

теплоносителя, его температуры, концентрации ионов солей жесткости и ряда других факторов.

- Полученные по результатам эксплуатации магнитных систем на производстве эффекты носят интегральный качественный характер.
- Для получения количественных зависимостей между параметрами магнитных систем, независимыми внешними параметрами и результатами безреагентной обработки воды необходимо проведение тщательных лабораторных исследований.

Литература:

1. Стукалов П.С., Васильев Е.В., Глебов Н.А. Магнитная обработка воды. - Ленинград: «Судостроение», 1962.
2. Тебенихин Е.Ф., Гусев Б.Т. Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике. - М.: «Энергия», 1970.
3. Классен В.И. Омагничивание водных систем.-2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1982.
4. Николаев Г.В. Научный вакуум. Кризис в фундаментальной физике. Есть ли выход? - Томск: Изд-во НТЛ, 1999.
5. Миненко В.И. Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике. - Харьков: Вища школа, 1981.

УДК 621.3.11.22

ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ТРАКТЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ТЭЦ С ПОПЕРЕЧНЫМИ СВЯЗЯМИ

Л.А. Беляев, О.Ю. Ромашова

Томский политехнический университет, г. Томск

bel@ped.tpu.ru

ТЭЦ с поперечными связями по контуру рабочего вещества представляет собой сложную гидравлическую систему, в которой при относительно небольшом количестве регулирующей арматуры распределение теплоносителя по различным элементам и трубопроводам подчиняется законам гидравлики. Внешним воздействием через регуляторы питания котлов и регулирующие клапаны турбин управляется расход рабочего вещества через конкретные котлы и турбины. Расход через другие элементы тепловой схемы определяется связями между ними, положением запорной арматуры, гидравлическими сопротивлениями.

Для решения ряда задач, таких как определение показателей тепловой экономичности, распределение нагрузки между агрегатами ТЭЦ и т. п., необходимо знание потокораспределения теплоносителя по тепловой схеме станции.

Питательный тракт (ПТ) ТЭЦ, включающий питательные насосы, группы ПВД отдельных турбоагрегатов, котлоагрегаты, обводные линии и регуливающую арматуру, представляет собой сложную гидравлическую систему, являющуюся предметом изучения

теории гидравлических цепей (ГЦ). Как в любой ГЦ, в ПТ различают три ее основные составляющие (подсистемы):

- 1) *источники* давления (питательные насосы) и расхода (уравнительный коллектор за деаэраторами питательной воды), обеспечивающие притоки транспортируемой среды и приносящие энергию в систему;
- 2) гидравлическую *сеть* в виде совокупности взаимосвязанных трубопроводов, трубной системы ПВД, поверхностей нагрева паровых котлов, коллекторов питательной воды;
- 3) *потребители* рабочего тела – паровые турбины и РОУ, которые в связи с незначительностью потери давления в коллекторе острого пара можно рассматривать как выходящие из одной точки с одинаковым давлением.

Схема ПТ ТЭС с поперечными связями в общем виде приведена на рис. 1. Соответствующая ей расчетная схема – на рис.2, где участки сети, включающие арматуру и другие местные сопротивления, изображаются в виде ветвей, места расположения источников расхода (притоков) и потребителей (стоков), а также соединений ветвей – в виде узлов (вершин); источники напора также относятся к ветвям. Обозначим число ветвей равным n , число вершин – m , а количество контуров – c . Схема на рис.2 имеет $n = 22$, $m = 14$, $c = 9$. В общем случае для ГЦ, соответствующей ПТ ТЭС с поперечными связями, эти значения зависят от количества находящихся в работе питательных насосов ($N_{ПН}$), ниток ПВД и «холодных» стояков ($N_{ПВД+ХС}$) и котлоагрегатов ($N_{КА}$):

$$c = N_{ПН} + N_{ПВД+ХС} + N_{КА} - 3;$$

$$m = N_{ПН} + N_{КА} + 2(N_{ПВД+ХС} - 1);$$

количество ветвей соответствует значению

$$n = (m - 1) + c = 2N_{ПН} + 2N_{КА} + 3(N_{ПВД+ХС} - 1) - 2.$$

Движение рабочего тела в питательном тракте в установившемся режиме происходит в соответствии с двумя известными в теории ГЦ законами Кирхгофа. Параметрами, характеризующими режим, являются давления в узлах p_j и расходы (потoki) g_i на участках системы. Задача расчета параметров режимов питательного тракта для различных сочетаний исходных условий относится к задачам расчета потокораспределения [1].

