

ОСОБЕННОСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОАГРЕГАТАМИ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Василенко Д.К., магистрант; Ткаченко А.Е., ст. преп.; Лаппо П.В., доц, к.т.н.
(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Техническая эксплуатация котельных связана с трудоемкими процессами. Для ее совершенствования требуется автоматизация и механизация основных технологических процессов. Важнейшей задачей при этом является обеспечение энергетического и материального баланса установки при оптимальном КПД, минимальном потреблении топливно-энергетических ресурсов, загрязнении окружающей среды, при экономичной и безопасной работе на любых нагрузках.

При сжигании органического топлива химические элементы, входящие в состав топлива, соединяются с кислородом воздуха, выделяют теплоту и образуют продукты сгорания. От продуктов сгорания тепловая энергия передается рабочему телу, которым обычно служит вода, сжатая до давления, выше атмосферного. Для превращения химической энергии топлива в тепловую существует комплекс устройств, называемых котельной, или теплогенерирующей, установкой.

Котельной установкой называют комплекс устройств и механизмов, предназначенных для производства тепловой энергии в виде водяного пара или горячей воды. Котельная установка состоит из котельного агрегата, вспомогательных механизмов и устройств. В процессе получения горячей воды или пара для отопления, производственно-технических и технологических целей служат вода, топливо и воздух (рабочим телом является вода). В настоящее время промышленные предприятия наиболее широко используют в качестве теплогенерационных установок водогрейные котла, в том числе и реконструированные из паровых и переведенные водогрейный режим [1].

Водогрейный котёл — представляет собой устройство с топкой, обогреваемое продуктами сжигаемого в ней топлива и предназначенное для получения нагревания воды, находящейся под давлением выше атмосферного и используемой в качестве теплоносителя вне котельной установки. Водогрейные котлы предназначены для получения горячей воды и по характеру циркуляции воды (независимо от конструкции) являются прямоточными, то есть с однократным движением воды по отдельным его элементам. В этом их сходство с паровыми прямоточными котлами. Водогрейные котлы характеризуются в основном теплопроизводительностью, а также температурой нагрева воды и её давлением.

Существующие топочные устройства можно разделить на слоевые и камерные и кипящего слоя. Слоеые топки предназначены для сжигания твердого топлива в слое на колосниковой решетке. В камерных топках сжигается твердое топливо во взвешенном состоянии в виде пыли и дробленых частиц, а также жидкое, который распыляется с помощью форсунок, и газообразное. Камерные топки подразделяются на факельные и вихревые (циклонные).

При послойном способе сжигания необходимый для горения воздух подается к слою топлива через колосниковую решетку. При факельным способом сжигания твердое топливо предыдущее размалывается в мельницах и пыль вместе с воздухом (аеросмесь) подается в топку. Циклонный способ сжигания основан на использовании закрученных топливо-воздушных потоков [1]. Транспорт топлива осуществляется воздухом. Способ сжигания в кипящем слое НТКС является в определенном смысле промежуточным между шаровым и камерным. Кипящим называется слой мелкозернистого материала, продуваемого снизу вверх газом со скоростью, превышающей предел устойчивости плотного слоя, но недостаточной для выноса частиц из слоя. Интенсивная циркуляция частиц в ограниченном объеме камеры создает впечатление бурно кипящей жидкости [2].

Как видим, существует широкая и разнообразная номенклатура видов котлоагрегатов и топочных устройств. Однако в основе повышения эффективности и безопасности всех без исключения типов котлов лежит их частичная либо полная автоматизация. При этом возможно автоматизировать как основное так и вспомогательное оборудование. Как известно, к первому относится сам котлоагрегат, дымососы и вентиляторы, ко второму – насосно-деаэрационная установка, химводоочистка, теплофикационная установка, станция перекачки конденсата, ГРС, склад мазута (угля) и топливоподача.

Уровень автоматизации котельных зависит от следующих основных технических факторов:

- назначения котла. По виду и параметрам энергоносителя котлы делятся на паровые, водогрейные, с высокотемпературным органическим теплоносителем (ВОТ). Сюда входят стационарные и передвижные котлы, котлы-бойлеры и котлы-утилизаторы;
- конструкции котла и его оборудования (барabanный, прямоточный, чугунный секционный с наддувом, микрокотел), вида тяги и т.п.;
- вида топлива (твердое, жидкое, газообразное, пылевидное, комбинированное (газوماзутное)) и типа топливосжигающего устройства (ТСУ);
- вида потребителя (производственный, отопительный, индивидуальный и т.п.);
- числа котлов в котельной.

