

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБОАГРЕГАТОВ В СХЕМАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ

В.А. Заломихин, Б.Ф. Калугин

Томский политехнический университет

E-mail: zva_tes82@mail.ru

Предложена новая схема предварительной подготовки подпиточной воды различного технологического назначения при параллельной работе турбоагрегатов с отпуском тепла внешним потребителям. Сопоставлены и проанализированы варианты работы одной из существующих и предложенной схем. Использование разработанной схемы по сравнению с существующей позволяет снизить расходы топлива до 15...16 % или 31 тыс. т.у.т. за отопительный период.

Рациональное использование энергоносителей (топлива) является одной из главнейших задач предприятий ТЭК (топливно-энергетического комплекса), в том числе ТЭС (тепловых электрических станций). Топливная составляющая затрат ТЭС является одной из основных составляющих тарифа предприятия на отпускаемую продукцию (тепло и электроэнергия). Особенно актуальной становится задача снижения затрат (в том числе и топливных) на производство и отпуск продукции в связи с формированием новых условий на рынке НОРЭМ (новый оптовый рынок электроэнергии и мощности).

На рис. 1 представлена одна из существующих схем (схема № 1) подготовки подпиточной воды и отпуска тепла с сетевой водой одной из крупных действующих ТЭЦ Сибири, имеющей открытую систему водоразбора и отпуск пара промышленным потребителям без возврата конденсата. На рис. 3 представлена новая схема (схема № 2). Рассматриваемой схеме ТЭЦ присущи большие потери теплоносителя (сетевой воды и пара промышленных потребителей), которые должны быть восполнены на ТЭЦ.

В существующих схемах рис. 1 (схема № 1) подогрева подпиточной воды для проведения химической очистки нашли широкое применение паровые теплообменные аппараты – 1, 2 (1 – подогреватель подпитки котлов, 2 – подогреватель подпитки теплосети). Данные подогреватели необходимы для подогрева и выдерживания температуры подпиточной воды на требуемом уровне 26 ± 1 °С. Приведенная температура подпиточной воды принята для исследуемой станции и зависит от процессов, проводимых в цехе химической очистки воды. Для восполнения утечек рабочего тела служит речная вода, забираемая непосредственно с русла реки. Температура забираемой с реки воды зависит от времени года и для рассматриваемого отопительного периода исследуемой станции лежит в пределах $+1...+6$ °С.

Для предварительного подогрева подпиточной воды, забираемой с реки, возможно использование конденсатора – 3 турбоагрегата, работающего при давлении свыше 15...20 кПа. Через конденсатор – 3 может проходить как весь требуемый поток подпиточной воды, так и его часть. Величины пропускаемого потока подпиточной воды через конденсатор и в обвод его, а также температуры подпиточной воды после конденсатора – 3 и по обводной линии

конденсатора – 3 характеризуют температуру подпиточной воды перед паровыми теплообменными аппаратами – 1, 2. Расходы подпиточной воды через – 1, 2 и величина нагрева от температуры перед подогревателями до 26 ± 1 °С формируют тепловую нагрузку паровых теплообменных аппаратов. Пар на подогреватели – 1, 2 подается от теплофикационного турбоагрегата ТА2 (типа Т-25-8,8), имеющего один регулируемый отбор пара с диапазоном регулирования 0,12...0,25 МПа. После подогрева до требуемых значений забираемой с реки воды на восполнение утечек различного технологического назначения подпиточная вода направляется в цех химической очистки воды.

Подпиточная вода, возвращаемая с цеха химической очистки воды, догревается до требуемых технологических температурных значений паром ТА1 (на схемах, рис. 1 и 3, данный агрегат не показан) и не рассматривается, так как имеет постоянные величины тепловой нагрузки, не оказывая влияния на работу оборудования. Кроме тепловой нагрузки подогревателей – 1, 2 турбоагрегат ТА2 несет тепловую нагрузку, обусловленную подогревом обратной сетевой воды, возвращаемой от потребителей с температурой $t_{об}$ (температура обратной сетевой воды согласно температурного графика отпуска тепла, рис. 2, кривая – 1) или $t_{об,ф}$ (фактическая температура обратной сетевой воды, полученная путем обработки данных исследуемой станции, рис. 2, кривая – 2, имеет значения выше $t_{об}$) до температуры $t_{о.о.}$ (температура смеси, полученная путем подогрева части расхода обратной сетевой воды в подогревателях – 5, 6, и частичного их обвода, если требуется, рис. 2, кривая – 3). Использование линии обвода – 7 подогревателей обусловлено необходимостью выдерживания температуры прямой сетевой воды согласно температурного графика в диапазоне повышенных температур наружного воздуха.

