

К ВЫБОРУ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ СЕТЕВЫХ НАСОСОВ ВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Асп. СЕДНИН А. В.

Белорусская государственная политехническая академия

В Республике Беларусь существует множество систем централизованного теплоснабжения, теплогенерирующим источником которых являются крупные отопительные водогрейные котельные. Перевод их в миниТЭЦ перспективен [1], однако вследствие нестабильной финансовой ситуации в стране рассчитывать на быстрое техническое перевооружение котельных не приходится. Поэтому одним из основных направлений по экономии топлива в настоящее время является упорядочение режимов работы котлов и сокращение расхода электроэнергии на технологические нужды. Данные мероприятия должны производиться с учетом режимов работы теплосетей и тепловых потребителей.

На рис. 1 представлены применяемые на практике схемы обвязки водогрейных котлоагрегатов линиями рециркуляции и перепуска [2, 3]. Основным отличием вариантов является место размещения в схеме насосных групп. В варианте 1 гидравлический режим тепловой сети и котлоагрегатов обеспечивается только группой сетевых насосов и насосов подпитки, в вариантах 2—4 — гидравлический режим тепловой сети поддерживается группой сетевых насосов и насосов подпитки, а гидравлический режим котлоагрегатов — группой рециркуляции.

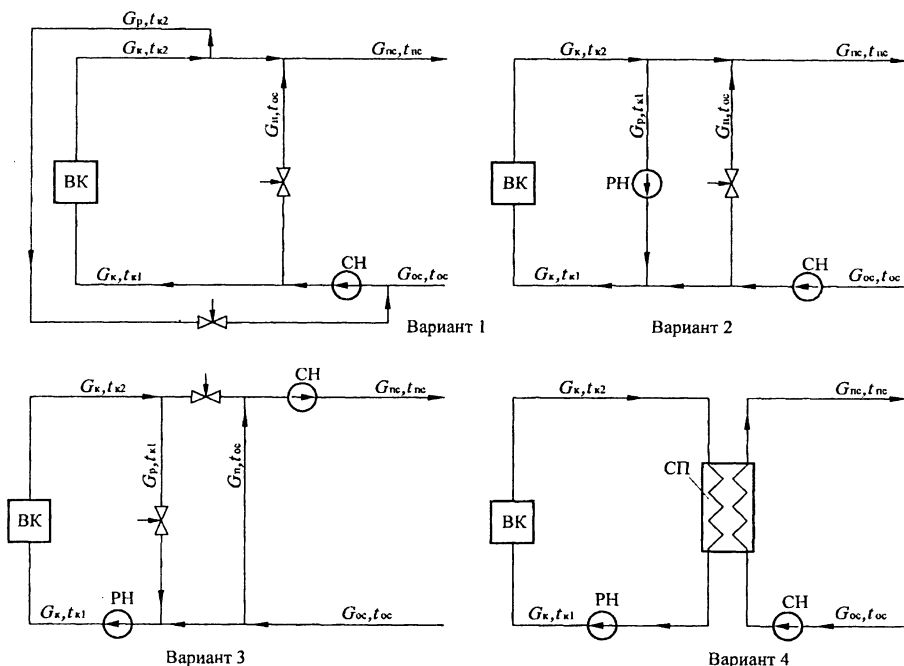


Рис. 1. Принципиальные тепловые схемы водогрейной котельной: ВК — водогрейный котел (или группа котлов); СН — группа сетевых насосов; РН — рециркуляционный насос; СП — сетевой подогреватель

Технологические преимущества и недостатки каждой из схем сведены в табл. 1. В вариантах 3—4 через насос рециркуляции прокачивается объем теплоносителя, соответствующий номинальному режиму котлоагрегата(ов). Установка частотного преобразователя на насосной группе рециркуляции в этом случае нецелесообразна вследствие того, что расход воды через котел нужно поддерживать постоянным на всех режимах [2]. Сетевая группа насосов в этом случае работает в режимах тепловой сети по перепаду давления в прямом и обратном трубопроводах. Так как давление в обратном трубопроводе поддерживается группой насосов подпитки, фактически управление может производиться в соответствии с давлением в прямом трубопроводе. Экономия электроэнергии определяется по снижению энергопотребления сетевыми насосами и может быть определена исходя из графика тепловой нагрузки.