При автоматизации котельной целесообразно автоматизировать все основные и вспомогательные технологические процессы. Это ведет к освобождению обслуживающего персонала от необходимости регулировать эти процессы вручную. Внедрение специальных автоматических устройств способствует безаварийной работе оборудования, исключает случаи травматизма, предупреждает загрязнение атмосферного воздуха.

Рассмотрим технологические особенности объекта автоматизации на примере распространенного котла ДКВР. На рис.1 представлена схема включения котла типа ДКВР в водогрейном режиме работы [1].

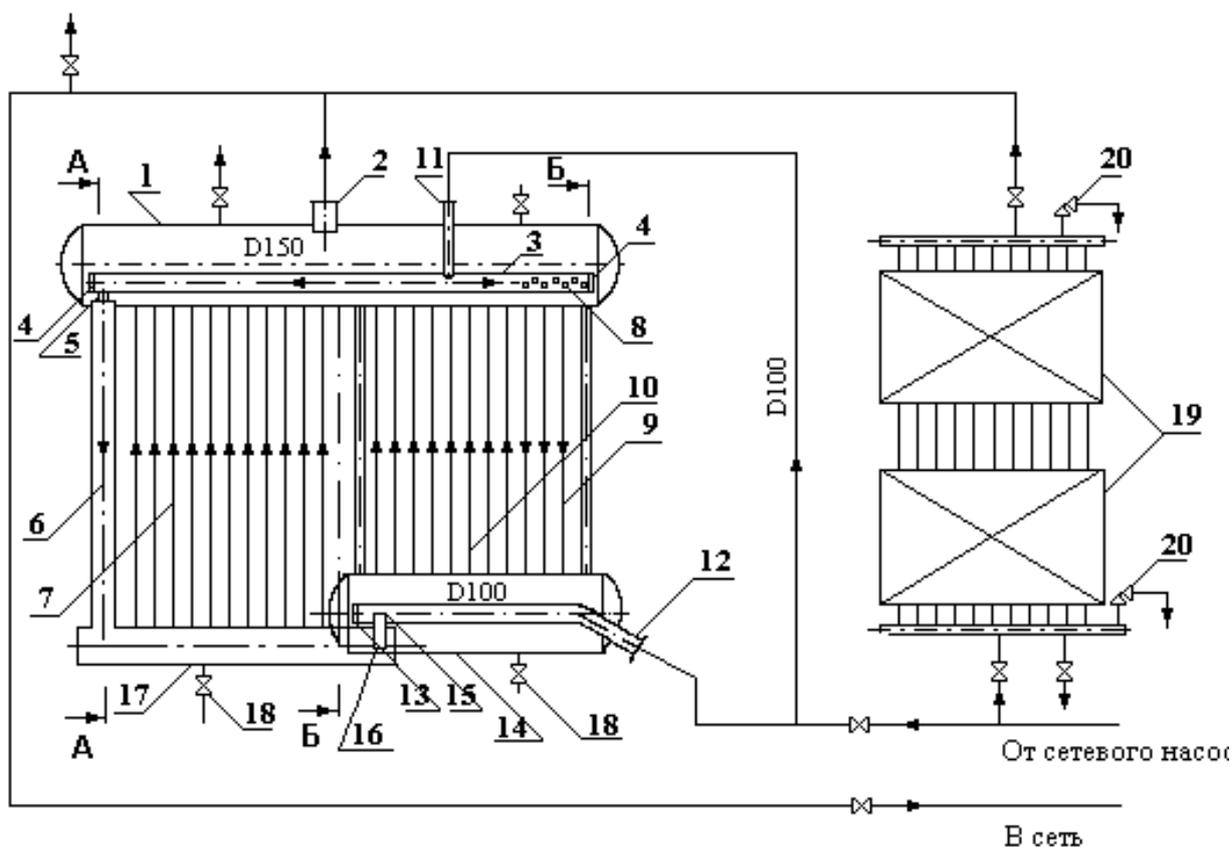


Рисунок 1 – Схема включения котла типа ДКВР в водогрейном режиме работы

На рисунке приведены следующие условные обозначения: 1- верхний барабан, 2 – штуцер для отвода пара, 3 – продольный патрубок, 4, 13 – доньшки, 5 – сопла, 6 – опускные трубы экранов, 7 – топочная камера, 8 – отверстия на концевом участке патрубка 3, 9 – опускные трубы, 10 – котельный пучок, 11, 12 – патрубки, 14 - нижний барабан, 15 – сопла, 16 – перепускные трубы, 17- коллекторы топочные экраны, 18 – предохранительный клапан котла, 19 – экономайзер, 20 – предохранительный клапан экономайзера

Как видим из рис.1, в водогрейном режиме экономайзер 19 должен быть включен по воде параллельно трубной системе котла. На экономайзере 19 должны устанавливаться не менее чем по одному предохранительному клапану 20 на выходе и входе воды. Водоотводящие трубы от существующих