

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

УДК 697.326:622.933

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУППЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ НТКС НА ТЕПЛОВУЮ СЕТЬ ШАХТЫ

Ткаченко Анна Евгеньевна, ст. преподаватель
кафедры горной электротехники и автоматики им. Р.М. Лейбова
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
e-mail: anica@mail.ru
283001, г. Донецк, ул. Артема, 58
Тел.: +38 (062) 301-07-26

В настоящее время имеет место нерациональное использование топливных ресурсов. К его причинам относятся: распространенная эксплуатация низкоэффективных теплогенерирующих установок и отсутствие оперативного управления их производительностью, а также расчет теплового спроса абонентов по укрупненным характеристикам. Остро стоит проблема падения качества твердого топлива. Внедрение на шахтах в качестве источников тепла котлоагрегатов низкотемпературного кипящего слоя (НТКС) позволяет ввести в промышленную эксплуатацию низкосортное топливо и оперативно реагировать на изменения теплового спроса. В статье обоснована целесообразность прогнозного определения теплового спроса абонентов шахты. Обоснованы критерии эффективной работы группы котельных агрегатов НТКС на тепловую сеть. Разработана методика определения рационального числа котлов, а также производительности каждого работающего в группе котельного агрегата в зависимости от прогнозируемого теплового спроса абонентов. Предложена математическая модель котла НТКС, позволяющая определять зону рационального использования котлов в соответствии с обоснованными критериями.

Ключевые слова: система теплоснабжения; шахта; калориферная установка; топка; низкотемпературный кипящий слой; котлоагрегат; прогноз; математическая модель; тепловой спрос; производительность; КПД; система управления; НТКС; методика; технологические параметры.

Постановка проблемы и ее связь с актуальными научными и практическими исследованиями. Снижение себестоимости производства тепла для промышленных предприятий на сегодняшний день является актуальной задачей. Ее решению с одной стороны препятствует использование низкоэффективных теплогенерирующих установок, а с другой – применяемый отпуск тепла по укрупненным и усредненным показателям, а также отсутствие прогноза теплового спроса.

Вопрос оперативного регулирования производительности котельных установок особенно актуален для таких промышленных предприятий как шахта, системы теплоснабжения которых характеризуются рядом специфических особенностей: наличие собственной котельной установки с несколькими котлоагрегатами, большая доля тепловой нагрузки на вентиляцию (калориферная установка), значительные суточные колебания тепловой нагрузки с амплитудой, сопоставимой с номинальной производительностью котла НТКС малой мощности (до 6-7 МДж) [6], что обусловлено технологическими особенностями предприятия и необходимостью соблюдения требований ПБ. Данную специфику горного предприятия необходимо принимать в расчет при реконструкции и проектировании системы теплоснабжения.

Наиболее распространенные на данный момент в качестве источников тепла на шахтах слоевые топки имеют существенные недостатки, в том числе низкий КПД, невозможность полной автоматизации их работы и оперативного регулирования производительности, длительный розжиг, требование к зольности топлива не выше 40%. Поэтому, с учетом тенденции последних десятилетий к удорожанию добычи и снижению качества каменноугольного топлива (содержание золы в добытых углях достигает 35%), целесообразно в качестве источников тепла на шахтах применять топки низкотемпературного кипящего слоя (НТКС). Данная технология, по сравнению со слоевым сжиганием, имеет следующие преимущества: способность сжигать угли с зольностью до 70%, используя некондиционный уголь шахты, КПД котлоагрегатов может достигать 83%, имеется возможность вывода топки НТКС в «горячий резерв», из которого кипящий слой возвращается в

рабочее состояние максимум за 30 мин, возможность полной автоматизации работы топки, наличие нескольких способов оперативного регулирования производительности [2; 4].

Наличие внешних факторов, воздействующих на комплекс теплоснабжения шахты, может привести к его работе с большим перерасходом тепла, пониженным КПД котельных агрегатов и нерациональному расходу твердого топлива [9]. В качестве мер по повышению эффективности комплекса теплоснабжения шахт целесообразно предложить: применение рациональных схем теплоснабжения с использованием высокоэкономичных источников тепла (котельных агрегатов с топками НТКС), находящихся одновременно в работе; обеспечение работы котельной установки при рациональных составе и производительностях каждого котельного агрегата НТКС; использование автоматического оперативного управления производительностью котлов НТКС с целью обеспечения требуемой производительности, а также предупреждения аварийных ситуаций.

Как показал опыт практического использования технологии НТКС на котельных установках шахт и заводов Донбасса, ее внедрения обеспечивает наиболее полное использование теплового потенциала угля и позволяет ввести в промышленную эксплуатацию ранее малопригодные для энергетики угли с содержанием золы до 70% [2]. Примеры ГП «Шахта 4-21» и шахты «Южнодонбасская №1» доказывают эффективность использования топок НТКС при температуре окружающей среды -22°C [11; 12], что является нижним температурным пределом для нашего региона.

Из анализа изученных исследований в области повышения эффективности теплоснабжения следует, что авторами преимущественно исследуются вопросы улучшения структуры сетей централизованного теплоснабжения, совершенствования конструктивных особенностей тепловых пунктов жилых домов, управления распределением теплоносителя между абонентами (в основном жилыми домами или квартирами). Данным исследованиям посвящены работы ученых РФ, Украины и ряда зарубежных авторов [1; 5; 8; 10; 16; 21-23]. Вместе с тем, тема энергоэффективности систем теплоснабжения таких промышленных предприятий, как шахта, мало раскрыта в современной литературе.