Таблица 1

Преимущества и недостатки схем ВК

Схема	Преимущества	Недостатки
Вариант 1	Отсутствие насосной группы рециркуляции	Котел находится под давлением в прямом трубопроводе тепловой сети
Вариант 2	Мощность насосов сетевой группы уменьшается по сравнению с первым вариантом;	Котел находится под давлением в прямом трубопроводе тепловой сети; добавляется группа насосов рециркуляции
Вариант 3	Мощность насосов сетевой группы уменьшается по сравнению с первым вариантом; котел находится под давлением обратного трубопровода плюс давление насоса рециркуляции	Температура теплоносителя в прямом трубопроводе тепловой сети ограничивается рабочей температурой насосов сетевой группы; добавляется группа насосов рециркуляции
Вариант 4	Мощность насосов сетевой группы уменьшается по сравнению с первым вариантом; котел находится под давлением группы насосов рециркуляции; установка водо-водяного теплообменника позволяет разделить контуры, что ведет к более надежной эксплуатации котла путем организации более качественного водно-химического режима. На многих котельных, где через ВК проходит сетевая вода, имеет место постепенный занос трубок конвективной части железистыми отложениями, вымываемыми из теплосети, что ведет как к росту гидравлического сопротивления котла, так и к ухудшению надежности его работы	Добавляется группа сетевых подогревателей; температура теплоносителя в прямом трубопроводе тепловой сети ограничивается характеристиками сетевого теплообменника и насосов; добавляется группа насосов рециркуляции; группа насосов подпитки разделяется на две: котловую и сетевую

Во втором варианте насосы рециркуляции и сетевой работают практически параллельно, но на разные перепады давления, поэтому разгрузка сетевого насоса за счет рециркуляционного приводит также к экономии электроэнергии.

Выполним численный анализ режимов работы представленных на рис. 1 схем с позиции энергосэкономии. При этом будем считать, что затраты на собственные нужды котельной одинаковы для всех вариантов и в

расчетах не учитываются. В этом случае выражение для теплового баланса при стационарном режиме работы котельной установки можно представить в виде

$$G_k c_p (t_{k2} - t_{k1}) = G_{TC} c_p (t_{nc} - t_{oc}),$$

где G_k – расход воды через котел, кг/с; t_{k1} – температура воды на входе в котел, °С; t_{k2} – температура воды на выходе из котла, °С; G_{TC} – расход воды в теплосеть, т/ч; t_{nc} – температура прямой сетевой воды, °С, t_{oc} – температура обратной сетевой воды, °С; c_p – теплоемкость воды, кДж/(кг · °С).

Для каждого из вариантов схем включения сетевых насосов запишем уравнения, определяющие расходы воды по линиям и мощности насосов (табл. 2).

Таблица 2

Основные зависимости для расчета тепловых схем водогрейных котельных

Параметр расчета	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
1. Расход воды через линию рециркуляции G_p	$G_p = G_k \frac{t_{k1} - t_{oc}}{t_{nc} - t_{oc}}$	$G_p = G_k \frac{t_{k1} - t_{oc}}{t_{k2} - t_{oc}}$	$G_p = G_k \frac{t_{k1} - t_{oc}}{t_{k2} - t_{oc}}$	$G_p = G_k$
2. Расход воды через линию перепуска G_n	$G_n = G_{TC} + G_p - G_k$	$G_n = G_{TC} + G_p - G_k$	$G_n = G_{TC} + G_p - G_k$	—
3. Расход электроэнергии на привод сетевых насосов N_c	$N_c = (G_{TC} + G_p) \times v(\Delta p_k + \Delta p_{TC})/\eta$	$N_c = G_{TC} v(\Delta p_{TC} + \Delta p_k)/\eta$	$N_c = G_{TC} v \Delta p_{TC}/\eta$	$N_c = G_{TC} v \Delta p_{TC}/\eta$
4. Расход электроэнергии на привод насосов рециркуляции N_p	—	$N_p = G_p v \Delta p_k/\eta$	$N_p = G_p v \Delta p_k/\eta$	$N_p = G_k v \Delta p'_k/\eta$

Здесь Δp_k – сопротивление тракта котла, кПа; p_{TC} – сопротивление тепловой сети, кПа; p'_k – сопротивление тракта котла вместе с теплообменником сетевой воды, кПа; $\Delta p'_{TC}$ – сопротивление тепловой сети вместе с теплообменником сетевой воды, кПа; v – удельный объем воды на входе в насос, м³/кг; η – КПД насоса.