предохранительных клапанов котла и предохранительных клапанов 20 экономайзера 19 должны быть присоединены к линии свободного слива воды, причем как на них, так и на сливной линии не должно быть никаких запорных органов. При этом устройство системы водоотводящих труб и линий свободного слива должно исключать возможность ожога людей.

Схема включения котлов в тепловую схему котельной представлена на рис. 2 [3].

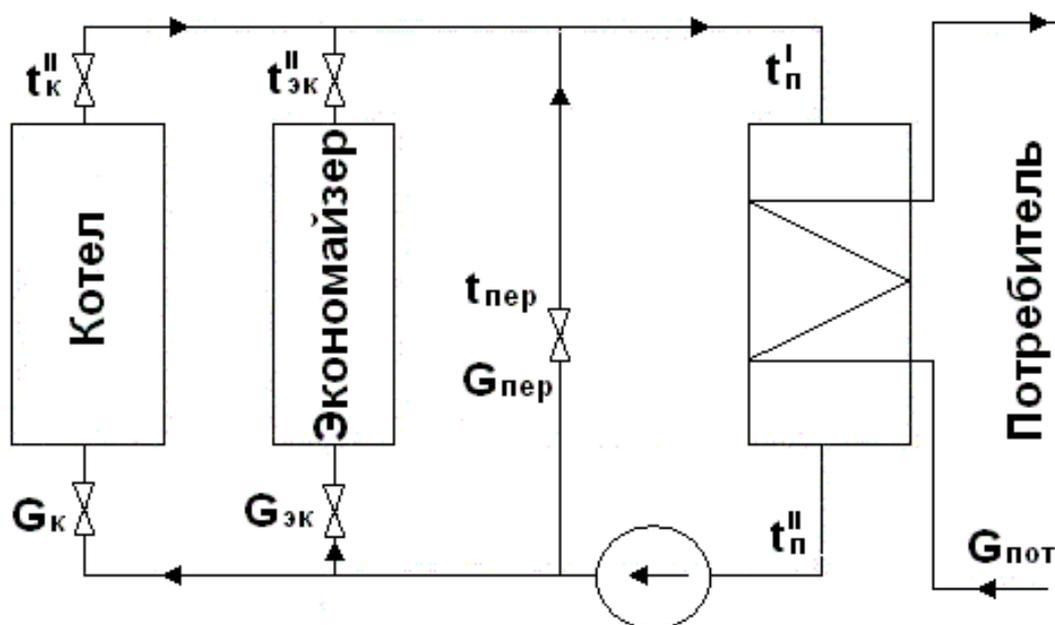


Рисунок 2 – Схема включения водогрейного котла с экономайзером в тепловую схему котельной

На рис. 2 приведены следующие условные обозначения: G_k – расход теплоносителя в гидравлической системе котла, $G_{эк}$ – расход теплоносителя через экономайзер, $G_{пер}$ – расход теплоносителя в перепускных трубах, $G_{пот}$ – расход теплоносителя через потребитель, t'_n – температура на входе к потребителю, t''_n – температура на выходе потребителя (обратная вода), $t''_к$ – температура на выходе из котла, $t''_{эк}$ – температура на выходе экономайзера, $t_{пер}$ – температура в перепускных трубах

Как видим, водогрейный котлоагрегат представляет из себя сложный многопараметрический объект. Как правило, главной целью автоматического управления котлом является оперативное обеспечение текущего спроса теплоснабжателей системы теплоснабжения предприятия при наложенных ограничениях по экономической и безопасной работе котла. Сформулируем критерии автоматического управления котлоагрегатом или группой котлоагрегатов.