Публикации, посвященные эксплуатации топок НТКС не рассматривают перспективы их использования в качестве источников тепла в шахтных котельных установках, а касаются теоретических вопросов усовершенствования самой технологии НТКС, детализации ее математического описания. Таким образом, вопросы разработки критериев и методики поиска рациональной производительности котлоагрегатов НТКС, работающих в группе на тепловую сеть шахты в современной литературе не раскрыты, имеют большой научный и практический интерес. Результаты научных изысканий автора в данном направлении частично изложены в работах [19; 20].

Изложение основного материала исследования. Таким образом, целью данного исследования является научное обоснование и разработка методики по повышению эффективности работы группы котлоагрегатов НТКС за счет снижения себестоимости производимой тепловой энергии. При этом должны решаться следующие задачи:

- 1) Выбор и обоснование критериев рациональной работы группы котлоагрегатов НТКС;
- 2) Разработка методики расчета рациональной производительности и состава котлов в соответствии с прогнозируемым тепловым спросом абонентов шахты, учитывая технологические особенности и текущее состояние котлоагрегатов НТКС.

Объектом данного исследования является шахтная система теплоснабжения, которая включает в себя: тепловую сеть, m источников тепла – котлоагрегатов НТКС, работающих на один коллектор, n тепловых абонентов. Источники тепла и абоненты подсоединены к тепловой сети параллельно [12; 17; 18]. Выработанное тепло расходуется на отопление Q_{ot} , вентиляцию Q_{vent} , горячее водоснабжение $Q_{g.vsn}$, проветривание горных выработок Q_{kal} , а также компенсацию потерь тепла в трубопроводной сети $Q_{pot.tr}$.

Для осуществления оперативного регулирования производительности шахтной котельной необходимо своевременно прогнозировать изменения теплового спроса шахтных абонентов по градиенту изменения температуры окружающей среды. Целесообразно принять прогноз в временной перспективе до 2-х часов, что обеспечивает двойной запас по времени для розжига топки НТКС при необходимости увеличить суммарную производительность котлоагрегатов. Для прогноза теплового спроса необходимо в автоматическом режиме рассчитывать для каждого j -го ($j=1,2\dots n$) абонента часовые расходы тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и калориферную установку по стандартным формулам [7; 13; 15]. Иллюстрация прогнозного расчета теплотребления шахтными зданиями и сооружениями, а также калорифером в течение одних суток на примере шахтоуправления «Южнодонбасское № 1» в среде MathCad приведено на рис. 1.