Для покрытия заданных тепловых нагрузок, обусловленных расходом возвращаемой на станцию обратной сетевой воды $G_{об}=1028$ кг/с кроме ТА2, задействован турбоагрегат ТА3 (типа Т-115-8,8), имеющий два регулируемых отбора пара с диапазоном регулирования 0,05...0,25 МПа. Конденсат греющего пара $G_{к.г.}$ подогревателей – 4, 5 возвращается в тепловую схему ТА3, а конденсат подогревателей – 1, 2 и 6 – в тепловую схему ТА2.

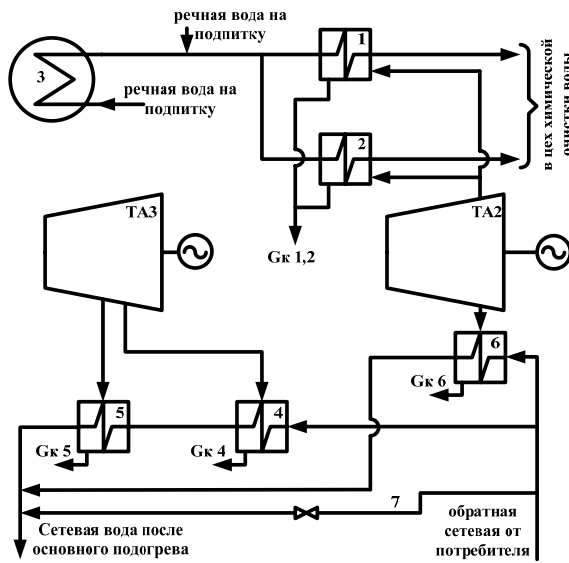


Рис. 1. Схема предварительной подготовки воды № 1

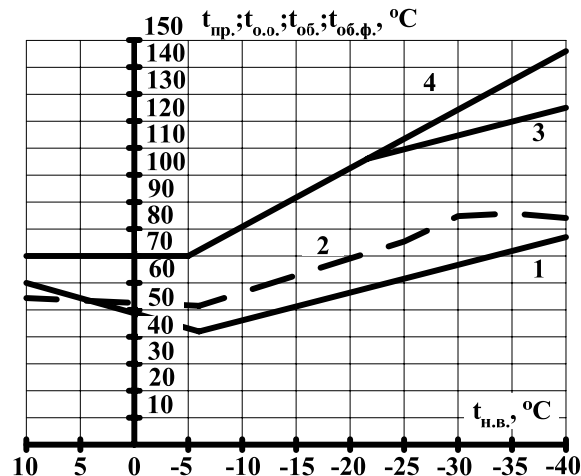


Рис. 2. Температурный график отпуска тепла

Расходы подпиточной воды для теплосети составляют 278 кг/с; для восполнения потерь с паром промышленных отборов и потерь в цикле станции 125 кг/с (подпитка котлов). Все расчеты на переменный режим [2] работы турбоагрегатов, рис. 1 и 3, проведены с условием работы по тепловому графику с минимальным вентиляционным пропуском пара в части низкого давления (ЧНД) турбоагрегатов ТА2 и ТА3. При проведении расчетов приняты ограничения для ТА3 по тепловой нагрузке в 653 ГДж/ч; по максимальному расходу сетевой воды 833 кг/с через подогреватели – 4, 5 (ограничения приняты в соответствии с данными завода-изготовителя).

Сущность предлагаемых изменений заключается в замене паровых теплообменных аппаратов – 1, 2 на водо-водяные теплообменные аппараты (ВВТА) – 8, 9 (рис. 3). Обозначения элементов на рис. 3 соответствуют обозначениям рис. 1. В ВВТА для подогрева подпиточной воды, идущей в цех химической очистки воды, в качестве греющей среды используют обратную сетевую воду, поступающую

на станцию от потребителей с $t_{об}$ или $t_{об.ф.}$. В результате подогрева подпиточной воды происходит охлаждение обратной сетевой воды. Охлажденная сетевая вода поступает на двухступенчатый подогрев ТА3. В результате перераспределения тепловых и электрических нагрузок между ТА2 и ТА3, обусловленных снижением температуры обратной сетевой воды, поступающей на подогреватели – 4, 5 ТА3 (при одной и той же пропускной способности подогревателей ТА3 – 4, 5 снижение температуры обратной сетевой воды относительно рассматриваемой схемы способствует увеличению тепловой, а соответственно и электрической нагрузки турбоагрегата ТА3, имеющий более экономичную двухступенчатую схему отпуска тепла [4, 5]). Более низкая температура обратной сетевой воды при двухступенчатой схеме способствует снижению давления в нижнем сетевом подогревателе – 4 (снижение давления в нижнем теплофикационном отборе), что увеличивает выработку электроэнергии паром, поступающим на данный подогреватель, кроме того, способствует уменьшению пропуска пара $G_{чнд}$ через полностью закрытую регулируемую диафрагму в ЧНД и конденсатор. Применение схемы № 2 целесообразно во всем диапазоне температур наружного воздуха +8...–40 °С, рис. 9.