При расчете количества тепла, вырабатываемого котлоагрегатами, необходимого для удовлетворения потребностей теплопотребителей, следует учитывать все возможные (в идеале) или наиболее весомые потери тепла в системе.

Зная физическую природу потерь возможно найти решение для сведения их к минимуму, а также вычислять их значение при составлении уравнения теплового баланса системы. количество тепла, которое должны выработать все котлоагрегаты системы теплоснабжения, которые на данный момент находятся в рабочем состоянии равно [3, 4]:

$$\sum_{i=1}^{i=m} Q_{к.а_i} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_{n_i} + \sum_{i=1}^{i=n} Q_{nom.ni} + \sum_{i=1}^{i=m} Q_{nom.к.i} \quad (1)$$

Как видим, произведенное тепло расходуется на три основные цели:

- удовлетворение потребностей абонентов $\sum_{i=1}^{i=n} Q_{n.i}$, которые определяются объективной необходимостью на данный момент времени;

- перекрытие всех потерь в потребителях (абонентах) $\sum_{i=1}^{i=n} Q_{nom.n.i}$;

- перекрытие всех потерь тепла при его производстве котлами $\sum_{i=1}^{i=n} Q_{nom.к.i}$.

Рассмотрим тепловой баланс потребителей, который определяет задание по тепловой производительности котельной установки.

Потери тепла в потребителях обусловлены в первую очередь утечками теплоносителя в трубопроводах, каждый из которых имеет свою длину l , а также потерями при теплообмене с окружающей средой. При этом чем больше эта длина, и чем хуже состояние трубопровода – что может обуславливаться большим сроком службы – тем большие потери теплоносителя. Следовательно, потери теплоносителя в одном трубопроводе по все длине в зависимости от утечек:

$$Q_{nom.c.} = \int_0^l K dQ_{nom.c.}, \quad (2)$$

где K – корреляционный коэффициент, получаемый путем анализа состояния питающего трубопровода. Таким образом, общие потери теплоносителя с утечками во всей системе:

$$\sum_{i=1}^{i=n} Q_{nom.c.i} = \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^{l_i} K_i Q_{nom.c.i} dl_i, \quad (3)$$

Аналогично потери теплоносителя в трубопроводах от наружного охлаждения примут вид [5]:

$$\sum_{i=1}^{i=n} Q_{nom.c.}^{e.o} = \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^{l_i} K_i \cdot P_i \cdot \Delta T_i \cdot \alpha_{к} dl_i, \quad (4)$$

где P – периметр трубопровода,

$\alpha_{к}$ – коэффициент теплопередачи конвекцией,

$\Delta T = T_{ex} - T_{o.c.}$ – разница между температурами в трубопроводе и окружающей средой.

Потери тепла в котлоагрегатах имеют более сложный характер и описываются стандартными зависимостями [1] в зависимости от типа применяемой топки и используемых поверхностей нагрева.

Так для равновесного состояния котла справедливо следующее уравнение энергетического баланса [1, 6]:

$$Q_{к.а.} = G(h'_{ex.} - h''_{вых.}) + \sum Q_{ном.ка}, \quad (5)$$

где $G = G_{к+Gэк+Gпер}$ – полная водопроизводительность котлоагрегата, включая экономайзер;

$h'_{ex.} = f(t'_n)$ – энтальпия питающей (нагретой) воды на входе к потребителям;

$h''_{вых.} = f(t''_g)$ – энтальпия холодной воды (обратка от потребителей);

$\sum Q_{ном.ка}$ – сумма всех потерь тепла в котлоагрегате.