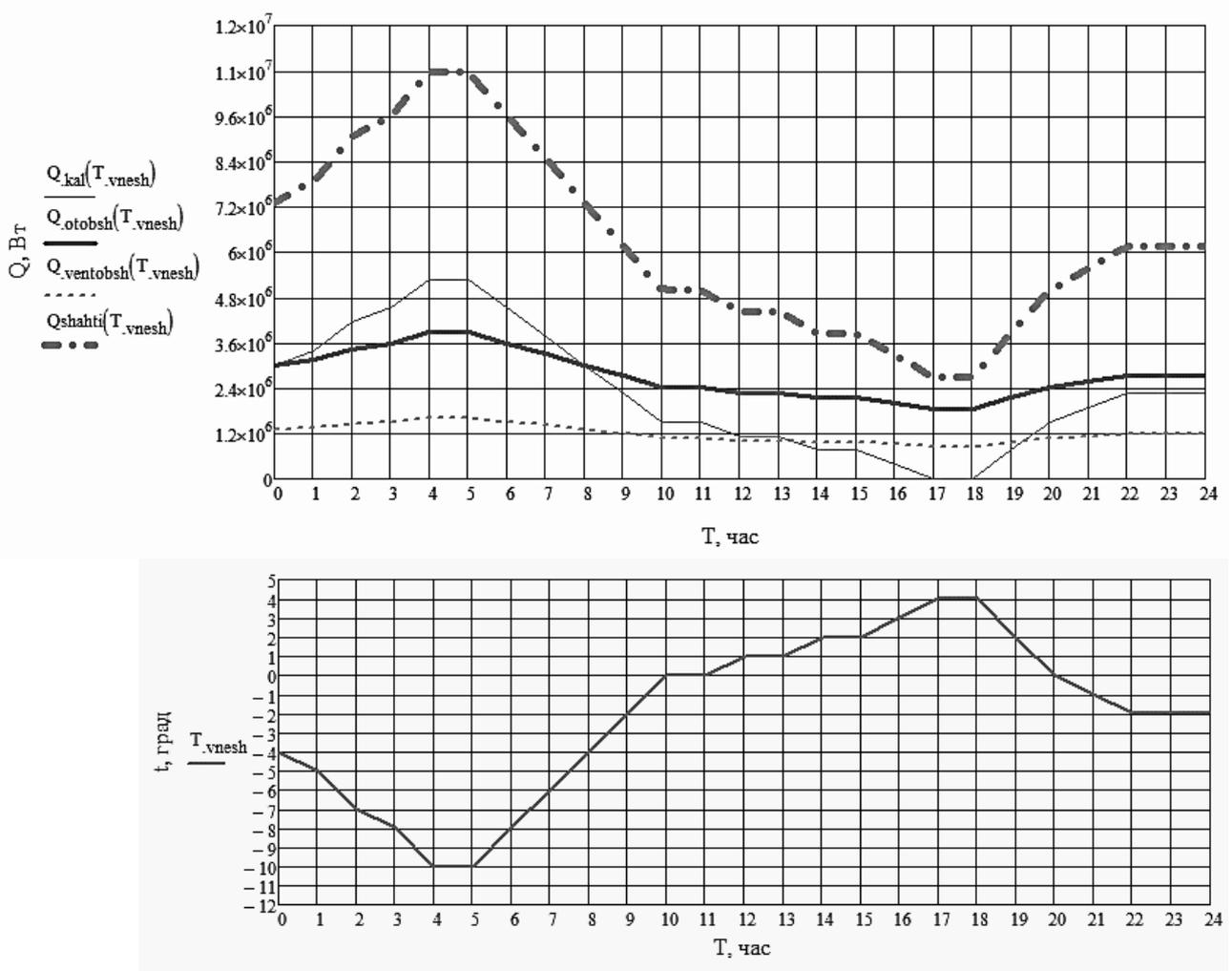


Рис. 1. Прогнозный суточный график потребления тепла шахтой на примере шахтоуправления «Южнодонецкое № 1»

Тогда задание по суммарной производительности группы котлоагрегатов НТКС шахтной котельной установки с учетом КПД каждого котла $\eta_{k.a.i}$ определяется как:

$$\sum_{i=1}^m (Q_{k.a.i} \cdot \eta_{k.a.i}) = \sum_{j=1}^n (Q_{ot.j} + Q_{vent.j}) + Q_{kal} + Q_{g.vsn} + \sum_{j=1}^n Q_{pot.tr.j}; \quad (1)$$

где $Q_{k.a.i}$ – производительность каждого котла НТКС, [МВт].

Рассмотрим технологические особенности котла НТКС. На рис. 2 представлена технологическая схема котельной установки с группой котлоагрегатов НТКС, где: 1 – котел, 2 – топочное пространство, 3 – погружные поверхности нагрева (ППН), 4 – экранные поверхности нагрева (ЭПН), 5 – конвективные поверхности нагрева (КПН), 6 – воздухораспределительная решетка, 7 – золоудаляющее устройство, 8 – бункер твердого топлива, 9 – забрасыватель, 10 – растопочное устройство на жидком топливе, 11 – дутьевой вентилятор, 12 – вентилятор возврата уноса, 13 – эжектор, 14 – циклон прямоточный, 15 – экономайзер, 16 – циклоны первой и второй степени газоочистки, 17 – двойные пылевые затворы, 18 – воздухоподогреватель, 19 – дымосос, 20 – дымовая труба, 21 – воздуховод, 22 – исполнительные механизмы, 23, 24, 25 и 26 – регуляторы температуры слоя, расхода дутьевого воздуха, высоты слоя и разрежения над слоем, соответственно.

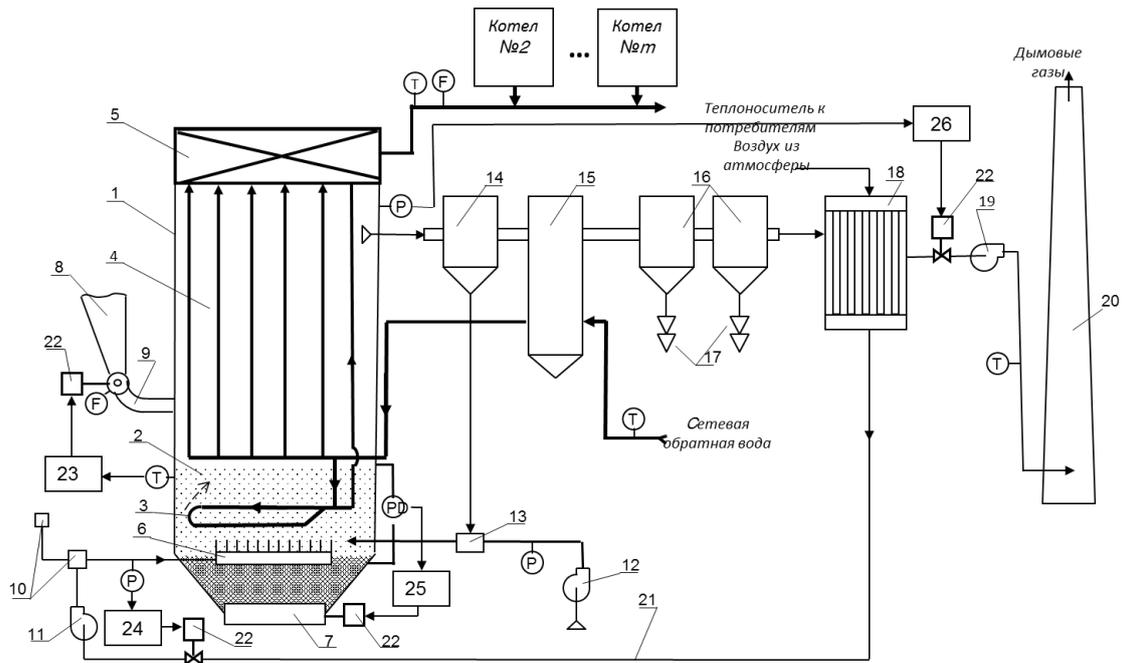


Рис. 2. Технологическая схема шахтной котельной установки с котлоагрегатами НТКС

Котлоагрегаты НТКС имеют следующие технологические особенности: зависимость КПД котла НТКС от производительности нелинейная [14], для каждого агрегата уникальна и меняется в процессе эксплуатации установки; наличие ППН, которые могут быть как полностью, так и частично погружены в слой, что учитывается коэффициентом k_{ks} , [%] который показывает, какой процент площади ППН (0-100%) погружен в данный момент; регулировать производительность котлов НТКС можно тремя способами – расходом твердого топлива, расходом дутьевого воздуха, степенью введения погружных поверхностей нагрева (ППН) в слой, или комбинируя эти способы; топка НТКС может находиться в трех состояниях – в работе, остановлен и «горячий» резерв.