Математической моделью ПТ являются системы смешанных (линейных и нелинейных) уравнений, которые в матричной форме имеют следующий вид:

$$A \cdot G = Q, \quad (1)$$

$$B \cdot dP = 0, \quad (2)$$

$$dP + H = S \cdot G_m \cdot G \quad (3)$$

относительно неизвестных векторов $G = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ и $dP = (dp_1, dp_2, \dots, dp_n)$,

где A - матрица $(n \times n)$ *соединений* ветвей в узлах; G – вектор размера n расходов на участках цепи; Q – вектор размера $(m - 1)$ притоков (оттоков) среды в узлах; B - матрица $(c \times n)$ *контуров*; dP - вектор размера n потерь давления на ветвях; H - вектор размера n напоров питательных насосов; S - диагональная матрица $(n \times n)$ сопротивлений ветвей; G_m - диагональная матрица $(n \times n)$ модулей расходов рабочего тела.

При условии равенства суммарного расхода питательной воды суммарному расходу свежего пара $\sum D_{пв} = \sum D_{пе}$ для схемы ПТ единственная ненулевая компонента вектора Q равна $\sum D_{пе}$ и соответствует оттоку из узла, соответствующего паровому коллектору острого пара.

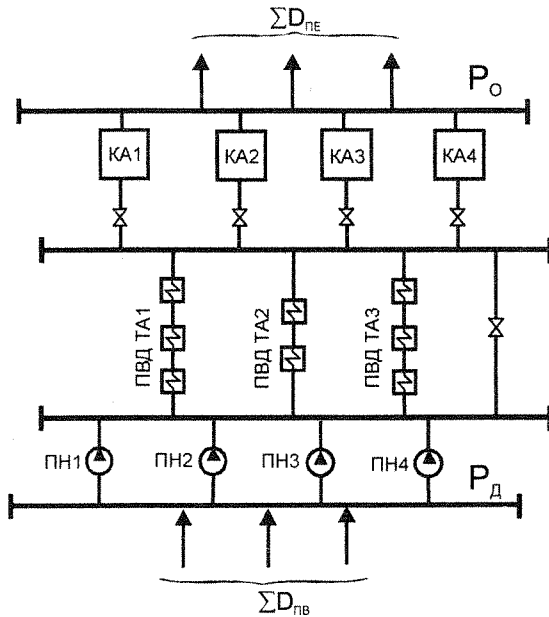


Рис.1. Принципиальная схема питательного тракта ТЭС с поперечными связями

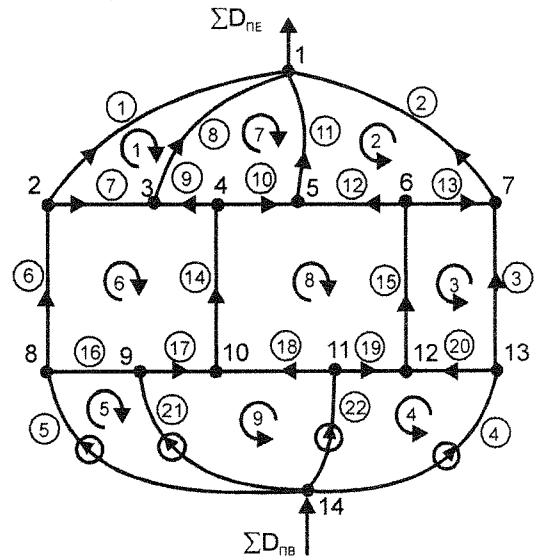


Рис.2. Расчетная схема гидравлической цепи:

① - номер ветви i ; 1 - номер узла j ; ⑥ - номер контура r и направление его обхода