Проведем сравнение представленных вариантов тепловых схем по расходу электроэнергии на привод насосов сетевых и рециркуляции. В первом приближении полагаем, что КПД насосов для всех вариантов постоянные и не зависят от расхода теплоносителя; удельный объем воды не изменяется в данном диапазоне температур и принимается постоянной величиной.

Расход электроэнергии в этом случае составит:

вариант 1 — $N_1 = (G_{TC} + G_p) v(\Delta p_k + \Delta p_{TC})/\eta$;

вариант 2 — $N_2 = G_{TC} v(\Delta p_{TC} + \Delta p_k)/\eta + G_p v \Delta p_k/\eta$;

вариант 3 — $N_3 = G_{TC} v \Delta p_{TC}/\eta + G_k v \Delta p_k/\eta$;

вариант 4 — $N_4 = G_{TC} v \Delta p'_{TC}/\eta + G_k v \Delta p'_k/\eta$.

Преобразовывая, получаем:

$$N_1 = v/\eta(G_{\text{Тс}}(\Delta p_{\text{к}} + \Delta p_{\text{тс}}) + G_{\text{р}}(\Delta p_{\text{к}} + \Delta p_{\text{тс}}));$$

$$N_2 = v/\eta(G_{\text{Тс}}(\Delta p_{\text{тс}} + \Delta p_{\text{к}}) + G_{\text{р}}\Delta p_{\text{к}});$$

$$N_3 = v/\eta(G_{\text{Тс}}\Delta p_{\text{тс}} + G_{\text{к}}\Delta p_{\text{к}});$$

$$N_4 = v/\eta(G_{\text{Тс}}\Delta p'_{\text{тс}} + G_{\text{к}}\Delta p'_{\text{к}}).$$

Нетрудно заметить, что варианты 1 и 2 отличаются слагаемыми, куда входит величина расхода через линию рециркуляции: $G_{\text{р}}(\Delta p_{\text{к}} + \Delta p_{\text{тс}})$ и $G_{\text{р}}\Delta p_{\text{к}}$. Расход воды через линию рециркуляции будет различным при одинаковых условиях работы схем:

$$\text{вариант 1} - G_{\text{р}} = G_{\text{к}} \frac{t_{\text{к1}} - t_{\text{ос}}}{t_{\text{пс}} - t_{\text{ос}}};$$

$$\text{вариант 2} - G_{\text{р}} = G_{\text{к}} \frac{t_{\text{к1}} - t_{\text{ос}}}{t_{\text{к2}} - t_{\text{ос}}}.$$

Видно, что данные выражения отличаются друг от друга значениями в знаменателе. Неравенство $(t_{\text{к2}} - t_{\text{ос}}) \geq (t_{\text{пс}} - t_{\text{ос}})$ выполняется при любых режимах работы котла. Следовательно, величина расхода через линию рециркуляции всегда больше в варианте 1. Учитывая также различие в перепадах давления на насосах рециркуляции и сетевых, ясно видно, что величина электроэнергии, потребляемой насосами в варианте 2, всегда меньше, чем в варианте 1. Аналогично для варианта 4, в котором расход электроэнергии всегда больше, чем в варианте 3 вследствие наличия сопротивления теплообменника.

Сравним величины, находящиеся в скобках приведенных выше выражений, для определения расхода электроэнергии.