Для обеспечения эффективного функционирования теплогенерирующих установок шахты надо определить критерий рациональной работы. В качестве последнего примем критерий максимального средневзвешенного КПД группы котлоагрегатов НТКС, при выполнении условия (1):

$$\eta(\{Q_{k.a.}\}) = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_{k.a.i} \cdot Q_{k.a.i}}{\sum_{i=1}^m Q_{k.a.i}} \rightarrow \max; \quad (2)$$

где $\{Q_{k.a.i}\} = \{Q_{k.a.1}, Q_{k.a.2}, \dots, Q_{k.a.m}\}$ – вектор производительности всех m агрегатов, [МВт] при наложенных ограничениях по удовлетворению прогнозного теплового спроса (3) и по диапазону рабочей производительности каждого котла (4):

$$\sum_{i=1}^m (Q_{k.a.i} \cdot \eta_{k.a.i}) \geq Q_{zad}; \quad (3)$$

$$Q_{k.a.i}^{\min} \leq Q_{k.a.i} \leq Q_{k.a.i}^{\max}, i = 1..m; \quad (4)$$

Также должна учитываться целесообразность изменения числа работающих котлов НТКС путем розжига, останова или «горячего» резерва по критерию минимума расхода топлива:

$$B_i^{usl}(\{Q_{k.a.i}\}) = \sum_{i=1}^m B_i^{usl}(Q_{k.a.i}) = \sum_{i=1}^m E \cdot B_i(Q_{k.a.i}) \rightarrow \min; \quad (5)$$

где $B_i^{usl}(Q_{k.a.i})$ – расход условного топлива, необходимый для выхода на требуемую производительность i -го котлоагрегата, [кг/с];

$B_i(Q_{k.a.i})$ – расход натурального топлива (жидкого на розжиг и твердого топлива), [кг/с];

E – топливный эквивалент.

Таким образом, целесообразно предложить новую методику определения состояния и расчета технологических параметров группы котлоагрегатов НТКС, при которых выполнялись бы вышеприведенные критерии. В основу данной методики положен факт, что выполнение условия (1) можно обеспечить при работе разного числа котельных агрегатов [16], поскольку зависимость КПД котла НТКС от производительности нелинейна [14; 20], для каждого котлоагрегата уникальна и меняется в процессе эксплуатации установки.

Исходными данными для расчета являются:

1) Вектор текущих параметров каждого котлоагрегата НТКС, как то, состояние, производительность, и др. технологические параметры;

2) Совокупность векторов значений технологических параметров каждого котлоагрегата НТКС, а именно, производительности i -го котла НТКС, соответствующими этой производительности расходом твердого топлива, расходом дутьевого воздуха, степенью погружения в слой ППН, а также КПД i -го котла при данных параметрах, т.е. множество точек, характеризуемых соответствующими координатами $[Q_{k.a.i}; B_{tt.i}; v_{dv.i}; k_{ksi}; \eta_{k.a.i}]$. Поскольку одинаковое значение производительности котла НТКС можно получить при различных комбинациях значений управляющих величин, то целесообразно при выборе режима работы котлоагрегата останавливаться на той комбинации, которой соответствует максимальный для данного значения производительности КПД и рекомендовать ее к промышленному использованию.

3) Зависимости КПД каждой котельной установки от ее производительности в виде регрессионных полиномов третьей степени, определенные по результатам расчетов предыдущего пункта. При вычислении в явном виде зависимостей $\eta_{k.a.i} = f(Q_{k.a.i})$ необходимо опираться на теплотехнические показатели, полученные при режимно-наладочных испытаниях каждого котла, а также энергетические характеристики используемого топлива, его рыночную стоимость и др. Данные величины применяются для параметрической идентификации матмодели котлоагрегата НТКС, которая лежит в основе расчета.

Структурная схема модели представлена на рис. 3, а ее реализацию в среде MatLab иллюстрирует рис. 4. Необходимо отметить, что все входные и выходные величины в модели рассчитываются на единицу времени. На рис. 3 приняты следующие условные обозначения: V_{tt} – объемный расход твердого топлива, [m^3/c]; $V_{d.vozd}$ – объемный расход дутьевого воздуха, [m^3/c]; $Q'_{ks}(V_{tt})$ – количество тепла вносимое в слой с твердым топливом, [Вт]; $Q''_{ks}(V_{d.vozd})$ – количества тепла вносимое в слой с дутьевым воздухом, [Вт]; Q_{ks} – количества тепла получаемое слоем в единицу времени, [Вт]; T_{ks} – температура КС, [$^{\circ}C$]; T_{vodi}^{obr} – температура обратной воды в поверхностях нагрева, [$^{\circ}C$]; $V_{uh.gazi}$ – расход уходящих дымовых газов, [m^3/c]; $W_{Tks}^{Q_{ks}}(p)$ – передаточная функция по каналу изменения температуры КС от количества переданного в слой тепла; $W_{ppn}^{ks.konv}(p)$, $W_{ppn}^{ks.luch}(p)$, $W_{ppn}^{uh.gazikonv}(p)$, $W_{ppn}^{uh.gaziluch}(p)$ – передаточные функции тепловосприятия ППН по четырем каналам, соответственно: при конвективном теплообмене НТКС с погруженной частью ППН, (количество полученного тепла – $Q_{ppn}^{ks.konv}$, [Вт]); при лучевом теплообмене НТКС с погруженной частью ППН, (количество полученного тепла – $Q_{ppn}^{ks.luch}$, [Вт]); при конвективном теплообмене НТКС с непогруженной частью ППН, $Q_{ppn}^{uh.gazikonv}$, [Вт]; при лучевом теплообмене НТКС с непогруженной частью ППН (количество полученного тепла – $Q_{ppn}^{uh.gaziluch}$, [Вт]), $W = f(T_{ks}, V_{uh.gazi})$ – передаточная функция количества воспринятого от слоя уходящими газами тепла, $Q_{k.a.}^{uh.gazi}$ – тепло воспринятое дымовыми газами, [Вт].