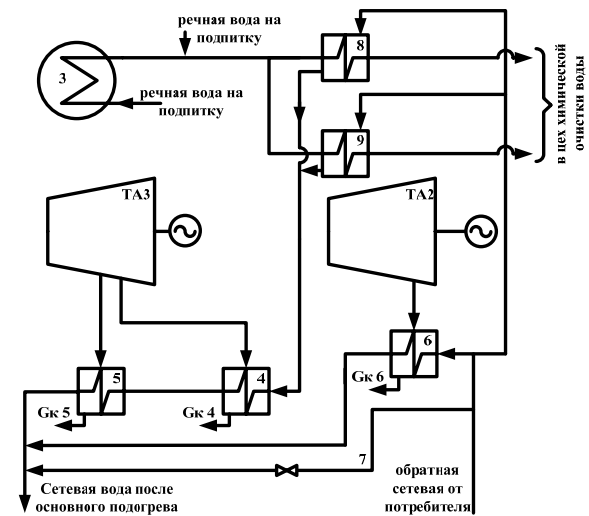


Рис. 3. Схема предварительной подготовки воды № 2

Результатом предлагаемых изменений так же будет снижение тепловой и электрической нагрузки ТА2 (имеющего менее экономичную одноступенчатую схему отпуска тепла по сравнению с двухступенчатой ТА3) или полное его исключение из схемы при достаточности отпускаемого тепла с ТА3 и повышенной температуре наружного воздуха. Суммарная электрическая мощность, вырабатываемая турбоагрегатами ТА2 и ТА3 в схеме № 2, больше, чем при работе по схеме № 1 при одинаковом отпуске тепла. Изменение расходов воды по потокам конденсатор – 3 и его обвод позволяют изменять тепловую нагрузку, приходящуюся на ВВТА (максимальная тепловая нагрузка соответствует полному обводу конденсатора – 3, т. е. непосред-

ственная подача воды на подогреватели – 1, 2 или – 8, 9 с реки). Чем больше тепловая нагрузка ВВТА, тем больше экономия топлива по новой схеме.

Дополнительно выработанная электрическая мощность на тепловом потреблении способствует вытеснению выработки электроэнергии по конденсационному циклу рассматриваемой станции или другого источника. Для определения экономии топлива за счет дополнительно выработанной электрической мощности при применении новой схемы, рис. 3, приняты удельные расходы топлива вытесняемого источника электроснабжения 246 г.у.т./кВт·ч) и 550 г.у.т./кВт·ч). Для определения годовой экономии топлива от использования схемы № 2 были проведены расчеты по работе исследуемых схем в температурном диапазоне от +8 °С до –40 °С с шагом 5 °С от 0 °С. По результатам расчета для каждого температурного значения $t_{н.в.}$ определена часовая экономия условного топлива.

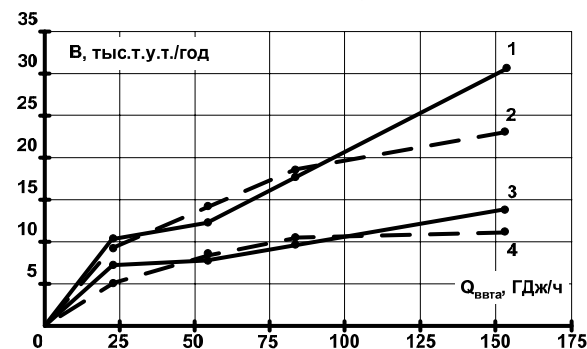


Рис. 4. Кривые годовой экономии топлива

В соответствии с [1] и средним числом стояния для каждого расчетного температурного значения региона расположения ТЭЦ определена годовая экономия топлива. На рис. 4 представлены кривые, позволяющие определить годовую экономию топлива при использовании схемы № 2 от величины тепловой нагрузки, приходящейся на ВВТА, как для $t_{об}$ (кривая 2 – для вытесняемого источника электроснабжения с удельными расходами топлива 550 г.у.т./кВт·ч) и кривая 4 – 246 г.у.т./кВт·ч), так и для $t_{об.ф}$ (кривая 1 – 550 г.у.т./кВт·ч) и кривая 3 – 246 г.у.т./кВт·ч). В области, ограниченной кривыми – 2, 4 (рис. 4), и кривыми – 1, 3 (рис. 4), можно определить годовую экономию топлива для ТЭС с удельными расходами топлива на выработку электроэнергии в диапазоне 246...550 г.у.т./кВт·ч).

