

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА «CARBOROBOT-40»

А.Р. Богомолов, Б.А. Анферов, Е.Ю. Темникова, А.А. Лапин

Приведен анализ достоинств и недостатков автоматизированных твердотопливных котлов малой мощности (10–150 кВт), представленных на рынке России, как импортных, так и отечественных. Проведено обследование работающего котельного агрегата «Carborobot-40» с определением потерь теплоты на основании составленного теплового баланса. По результатам расчета КПД котельного агрегата разработаны рекомендации по улучшению режима работы котла.

Ключевые слова: котельный агрегат, тепловой баланс, уголь, биотопливо (пеллеты).

ВВЕДЕНИЕ

Котельные малой мощности, работающие на твердом топливе в условиях регулирования тарифов на тепловую энергию, становятся нерентабельными из-за относительно высокой доли эксплуатационных затрат при малой реализации тепловой энергии. Такие котельные, как правило, с ручным забросом топлива, отапливают несколько зданий. Эффективность сжигания топлива в немеханизированных котлах малой мощности в большей мере зависит от профессиональных качеств кочегара-машиниста и, как правило, не превышает 50–65 %. Существуют примеры применения автоматизированных угольных котлов в различных районах г. Кемерово, которые отапливают от одного до нескольких зданий социально значимого назначения. Модернизации подвергали котлы с ручной загрузкой угля, например, НР-18, результатом эксплуатации которых являлась высокая себестоимость производства тепловой энергии – около 2200 руб./Гкал (525 руб./ГДж).

Кроме того причиной замены котельных агрегатов с ручной на автоматизированную загрузку является тяжелый труд кочегара, сопряженный с вредными условиями труда – пыленностью, шумом и вибрацией. Например, на котельной с двумя котлами с ручной подачей твердого топлива производительностью около 150 кВт каждый работник за 8 часовую смену перекидывает в топку около 800 кг угля, удаляет около 200 кг шлака и золы.

В настоящее время на рынке бытовых автоматизированных твердотопливных котлов малой мощности (10–150 кВт) представлено достаточно много котлов различных производителей, включая отечественные, которые подобны по принципу работы, но отличаются конструктивно.

Наиболее известными иностранными производителями, чья продукция представлена на нашем рынке, являются: Carborobot – Венгрия; Heiztechnik (НТ) – Германия; Defro – Польша, Per-Eko – Польша. Отечественные производители: Углеавтомат – Новосибирск; Барин – Бийск; Авто – Новосибирск; Терморобот – Новосибирск; Прометей – Новосибирск.

Основными конструкциями топок котлов перечисленных производителей являются:

- цилиндрическая колосниковая решетка и гравитационное поступление угля (Carborobot, Углеавтомат, Прометей);
- ретортная горелка и подача угля шнеком (Defro, НТ, Per-Eko);
- поршневая горелка и гравитационное поступление угля (Defro);
- водоохлаждаемая линейная горелка шнековая (Терморобот);
- неподвижная водоохлаждаемая решетка с вращающимися ножами (Авто).

Основными достоинствами перечисленных котлов являются:

1. Работа в автоматическом режиме;
2. Работа на одной загрузке топлива до 5 суток;
3. Надежность серийных образцов.

Объединяющими недостатками всех перечисленных котлов являются:

1. Высокая стоимость;
2. Строгие требования, предъявляемые к марке и фракционному составу угля.

Анализ достоинств и недостатков, особенностей конструкций перечисленных котлов, характеристика которых представлена в таблице 1, является необходимым этапом, предшествующим выбору котла, удовлетворяющему индивидуальным требованиям заказчика.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки различных конструкций топков