Отношение количества тепла, полезно вырабатываемого котлом для производства горячей воды $G(h_{ex.} - h_{вых.})$, к количеству всего выработанного тепла $Q_{к.а.}$, по сути является коэффициентом полезного действия (КПД) котла, % :

$$\eta = \frac{G(h'_{ex.} - h''_{вых.})}{Q_{к.а.}} 100\%, \quad (6)$$

Зная с каким КПД работает котлоагрегат, возможно определить необходимую тепловую производительность котла для обеспечения требуемого количества теплоносителя с заданными параметрами:

$$Q_{к.а.} = \frac{G(h'_{ex.} - h''_{вых.})}{\eta} 100\%. \quad (7)$$

Тогда учитывая принятый температурный режим тепловой сети предприятия в качестве функции цели целесообразно выбрать такую производительность котлоагрегата, которая удовлетворяла бы текущий тепловой спрос с учетом всех потерь:

$$Q_{к.а.} \rightarrow \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_{n_i} + \sum_{i=1}^{i=n} Q_{ном.ni} + \sum_{i=1}^{i=m} Q_{ном.к.i}}{\eta} 100\%. \quad (8)$$

При выполнении критериев:

- по обеспечению максимально возможного значения КПД котельной (одного котлоагрегата и группы котлов) в зоне рационального использования:

$$\eta \geq \eta_{min \rightarrow max}. \quad (9)$$

- по обеспечению минимума материальных затрат на используемый вид топлива:

$$\begin{cases} B_m(\{G_i\}) = \sum_{i=1}^m B_i(G_i) \rightarrow \min \\ f_{МЗ}(\{G_i\}) = \sum_{i=1}^m B_i(G_i) \cdot p \rightarrow \min \end{cases}, \quad (10)$$

где p – цена используемого в данном типе котла вида топлива, B_i – расход топлива, используемого i -м котлом для обеспечения i -й теплопроизводительности G_i ;

При следующих технологических наложенных ограничениях:

- по заданным значениям температурам теплоносителя (воды) в подающем и обратном трубопроводах, общей водопроизводительности котлов и дапазону рабочей проивоводительности каждого котла:

$$\begin{cases} t'_n = t'_{n.зад}; t''_n = t''_{n.зад} \\ \sum_{i=1}^m G_i = G \\ G_i^{\min} \leq G_i \leq G_i^{\max}, i = 1 \dots m \end{cases} \quad (11)$$

- по обеспечению безаварийного функционирования каждого котла, путем поддержания его технологических параметров в заданном технологическом режиме диапазоне существования:

$$\left[\overline{X_i \min} \right] \leq \left[\overline{X_i} \right] \leq \left[\overline{X_i \max} \right]; \quad (12)$$

где $\left[\overline{X_i} \right]$ – вектор технологических параметров i -го котла;

$\left[\overline{X_i \min} \right]; \left[\overline{X_i \max} \right]$ – вектора верхних и нижних пределов существования технологических параметров.

Таким образом, в ходе данной работы были определены и сформулированы функция цели автоматического управления (8) и критерии рациональной работы источников тепла системы теплоснабжения (9) и (10) при наложенных технологических ограничениях (11) и (12). Обеспечение системой автоматического управления выполнения данных зависимостей обеспечит высокоэффективное, экономичное и безаварийное функционирование, как одного котлоагрегата, так и группы котлов в системе теплоснабжения промышленного предприятия.

Перечень ссылок

1. Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий : Учебник для вузов / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев. – 3-е изд., перераб. – Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 528 с.
2. Вискин, Ж. В. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов / Ж. В. Вискин и др. – Донецк : «Новый мир», 1997. – 284 с.
3. Дроздов, В. Ф. Отопление и вентиляция : Учеб.пособие для строит. вузов и фак. По спец. «Теплогазоснабжение и вентиляция». В 2-х ч. Ч.1. Отопление / В. Ф. Дроздов. – Москва : Высш. Шк., 1984. – 263 с.
4. Шалагинова, З. И. Задачи и методы расчета температурных графиков отпуска тепла на основе теплогидравлического моделирования систем теплоснабжения / З. И. Шалагинова // Теплоэнергетика. – 2004. - №7. – С.41-49.
5. Техническая термодинамика : Учеб. для машиностроит. спец. Вузов / В. И. Крутов и др. ; под. ред. В. И. Крутова.- 3-е изд., перераб. и доп.- Москва : Высш. шк., 1991. – 384 с.
6. Ткаченко, А. Е. Обоснование критерия управления рациональным режимом работы группы котлоагрегатов низкотемпературного кипящего слоя / А. Е. Ткаченко // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции 2015 г., № 7, часть 3 (18-3). – Воронеж, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», С.58-61