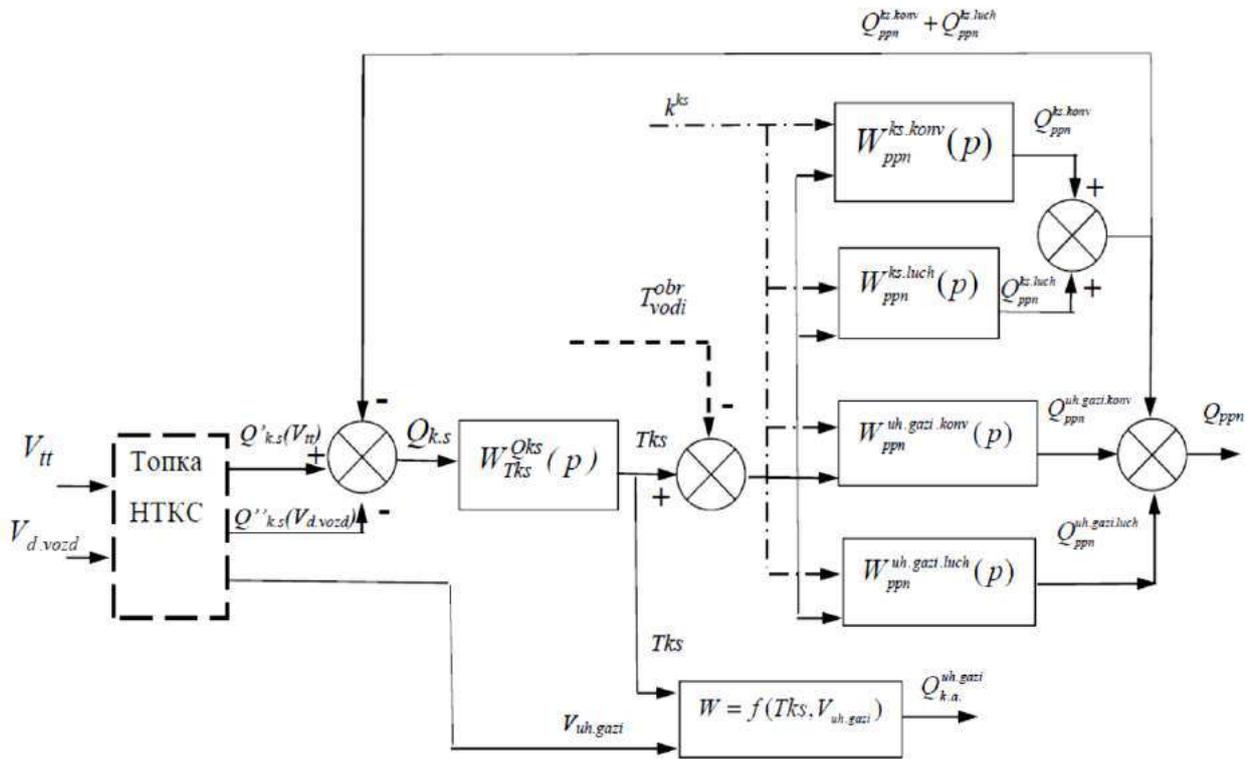


Рис. 3. Структурная схема котлоагрегата НТКС с погружными поверхностями нагрева

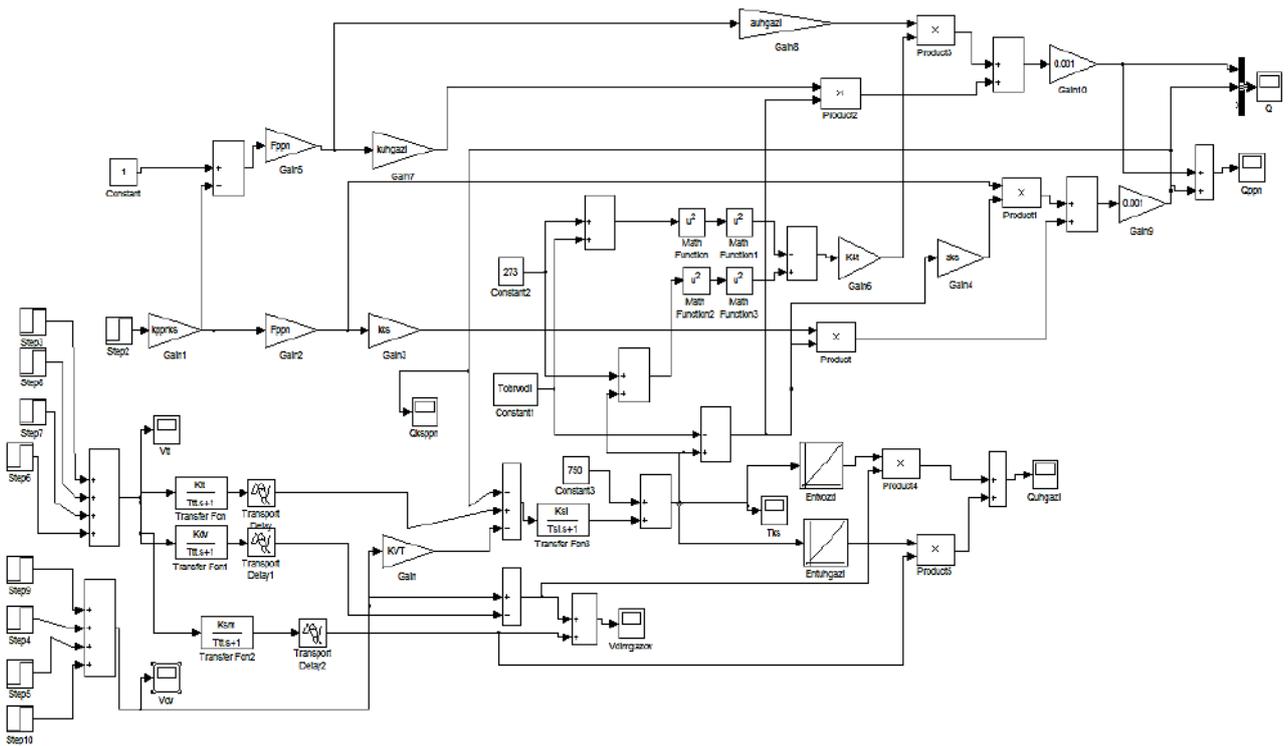


Рис. 4. Практическая реализация модели котлоагрегата НТКС в среде MatLab

С помощью данной модели становится возможным рассчитывать вектора значений технологических параметров котлов НТКС и определять вид рекомендуемой для промышленного использования зависимости $\eta_{k,a,i} = f(Q_{k,a,i})$ по каждому агрегату. Также