влияющими на охлаждение воды, являются:

1. Разность температур охлаждаемой воды и воздуха.
2. Скорость движения воздуха относительно поверхности воды.
3. Относительная влажность воздуха.

Вахромеев Иван Евгеньевич - начальник паросилового цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», аспирант ЮУрГУ; vahromeev@mmk.ru.

Евчина Юлия Богдановна - магистрант кафедры автоматизации и управления ЮУрГУ; julia220386@yandex.ru.

Шнайдер Дмитрий Александрович - к.т.н., доцент кафедры автоматизации и управления ЮУрГУ; shneider@ait.susu.ac.ru.

2. Устройство и основные характеристики градирен

В качестве охлаждающих устройств на электростанциях применяются градирни различных типов и мощности. Основное достоинство градирен заключается в том, что для их размещения требуется значительно меньшая площадь по сравнению с другими типами охладителей.

Охлаждение воды в градирнях интенсифицируется встречным движением воздуха. По способу организации движения воздуха градирни делятся на башенные, вентиляторные и открытые. В башенных градирнях ток воздуха создается высокой башней за счет соответственной тяги, в вентиляторной - вентилятором, а в открытой - вследствие обтекания ветром.

Далее рассмотрим устройство и основные характеристики башенных градирен, являющихся наиболее сложными объектами в плане оптимизации режимов и управления. Общий вид башенной градирни приведен на рис. 1.

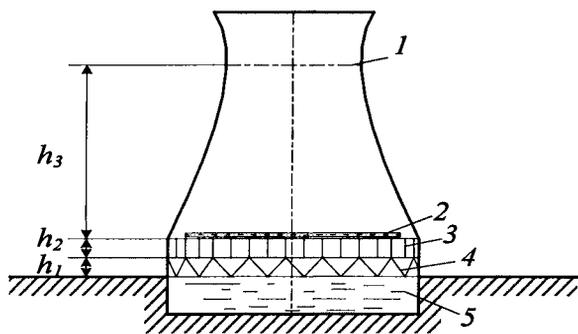


Рис. 1. Основные зоны башенной испарительной градирни:

- 1 – горловина башни;
- 2 – водораспределительное устройство;
- 3 – оросительное устройство;
- 4 – подоросительное пространство;
- 5 – водосборный бассейн

На уровне земли в стенках башен предусматриваются окна для поступления воздуха (зона h_1). Выше окон на опорном поясе располагается оросительное устройство (зона h_2). Верхняя часть башни служит для создания тока воздуха (зона h_3).

Оросительное устройство состоит из большого числа реек треугольного и прямоугольного сечения, служащих для дробления потока воды на капли и струйки. По периферии оросительного устройства устанавливаются дырчатые щиты. Охлаждаемая вода подается в башню на распределительное устройство в виде радиальных желобов, располагаемых на 5-10 м выше оросительного устройства. Растекаясь по желобам, вода вытекает через имеющиеся в них отверстия, равномерно распределяясь по сечению башни. Падая на оросительное устройство, вода в виде капель и пленок стекает вниз и собирается в приемном бассейне. Отсюда вода по самотечным каналам подается к циркуляционным насосам.

По конструкции оросительного устройства градирни делятся на капельные, пленочные и капельно-пленочные. Наиболее эффективны из них пленочные и капельно-пленочные, обеспечивающие наибольшие удельные значения гидравлической и тепловой нагрузок оросителя [1].

Градирни характеризуются следующими основными параметрами:

1. Гидравлическая нагрузка G , т/ч, охлаждаемой воды. Иногда эту характеристику называют производительностью градирни.

2. Тепловая нагрузка $Q = Gc(T_2 - T_1)$, Дж/ч, где T_2 и T_1 – соответственно начальная и конечная температуры воды, °С; c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг°С).

3. Плотность орошения G/F , м³/(м²ч), где F – площадь оросителя, являющаяся основной конструктивной характеристикой градирни.