Вариант 2

$$\begin{aligned} &(G_{\text{Тс}}(\Delta p_{\text{тс}} + \Delta p_{\text{к}}) + G_{\text{р}}\Delta p_{\text{к}}); \\ &(G_{\text{Тс}}\Delta p_{\text{тс}} + G_{\text{Тс}}\Delta p_{\text{к}} + G_{\text{р}}\Delta p_{\text{к}}); \\ &(G_{\text{Тс}}\Delta p_{\text{к}} + G_{\text{р}}\Delta p_{\text{к}}); \\ &\Delta p_{\text{к}}(G_{\text{Тс}} + G_{\text{р}}). \end{aligned}$$

Вариант 3

$$\begin{aligned} &(G_{\text{Тс}}\Delta p_{\text{тс}} + G_{\text{к}}\Delta p_{\text{к}}) \rightarrow; \\ &(G_{\text{Тс}}\Delta p_{\text{тс}} + G_{\text{к}}\Delta p_{\text{к}}) \rightarrow; \\ &G_{\text{к}}\Delta p_{\text{к}} \rightarrow; \\ &\Delta p_{\text{к}}G_{\text{к}}. \end{aligned}$$

Легко заметить, что расход электроэнергии зависит от соотношения расходов воды в сеть, через котел и линию рециркуляции. Значения N_1 и N_2 будут равны только в том случае, когда $G_{\text{Тс}} + G_{\text{р}} = G_{\text{к}}$.

В качестве примера рассмотрим режимы работа виртуального водогрейного котла с максимальной нагрузкой 10 МВт, индивидуально работающего на тепловую сеть. Принимаем ($\Delta p_{\text{тс}} = 150$ кПа) сопротивление сети и ($\Delta p_{\text{к}} = 100$ кПа) сопротивление тракта котла постоянными величинами, соответствующими максимальным расходам теплоносителя. При меньших расходах теплоносителя заданный перепад давления в сети поддерживается регулированием частоты работы насоса [4]. Тепловая нагрузка сети меняется от 4 до 10 МВт, температурный график – 75/35 °С, температура воды на входе в котел также поддерживается постоянной 60 °С, расход воды через котел составляет 220 т/ч, расход воды в сеть изменяется от 100 до 250 т/ч. Зависимость потребления электроэнергии насосами для каждого из вариантов показана на рис. 2. Как ранее отмечалось, наибольший расход электроэнергии будет в варианте

1; наименьший — в варианте 3, так как для условий, при которых проводились расчеты $(G_{TC} + G_p) > G_k$.

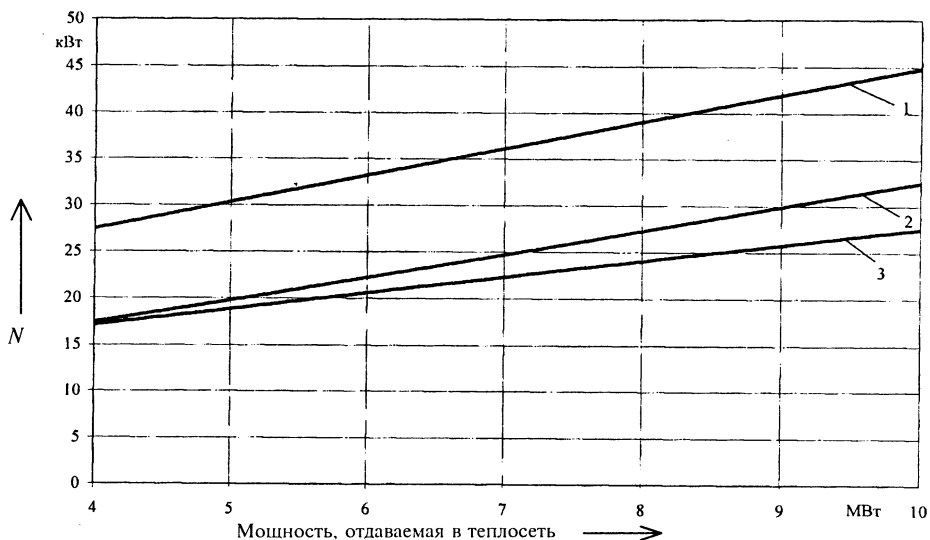


Рис. 2. Зависимость потребления электроэнергии сетевыми насосами и насосами рециркуляции от тепловой нагрузки сети: 1, 2, 3 — соответственно для вариантов 1, 2, 3 принципиальных тепловых схем