предложенная модель позволяет прогнозировать поведение слоя при различных комбинациях управляющих воздействий при переходе из одной рабочей точки в другую, что является основой для синтеза системы автоматического управления.

Представим последовательность расчетов рациональных параметров группы НТКС в виде алгоритма (рис. 5).

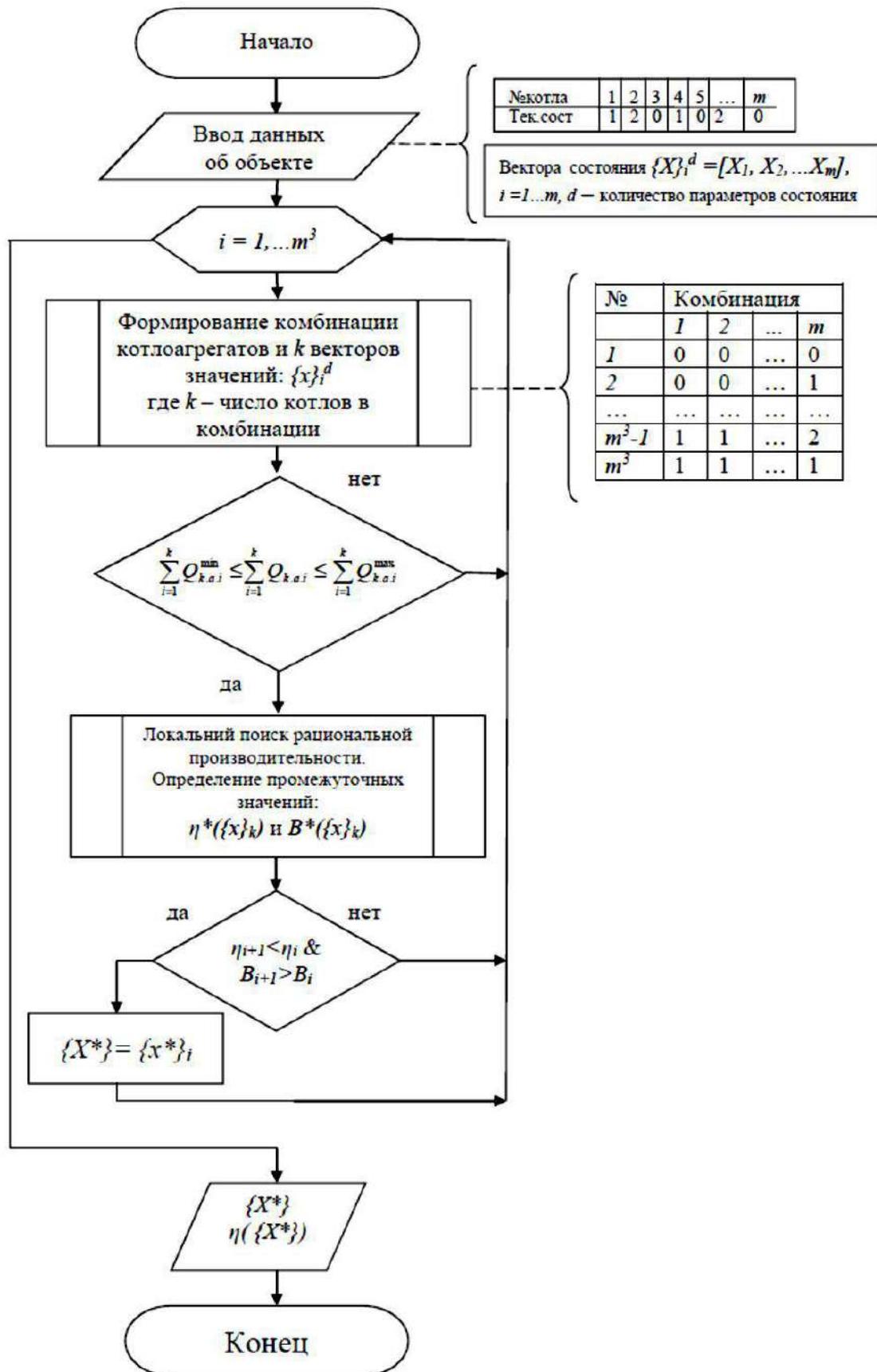


Рис. 5. Обобщенный алгоритм поиска рационального состава и производительности группы котлоагрегатов НТКС