Совершенство градирни, как теплообменного аппарата, характеризуется перепадом температуры охлаждаемой воды $\Delta T = T_2 - T_1$ и величиной $\delta = T_1 - T_{\Gamma}$, показывающей степень приближения конечной температуры воды к теоретическому пределу охлаждения. Для наиболее распространенных капельно-пленочных градирен $\Delta T = 6-12$ °С, а $\delta = 4-8$ °С.

Процесс охлаждения воды в градирне зависит от многих факторов и описывается достаточно сложными эмпирическими уравнениями. На основе уравнений разработаны номограммы, пользуясь которыми можно определить основной конструктивный размер градирни - площадь оросительного устройства, а при известной площади - температуру охлажденной воды [1].

3. Оптимизация работы башенных градирен

Особенностью башенных градирен является почти равномерное распределение воздуха внутри них и отсутствие рециркуляции теплого воздуха, что может возникнуть в секционных вентиляторных градирнях. Однако, башенные градирни наиболее подвержены влиянию внешних аэродинамических воздействий. Отрицательное влияние ветра сказывается на работе башенных градирен вследствие попадания холодного воздуха-ветра через верх башни. Это уменьшает тягу и ведёт к ухудшению охлаждения воды [2].

Поскольку в башенных градирнях практически невозможно управлять расходом охлаждающего воздуха, то пути оптимизации работы башенных градирен сводятся к способам регулирования расхода охлаждаемой воды.

Одним из таких способов может быть секционное распределение подачи воды [3]. Суть способа заключается в том, что при неравномерном охлаждении воды в градирне из-за аэродинамических воздействий большая часть воды, поступающей в градирню для охлаждения, подается на те секции, где охлаждение в данный момент лучше.

Таким образом, вода в градирню должна поступать через N секций, позволяющих регулиро-

вать расход воды G_i и перепад температуры ΔT_i в i -й секции ($i = 1 \dots N$). Тогда среднемассовый перепад температуры воды в градирне Φ за счет охлаждения

$$\Phi = \frac{1}{G_b} \sum_{i=1}^N \Delta T_i G_i, \quad (1)$$

где $G_b = \sum_{i=1}^N G_i$ – массовый расход воды, подаваемой в градирню.

Управление распределением воды по секциям необходимо вести таким образом, чтобы добиться максимума функционала (1) при условии

$$\sum_{i=1}^N G_i = G_b = \text{const}.$$

Тепловой коэффициент полезного действия градирни равен [3]

$$\eta = \Delta T / \Delta T_{\Pi} = F(G_b / G_a),$$

где F – безразмерная функция отношения расходов – определяется конкретными особенностями каждой градирни и может быть найдена только экспериментальным путем, G_a – массовый расход воздуха через градирню, $\Delta T_{\Pi} = T_2 - T_1$ – предельная температура, на которую может охладиться вода.

Функцию F можно определить однозначно при помощи её аппроксимации с точностью до неизвестного коэффициента A_1 . Простейшей аппроксимацией F является *аппроксиманта Паде*

$$F = \frac{a}{1 + A_1 G_b / G_a}.$$

По расчетам [3] тепло- и массообмена в градирнях при малых расходах воды величина a из предыдущей формулы может быть принята приближенно равной 1. При этом процедура идентификации параметра A_1 по натурным измерениям устраняет возможную погрешность в определении величины a . Далее, принимая общий расхода воздуха через градирню постоянным, что справедливо для башенных градирен [3], можно записать:

$$F = \frac{1}{1 + A_1 G_b} = \frac{\Delta T}{\Delta T_{\Pi}}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что

$$A_i = \frac{\Delta T_{\Pi} - \Delta T_i}{G_i \Delta T_i}, \quad i = 1 \dots N. \quad (3)$$

Используя (3), оптимальные значения секционных расходов теплой воды определяются по формулам [3]:

$$G_i^* = G_b / A_i \sum_{i=1}^N A_i^{-1}. \quad (4)$$

Формула (4) получена с допущением, что при малых отклонениях расхода значения A_i не изменяются [3].