Проанализируем влияние алгоритмов управления котлоагрегатом на расход электроэнергии насосами сетевыми и рециркуляции. Так как для водогрейных котлов рециркуляция теплоносителя должна быть постоянной, регулирование мощности котла должно осуществляться по импульсу от датчика температуры воды на выходе либо на входе. В первом случае температура воды, отдаваемой в сеть, регулируется непосредственно расходом газа на котел, во втором — положением клапана на линии перепуска. Поддержание постоянной минимальной температуры воды на входе в котел обеспечит наименьшую температуру уходящих газов. Следовательно, потери теплоты с уходящими газами будут минимальными, а КПД котла — максимальным. Расчеты, проведенные для тепловых схем (рис. 1, варианты 1, 2), показывают, что поддержание минимально допустимой температуры на входе в котел (при условии, что она больше температуры обратной сетевой воды) приведет к минимальному расходу электроэнергии на привод насосов. При $G_{TC} = \text{const}$ повышение температуры на входе в котел ведет к увеличению расхода через линию рециркуляции (рис. 3) и, следовательно, к возрастанию расхода электроэнергии, потребляемой сетевыми насосами (вариант 1) и насосами рециркуляции (вариант 2). Для варианта 3 (рис. 1) потребление электроэнергии определяется исключительно расходом воды в сеть, так как насос рециркуляции работает в постоянных условиях и расход воды через него одинаков на всех режимах. На рис. 4 показаны зависимости расходов воды по линиям тепловой схемы для варианта 2. Видно, что при какой-либо нагрузке расход через линию рециркуляции, а соответственно и мощность насоса рециркуляции будет больше для способа регулирования, при котором постоянной поддерживается температура воды на выходе из котла (пунктирные линии).

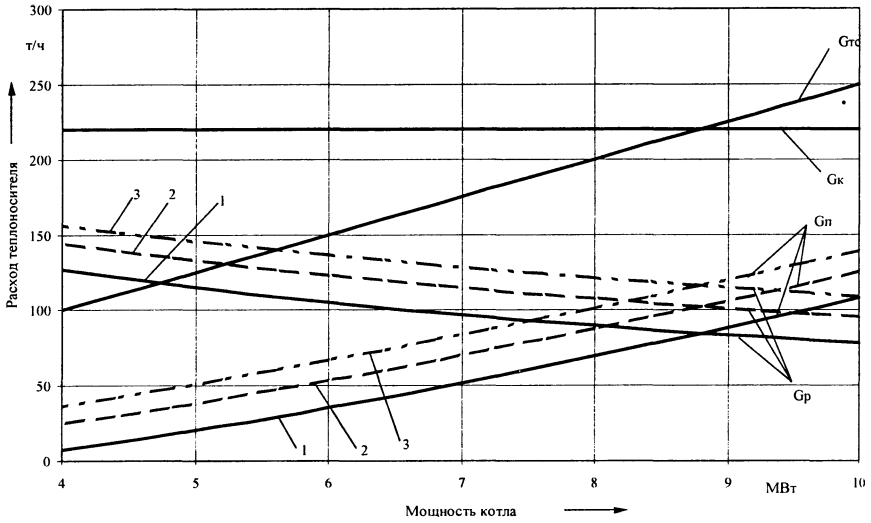


Рис. 3. Расход воды по линиям тепловой схемы ВК (вариант 2): $G_{\text{к}}$ – расход воды через котел; $G_{\text{тс}}$ – расход воды в теплосети; $G_{\text{п}}$ – расход воды через линию перепуска; $G_{\text{р}}$ – расход воды через линию рециркуляции; 1 – температура на входе в котел составляет 60 °С; 2 – 70; 3 – 80 °С