В соответствии с ним сначала формируется m векторов значений исходных данных $\{X\}_i^d, i=1 \dots m$ по каждому котлу в группе, в том числе и о его состоянии – в работе (1), отключен (0), в «горячем» резерве (2). Размерность вектора d определяется структурой применяемой матмодели (количеством технологических параметров учитываемых при расчете полей значений $Q_{k.a.}$).

Следующим этапом происходит перебор всех возможных вариантов (текущий вектор $\{x\}$) комбинаций технологических параметров для каждой из возможных комбинаций m^3 котлоагрегатов с учетом их состояния. Затем проверяется, может ли текущий вариант обеспечить выполнение рассчитанной суммарной производительности:

$$\sum_{i=1}^k Q_{k.a.i}^{\min} \leq \sum_{i=1}^k Q_{k.a.i} \leq \sum_{i=1}^k Q_{k.a.i}^{\max}. \quad (6)$$

где k – количество работающих котлов в данной комбинации. При выполнении условия (6) для данной комбинации осуществляется подпрограмма вычисления средневзвешенного КПД группы котлов, а также расчет материальных затрат для перехода из исходного состояния к рассматриваемому варианту по критериям (2) и (5).

Далее осуществляется поиск рационального состава и производительности котлоагрегатов НТКС, основанный на применении численного метода «прямые выборочные процедуры с уменьшением интервала поиска» [4]. В течение поиска вектору искомым значений параметров присваиваются промежуточные значения при соблюдении условий $\eta_{i+1} > \eta_i$ и $B_{i+1} < B_i$. Результатами вычислений являются значения максимально возможного средневзвешенного КПД группы котлоагрегатов и минимально возможного расхода условного топлива для достижения задания по производительности, а также вектор соответствующих технологических параметров каждого котла НТКС.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Распространенные на данный момент на шахтах источники тепла – слоевые топки отличаются низкой эффективностью и неспособностью сжигать низкосортное топливо. Кроме того, отпуск тепловой энергии шахтным потребителям по укрупненным показателям приводит перерасходу тепла. Таким образом, рационально в качестве теплогенерирующих установок на горных предприятиях применять группу котлоагрегатов низкотемпературного кипящего слоя, а отпуск тепла осуществлять по прогнозируемому спросу в зависимости от градиента изменения температуры окружающей среды во временной перспективе, достаточной для компенсации инерционности всех элементов системы теплоснабжения. Подобный подход дает возможность использовать уголь с зольностью до 70% и реализовывать оперативное автоматическое управление работой котлов.

1. Из анализа технологических особенностей котельных агрегатов как объектов управления, следует наличие трех способов оперативного регулирования их производительности: по расходу твердого топлива, по расходу дутьевого воздуха, по степени погружения ППН в слой.

2. Для обеспечения эффективной работы группы котлоагрегатов НТКС были разработаны критерии рационального функционирования установок – критерий максимального средневзвешенного КПД котлов (2) и критерий минимального расхода топлива (5), при выполнении задания по производительности (1), а также определены наложенные ограничения.

3. Разработана матмодель котлоагрегата НТКС, на базе которой возможно рассчитывать вектора значений технологических параметров котлов при различных производительностях и определять рекомендуемую к промышленному использованию зависимость $\eta_{k.a.i} = f(Q_{k.a.i})$ для каждого котла. Также данная модель позволяет прогнозировать поведение кипящего слоя в динамике при различных комбинациях управляющих воздействия, что делает возможным синтез системы автоматического управления работой котла.

4. Предложена методика расчета параметров рациональной работы котлоагрегатов НТКС, при которой обеспечивается оперативное удовлетворение теплового спроса потребителей (зависимость 1), при выполнении критериев и наложенных ограничений (2)-(5). Результатами расчета являются рекомендации по составу работающих котлов и их текущих производительностей. При этом берется во внимание исходное состояние каждого котла, а также текущие значения его технологических параметров. Применение данной методики позволяет повысить средневзвешенный КПД котельной установки на 2-4% и, таким образом, сэкономить по предприятию в среднем до 250 т условного топлива в год.