Другим способом оптимизации управления градирней может быть применение импульсно-периодического режима орошения [4]. Импульсно-периодический режим орошения можно организо-

вать следующим образом. Если на небольшой промежуток времени $t_1 \leq t_2$ (где t_2 – время прохождения паровоздушной смесью оросительного пространства градирни h_2) прервать поток воды из водораспределительного устройства, то в силу инерционности конвективных потоков тяга градирни сохранится, и достаточно быстро произойдет обновление паровоздушной среды в первой (зона для поступления воздуха) и во второй (зона оросительного устройства) зонах градирни. В подоросительное пространство за этот промежуток времени поступит извне относительно холодный, ненасыщенный парами воды воздух.

Если затем пропустить поток воды за время t_2 , то испарительное охлаждение воды будет значительно более эффективным. Выбор времени орошения t_2 произволен, но должен определяться из условия максимальной эффективности работы градирни. Критерием оптимизации параметров импульсного режима орошения может служить параметр S , равный отношению потоков энтальпий

$$S = \frac{\Delta H_v}{\Delta H},$$

где ΔH_v – поток энтальпии в нестационарном режиме; ΔH – поток энтальпии в стационарном режиме, необходимый для обеспечения нормальной работы конденсатора турбины, которую обслуживает градирня. Этот поток можно записать как

$$\Delta H = G_b c \Delta T = \text{const},$$

где c – удельная теплоёмкость воды; G_b – массовый расход воды, протекающей через градирню (гидравлическая нагрузка); $\Delta T = T_2 - T_1$ – перепад температур воды в градирне.

Проведенные эксперименты [4] показали, что физические эффекты, связанные с переходом к периодическому режиму работы, позволяют повысить тепловой КПД градирни примерно в полтора раза.

Реализация приведенных выше способов регулирования может быть выполнена с использованием системы автоматического регулирования процессом охлаждения в башенных градирнях, приведенной на рис. 2. Разработанная автоматизированная система включает в себя датчики температуры воды (Т), датчики расхода воды (G), датчики температуры воздуха при $\phi = 100\%$ (T_b – температура мокрого термометра), регулирующие клапаны с электроприводами (М), микропроцессорный управляющий контроллер (К), сервер базы данных и автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера.

Применительно к первому из изложенных выше способов регулирования общий алгоритм работы автоматизированной системы следующий. На каждом цикле регулирования значения текущих расходов и температур воды, а также температуры мокрого термометра T_b , измеряются соответствующими датчиками и передаются в управляющий контроллер (К). В контроллере производится расчет оптимальных значений расходов воды в соответствии с приведенной выше методи-