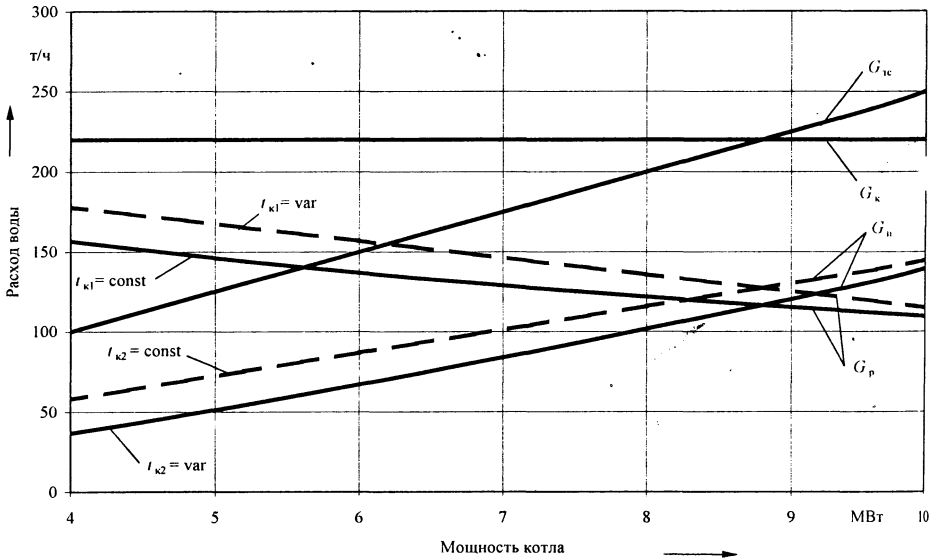


Рис. 4. Обозначения — на рис. 3

ВЫВОД

Проведенные численные исследования тепловых схем и режимов работы водогрейных котельных показали, что оптимальными по минимуму затрат электроэнергии являются схема с установкой сетевых насосов на прямой сетевой воде и организация алгоритма регулирования мощ-

ности котлоагрегата по импульсу температуры прямой сетевой воды с поддержанием минимально допустимой температуры теплоносителя на входе в котел.

ЛИТЕРАТУРА

1. К а л а ф а т и Д. Д. Применение турбин с противодавлением как перспективное направление повышения эффективности малых и средних ТЭЦ // Теплоэнергетика. — 1992. — № 10. — С. 55 — 60.
2. Ш у б и н Е. П., Л е в и н Б. Н. Проектирование теплоподготовительных установок ТЭЦ и котельных. — М.: Энергоиздат, 1970. — 496 с.
3. Я н к е л е в и ч В. И. Наладка газомазутных промышленных котельных. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 216 с.
4. Л е з н о в Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 144 с.

Представлена
кафедрой ТЭС

Поступила 19.09.2000

УДК 621.311.22.001.24

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ТЭЦ

Инж. ПОПОВА Ю. Б.

Белорусская государственная политехническая академия

Ввиду ограниченности топливно-энергетических ресурсов задача оптимизации режима тепловых электростанций является актуальной для нашей республики. Ее сложность заключается в том, что экономичность работы тепловых электростанций зависит от большого количества режимных и технических факторов, а сама задача распределения нагрузок на станции является трехмерной, т. е. одновременно и взаимосвязанно необходимо распределять производственные, теплофикационные и электрические нагрузки. Методы относительных приростов и градиентный [1—4], которыми ранее решалась эта задача, неэффективны в случае невыпуклых и негладких видов расходных характеристик агрегатов на ТЭЦ. Первый позволяет лишь при последовательном распределении тепловых и электрических нагрузок получить результат, который, однако, не всегда является оптимальным. Поэтому предлагается использовать метод динамического программирования по трем переменным, поскольку он лишен указанных выше недостатков. Необходимо также отметить, что применение трехмерного динамического программирования стало возможным только в последнее время благодаря появлению быстродействующих ЭВМ.

Поскольку структура ТЭЦ бывает двух основных типов: блочного и с поперечными связями, их математические модели будут несколько отличаться. Блочная ТЭЦ состоит из определенного количества блоков, включающих в себя котел, турбину (с одним или несколькими тепловыми отборами) и генератор. Из-за наличия тепловых отборов каждый