Внедрение схемы № 2 способствует:

1. перераспределению нагрузок (тепловых, электрических) между параллельно работающими агрегатами, увеличивая нагрузку одних и снижая нагрузку других менее экономичных агрегатов. При низких тепловых нагрузках позволяет полностью исключить работу одного из рассматриваемых агрегатов;
2. понижению давления в нижних теплофикационных отборах (при наличии двух и более ступенях основного подогрева сетевой воды),

что способствует увеличению выработки электроэнергии на тепловом потреблении;

3. уменьшению тепловых потерь в конденсаторе турбоагрегата. За счет снижения давления в нижнем теплофикационном отборе при полностью закрытой регулирующей диафрагме происходит существенное уменьшение пропуска пара в ЧНД и в конденсатор;
4. снижению удельных расходов топлива на выработку и отпуск электроэнергии при обеспечении тепловой энергией в требуемом количестве;
5. вытеснению конденсационной выработки электроэнергии собственно на рассматриваемой станции или в энергосистеме;
6. исключению паровых теплообменных аппаратов и насосов, перекачивающих конденсат греющего пара подогревателей – 1, 2 (рис. 1).

Результаты работы параллельно включенных агрегатов по исследуемой схеме ТЭЦ (широко используемой на ТЭС) и предложенной новой схеме предварительной подготовки подпиточной воды с отпуском тепла потребителям для варианта без подогрева подпиточной воды в конденсаторе – 3 и с тепловой нагрузкой, приходящейся на ВВТА $Q_{ввта}=152$ ГДж/ч в зависимости от температуры наружного воздуха $t_{н.в.}$, представлены на рис. 5–9.

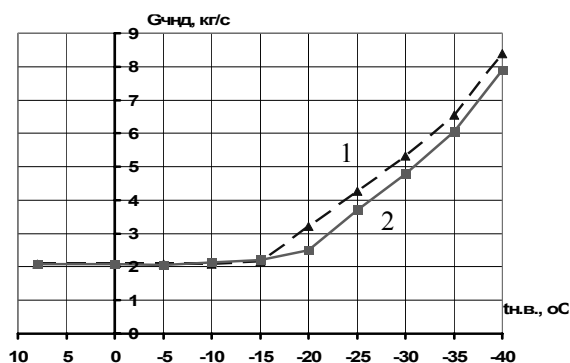


Рис. 5. Характеристика расхода пара в ЧНД ТАЗ при использовании: 1) схемы № 1; 2) схемы № 2

На рис. 5 видно, что расход пара в ЧНД ТАЗ (кривая – 2) при использовании схемы № 2 меньше, чем при использовании схемы № 1 (кривая – 1).

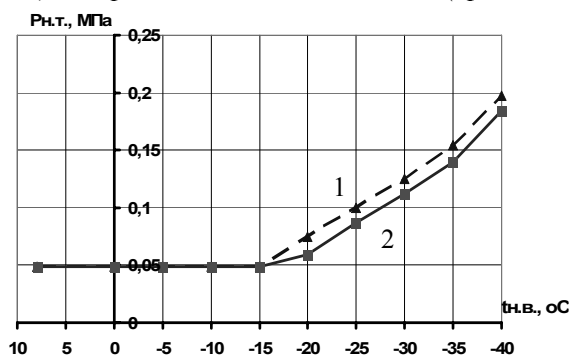


Рис. 6. Характеристика давления $P_{нт.}$ нижнего теплофикационного отбора ТАЗ при использовании: 1) схемы № 1; 2) схемы № 2

На рис. 6 видно, что давление нижнего теплофикационного отбора ТА3 (кривая – 2) при использовании схемы № 2 ниже соответствующему давлению ТА3 при использовании схемы № 1 (кривая – 1).