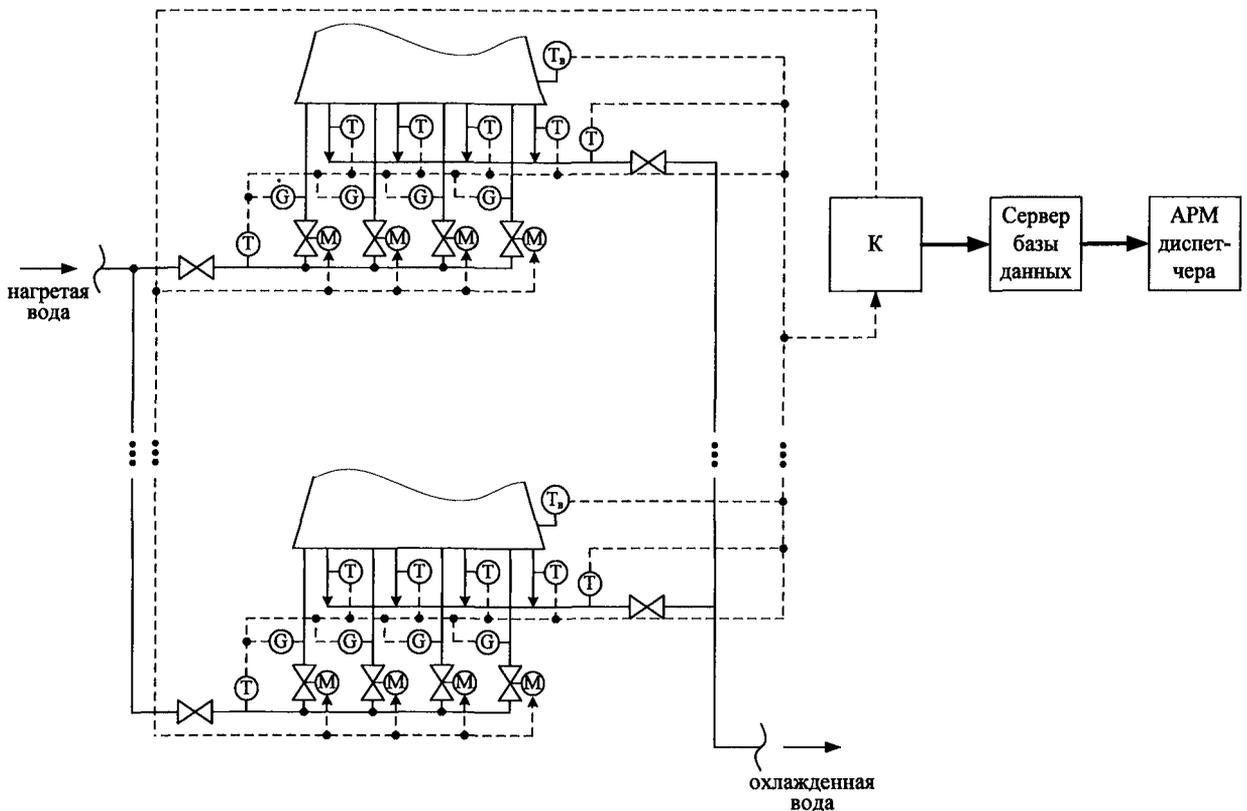


Рис. 2. Схема автоматического регулирования процессом охлаждения в башенных градирнях

кой, после чего формируются необходимые управляющие воздействия на электроприводы регулирующих клапанов (М), изменяющих расходы охлаждаемой воды через секции градирен.

Информация о текущих значениях параметров воды (температуры, расходы), положениях регулирующих клапанов и состоянии оборудования системы автоматизации передается на сервер базы данных, где происходит ее архивирование.

Просмотр текущих и архивных значений технологических параметров, а также настройка системы при наладке и в процессе эксплуатации осуществляется при помощи АРМ оператора.

Применительно ко второму из приведенных способов регулирования общий алгоритм работы системы автоматического регулирования аналогичен изложенному выше за исключением алгоритма расчета и формирования команд управления регулируемыми клапанами, реализуемого в микропроцессорном контроллере.

Заключение

1. Целью работ по автоматизации в охладительных установках является выработка закона управления, повышающего текущий КПД охлаждающей установки. При этом основными факторами, влияющими на охлаждение воды в градирне, являются разность температур охлаждаемой воды и воз-

духа, скорость движения воздуха относительно поверхности воды и относительная влажность воздуха.

2. В статье рассмотрены возможные способы оптимизации работы башенных градирен, разработана схема системы автоматического регулирования процесса охлаждения воды в башенных градирнях, позволяющая реализовать указанные способы оптимизации.

Литература

1. Стерман, Л. С. *Тепловые и атомные электростанции: учебник для вузов* / Л. С. Стерман, С. А. Тевлин, А. Т. Шарков. - М.: Энергоиздат, 1982. - 456 с.

2. Акулова, Л. Г. *Аэродинамика высокопроизводительных градирен современных ТЭС* / Л. Г. Акулова, Л. Э. Родэ. - СПб.: Энергия, 1972. - 52 с.

3. Борухов, В. Т. *Оптимизация работы башенной испарительной градирни при внешних аэродинамических воздействиях* / В. Т. Борухов, С. П. Фисенко // *Инженерно-физический журнал*. - 1992. - Т. 63, № 6. - С 678-683.

4. *Моделирование работы башенной испарительной градирни с импульсно периодическим режимом орошения* / Г. В. Дашков и др. // *Известия РАН. Энергетика*. - 2007. - №1. - С. 96-106.

Поступила в редакцию 20 мая 2008 г.