Первая подсистема (1) математической модели отражает первый закон Кирхгофа, в соответствии с которым для каждого узла сети сумма входящих в него потоков равна сумме выходящих. Вторая подсистема (2) соответствует второму закону Кирхгофа, согласно которому сумма перепадов давлений для всех линейно независимых контуров цепи равна нулю. Выражение (3) представляет замыкающее соотношение относительно величин, относительно которых сформулированы законы Кирхгофа, и математически отражает тот факт, что движение на каждом участке сопровождается потерей энергии

$$dp_i = p_i - p_{(j+1)} = s_i \cdot g_i^2 - H_i.$$

При расчете потокораспределения для ПТ в качестве исходных данных задаются суммарный расход питательной воды $\sum D_{ПВ}$, матрица сопротивлений S , вектор напоров питательных насосов H .

Для решения системы уравнений (1)-(3) могут быть использованы *метод контурных расходов* (МКР) и его различные «увязочные» варианты [2].

Приведенное выше математическое описание ГЦ соответствует модели, основные характеристики которой, т.е. величины гидравлических сопротивлений s_i , действующих напоров h_i являются «сосредоточенными» (усредненными) постоянными. Для получения адекватной модели потокораспределения, соответствующей реальной схеме, величины s_i, h_i должны считаться функциями неизвестных: расходов g_i , потерь давлений dp_i , узловых давлений p_i , т.е., к примеру $s_i = s_i(g_i, p_i^{cp})$, $H_i = H_i(g_i)$, где p_i^{cp} – некоторое среднее для ветви i значение. В математическом моделировании это означает

наличие внешних итерационных циклов по s_i и H_i , использующих модель потокораспределения с сосредоточенными параметрами на каждой итерации.

Выполненные расчеты потокораспределения по питательному тракту при различном сочетании паровых нагрузок турбин и различной структуре работающего оборудования показывают, что в реальных условиях возможно отклонение расхода питательной воды ($D_{пв}^i$) от расхода пара на турбину (D_o^i) на (25 – 30) %.

Таким образом, в соответствии с технологической структурой ТЭЦ с поперечными магистралями расход основного конденсата через ПНД однозначно связан с расходом пара на турбину, а расход питательной воды через группу ПВД практически всегда функционально не связан с расходом пара на соответствующую турбину и определяется гидравлическими характеристиками питательного тракта и составом работающего оборудования. Следует отметить, что на промышленных ТЭЦ, с большим отпуском технологического пара, полный расход питательной воды существенно отличается от суммарного расхода пара на турбины, т.к. работающие или находящиеся в горячем резерве РОУ на остром паре требуют дополнительного количества питательной воды котлов, распределяющейся по группам ПВД. В то же время, по действующей методике построения энергетических характеристик (ЭХ) турбин [3] они строятся при условии равенства расхода пара на турбину и расхода питательной воды через ПВД.

Отличие $D_{пв}^i$ от D_o^i приводит к тому, что расходы пара в отборы на ПВД будут отличаться от соответствующих расходов, определенных при построении ЭХ. Кроме того, произойдет изменение давления в отборах и, соответственно, изменение температуры питательной воды.

Выводы

1. При решении оптимизационной задачи распределения нагрузки между агрегатами ТЭЦ необходимо рассматривать задачу потокораспределения теплоносителя по питательному тракту.
2. Отличие расхода пара на турбину от расхода питательной воды через соответствующую группу ПВД, вызванное объективными причинами самостоятельного функционирования гидравлической цепи питательного тракта, приводит к необходимости введения поправок к энергетическим характеристикам турбоагрегатов на отклонение расхода питательной воды.

Литература:

1. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. – М.: Наука, 1985.
2. Сеннова Е.В., Сидлер В.Г. Математическое моделирование и оптимизация развивающихся теплоснабжающих систем. – Новосибирск, Наука, 1987.
3. Методические указания по составлению и содержанию энергетических характеристик оборудования тепловых электростанций. РД 34.09.155-93 (М.: СПО ОРГРЭС, 1993) Утверждено Минтопэнерго РФ 21.07.93 г.