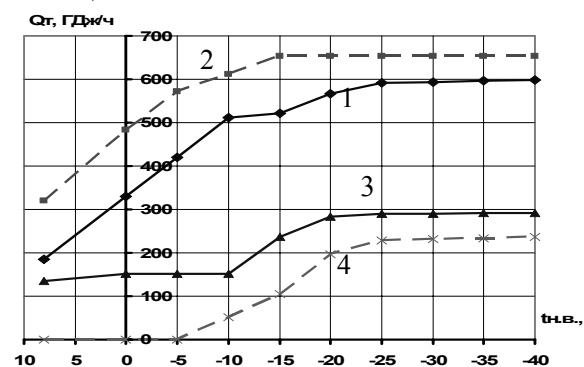


Рис. 7. Характеристика отпускаемых тепловых нагрузок Q_t с ТА3 и ТА2: 1, 3) схема № 1; 2, 4) схема № 2

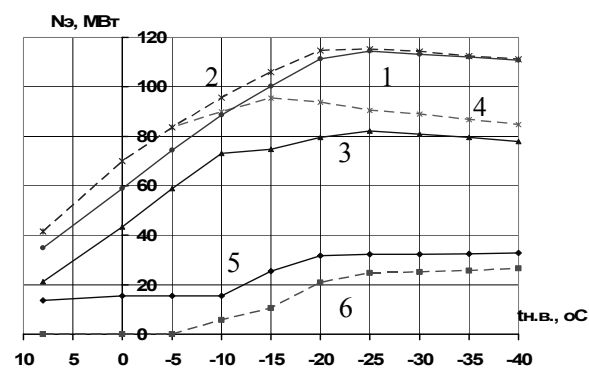


Рис. 8. Характеристика электрических нагрузок $N_{э}$: 1, 2) суммарная нагрузка ТА2 и ТА3, схемы № 1 и № 2; 3, 5) нагрузка ТА3 и ТА2, схемы № 1; 4, 6) нагрузка ТА3 и ТА2, схема № 2

На рис. 8 видно, что суммарная электрическая мощность (кривая – 2), выработанная турбоагрегатами ТА2 и ТА3 при использовании схемы № 2, больше, чем для ТА2 и ТА3 при использовании схемы № 1 (кривая – 1).

Как видно на рис. 9, значения удельных расходов топлива на выработку электроэнергии при использо-

вании схемы № 2 во всем диапазоне температур наружного воздуха значительно ниже, чем при использовании схемы № 1. Резкое изменение кривой – 1 при температуре наружного воздуха -10°C обусловлено включением турбоагрегата ТА2 в схему отпуска тепла.

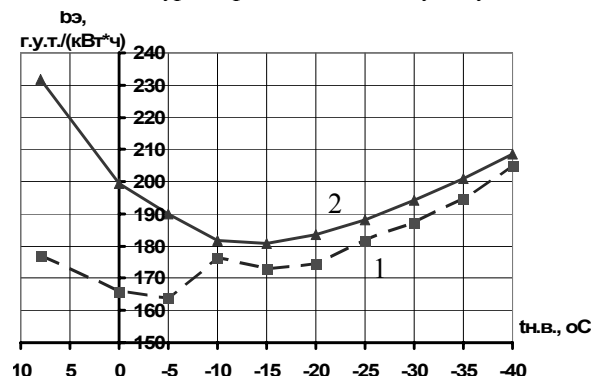


Рис. 9. Характеристика средневзвешенных по ТА2 и ТА3 удельных расходов топлива b , на выработку электроэнергии при использовании: 1) схемы № 2, 2) схемы № 1

Выводы

Разработана новая более экономичная схема предварительной подготовки подпиточной воды с использованием тепла обратной сетевой воды для предприятий ТЭК на базе ТЭС.

Применения новой схемы позволяют снизить расходы топлива до 15...16 % или 31 тыс. т.у.т. за отопительный период.

Новая схема способствует снижению стоимости электроэнергии путем снижения удельных расходов топлива.

Применение новой схемы способствует улучшению экологической обстановки на фоне снижения удельных расходов топлива на выработку электроэнергии.

Полученные данные по эффективности говорят о целесообразности применения разработанной схемы на предприятиях ТЭК на базе ТЭС и способствуют дальнейшему расширению применения схем, использующих в качестве греющей среды обратную сетевую воду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.
2. Гиршфельд В.Я. Режимы работы и эксплуатации ТЭС. – М.: Энергия, 1980. – 288 с.: ил.
3. Кирсанов И.Н. Конденсационные установки. – М.: Энергия, 1965. – 376 с.

4. Бененсон Е.И., Иоффе Л.С. Теплофикационные паровые турбины. – М.: Энергия, 1976. – 264 с.: ил.
5. Антонова А.М., Вагнер М.А., Калугин Б.Ф. Общая энергетика. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 387 с.

Поступила 23.11.2006 г.