Библиографический список

1. Александрова, Е. А. Особенности теплового режима помещений при поквартирном теплоснабжении / Е. А. Александрова, К. А. Астахова, А. С. Семенов // Международный студенческий научный вестник. 2015. – №3-1. С. 91-93.
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. Дилигенский Н. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология / Н. В. Дилигенский, Л. Г. Дымова, П. В. Севастьянов – М.: Машиностроение-1. – 2004. – 397 с.
4. Долгий, В. Я. Показатели качества углей, добытых на шахтах Украины / В. Я. Долгий, А. А. Кривченко, М. Д. Шамало, В. А. Долгая // Уголь Украины. – 1999. – № 8. – С. 18-22.
5. Жуков, Д. В. Повышение эффективности работы систем централизованного теплоснабжения путем оптимизации теплогидравлических режимов / Д. В. Жуков, В.З. Дмитриев// Эско. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы», 2012. – №6. – (http://journal.esco.co.ua/2012_6/art124.htm). – Дата обращения: 01.11.16.
6. Инструкция по нормированию расхода тепловой энергии в угольной промышленности ВН 12.25.009-81. В сб.: Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления. – М.: Недра, 1983.
7. Каменев, П. Н. Вентиляция: учеб. пособие / П. Н. Каменев, Е. И. Тертичник. – М.: Издательство АСВ. – 2008. – 624 с.
8. Козлова, І. Ю. Підвищення ефективності тепlopостачання спортивного комплексу НТУ «ХП» / І. Ю. Козлова, Л. І. Лисенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № 59 (1032). – С. 92–100. – Бібліогр.: 9 назв.
9. Николаев, Ю. Е. Повышение эффективности систем теплоснабжения промышленных предприятий / Ю.Е. Николаев // Промышленная энергетика. – 2005. – № 1. – С. 7-9.
10. Орлов, М. Е. Повышение эффективности систем теплоснабжения городов / М. Е. Орлов // СОК, 2014. – №1. – (<http://www.c-o-k.ru/articles/povyshenie-effektivnosti-sistem-teplosnabzheniya-gorodov>). – Дата обращения: 01.11.16.
11. Отчет о договорной работе «Проведение поверочных расчетов теплоснабжения поверхностного комплекса шахты «Южнодонбасская № 1». – Донецк, НИИ Горной Механики им. М. М. Федорова, 1993. – 63 с.
12. Руководство по проектированию угольных шахт. Государственный нормативный акт об охране труда. – Киев, 1994. – Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Государственный нормативный акт об охране труда. – К.: Основа, 1994. – 312 с.
13. Руководство по техническому обслуживанию калориферных установок шахт / [Карасев Н. И., Негруцкий Б. Ф., Григорьев А. И. и др.]; под ред. Н. И. Карасева. – М., Недра. – 1984. – 176 с.
14. Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев. – М.: Энергоатомиздат. – 1998. – 528 с.
15. Сканави, А. Н. Отопление : Учебник для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М.: Издательство АСВ. – 2002. – 576 с.
16. Солдатенков, А. С. Математическое моделирование системы управления теплоснабжением комплекса зданий : монография / А. С. Солдатенков. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 176 с. (10,2 п.л.)
17. Типовой проект организации строительства шахты производительностью 600 тысяч тонн угля в год. – Москва: Углетехиздат, 1953. – 123 с.
18. Типовой проект организации скоростного строительства шахты производительностью 1200 тыс. т угля в год. – Москва: Углетехиздат, 1953. – 123 с.
19. Ткаченко, А. Е. Математическое моделирование энергообмена в шахтном комплексе теплоснабжения с топками низкотемпературного кипящего слоя/ А. Е. Ткаченко / Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Инженерные системы и техногенная безопасность. Сборник научных трудов. Выпуск 2016-5 (121). – Макеевка, ДонНАСА, 2016. – С. 42-49.
20. Ткаченко, А. Е. Повышение эффективности работы шахтного комплекса теплоснабжения при совместной работе котельных агрегатов НТКС на тепловую сеть / А. Е. Ткаченко / Вестник ДонНТУ. Сборник научных трудов. Выпуск №5, 2016. – Донецк, ДОННТУ, 2016. – С. 3-9.
21. Al-Shemmeri, T. Energy audits: a workbook for energy management in buildings / Tarik Al-Shemmeri. – Iowa: Wiley-Blackwell, 2011. – 292 p.

22. Mitchell, J. W. Principles of heating, ventilation, and air conditioning in buildings / John W. Mitchell, James E. Braun. – N. J. : Wiley, 2013. – 600 p.

23. Grebenyuk, G. G. Algorithms for optimization of the number of switchings in heat supply networks reconfiguration / G. G. Grebenyuk, A. A. Krygin // Automation and Remote Control, МАИК Nauka/Interperiodica. – 2008. – Vol. 68. No. 12. – P. 2187-2197.

© А.Е. Ткаченко, 2017

Рецензент д-р техн. наук, проф. С.В. Борщевский

Статья поступила в редакцию 21.12.2017

METHODS OF THE EFFICIENT MINING HEAT-SUPPLY WITH LAW TEMPERATURE AIR-FLUIDIZED BED BOILERS EXPLOITATION

Anna Evgenevna Tkachenko,

Senior lecturer of the Mining Electrotechnics & Automation named after R.M. Leybov Department
Donetsk National Technical University

e-mail: anica@mail.ru

283001, Donetsk, 58 Artema Str.

Phone: +38 (062) 301-07-26

Currently the misallocation of the fuel resources took place. Its reasons are: common exploitation of the inefficient heat generating plants and a lack of operative control of their productivity, as well as the subscribers' heat demand calculation by averaged characteristics. The problem of the solid fuel quality falling is actual. The introduction into mines low temperature air-fluidized bed (LTAB) boilers allows to enter into the industrial exploitation the low-grade fuels and quickly respond to the heat demand changes. The expediency to predict the heat demand of the mining subscribers on the heat-supply system was proved. The methodic of the rational boilers number determining, also the each functioning boiler productivity determining depending on the predicted subscribers' heat demand were developed. The LTAB boiler math model was offered, it allows to determine the area of the boilers rational use according to the proved criteria.

Keywords: heat-supply system; mine; air heater installation; furnace; low temperature air-fluidized bed; boiler; prediction; mathematical model; heat demand; productivity; efficiency; control system; LTAB; methodic; technological parameters.