№	Тип топки	Достоинства	Недостатки
1.	Цилиндрическая колосниковая решетка и гравитационное поступление угля (Carbobot, Углеавтомат, Прометей)	– работа на одной загрузке до 3 суток; – остановка котла с гарантированным запуском до 12 час (при работе на буром угле).	– высокие требования к фракционному составу и качеству угля – рекомендованное топливо уголь бурый 5–25 мм, каменный уголь марки Д 5–25 мм; – уголь должен быть сыпучим для предупреждения слеживания в бункере. – высокая доля механического недожога с провалом (из-за небольшой площади контакта топлива с решеткой часть топлива скатывается в зольник); – на котлах Углеавтомат решетка стальная, что снижает надежность работы и приводит к ее деформации; – из-за конструктивного исполнения, когда бункер с топливом находится над горящим слоем, при неплотном запираании крышки топливного бункера случается выделение летучих в бункер с дальнейшим воспламенением; – при использовании угля марки СС происходит спекание шлака на решетке и погасание пламени.
2.	Ретортная горелка и подача угля шнеком (Defro, НТ, Per-Eko)	– длительная работа на одной загрузке; – возможность автономной работы при отключении электроэнергии.	– высокие требования к фракционному составу и качеству угля – каменный уголь 5–25 мм; – возможное заклинивание шнека; – большая величина потерь от механического недожога с уносом из-за подачи воздуха дутьевым вентилятором под слой топлива.
3.	Поршневая горелка и гравитационное поступление угля (Defro)	– длительная работа на одной загрузке; – возможность автономной работы при отключении электроэнергии. – возможность сжигания штыба.	– требования к фракционному составу и качеству угля – не допускается размер фракций больше 6 мм; – возможно заклинивание толкателя угля (поршня).
4.	Водоохлаждаемая линейная горелка шнековая (Терморобот)	– длительная работа на одной загрузке; – нет строгих требований к качеству угля.	– наличие уплотнителей в устройстве охлаждения вращающегося шнека; – возможная деформация лопаток ротора; – возможное заклинивание шнека.
5.	Неподвижная водоохлаждаемая решетка с вращающимися ножами (Барин, Авто)	– длительная работа на одной загрузке; – нет строгих требований к качеству угля; – простота конструкции.	– система проталкивания шлака и поступления угля выполнена вращающимися под решеткой ножами, по принципу удаления золы и шлака в некоторых котлах с ручной топкой Defro. Вращающиеся ножи, проталкивая шлак, частично удаляют и уголь, который находится над слоем шлака. При движении ножей происходит перемешивание угля и сгоревшего шлака, что тоже негативно сказывается на процессе горения.

При выборе котла важную роль имеет стоимость проектной мощности, информация

о которой приведена в таблице 2 (в ценах 2013 года).

Таблица 2 – Ценообразование на рынке автоматизированных угольных котлов малой мощности (2013 год)

Тип котла	Проектная мощность	Стоимость 1 кВт, (тыс. руб.)
Терморобот	60–150	4,5–2,8
Углеавтомат	40	2,25
Барин	18–100	6,4–2,5
Авто	20–30	4,5–4,0
Carborobot	40–80	5,0–4,8
Defro	12–150	11,3–7,8
НТ	50	3,0

Недорогими выглядят котлы Углеавтомат. Средняя стоимость принадлежит котлам Барин, Авто, НТ, Терморобот и Carborobot. К дорогим относят котлы Defro.

В связи с перевооружением районных котельных г. Кемерово, обусловленным заменой котлов с ручной загрузкой угля на автоматизированные твердотопливные, в большей мере на котлы Carborobot, представляется целесообразным проведение исследования эффективности их работы на основе составления теплового баланса при различных режимах работы и при использовании различных видов топлива.

Работа выполнена с участием студентов 3-го и 4-го курсов направления «Теплоэнергетика и теплотехника» в зимний период 2013/2014 года.

Исследован водогрейный котел «Carborobot–40» теплопроизводительностью 40 кВт. Общий вид котла показан на рисунке 1.

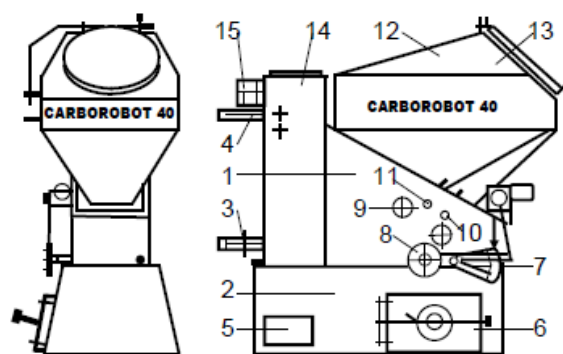


Рисунок 1 – Общий вид котельного агрегата «Carborobot–40»: 1 – корпус котла;

- 2 – зольник; 3 – вход воды ГВС; 4 – выход воды ГВС; 5 – дверца люка для уборки золы; 6 – дверца зольника; 7 – шаговый привод колосниковой решетки; 8 – вал поворотной колосниковой решетки; 9 – смотровой люк для проверки и очистки от нагара; 10 – люк для растопки котла; 11 – регулятор вторичного воздуха; 12 – загрузочный бункер; 13 – крышка люка загрузочного бункера; 14 – люк конвективного газохода; 15 – труба отвода уходящих газов

Котел «Carborobot–40» содержит неэкранированную слоевую топку, конвективную шахту, выполненную в виде восходящего газохода, в котором размещена конвективная поверхность нагрева котла, загрузочный бункер, заполняемый твердым топливом вручную, средства автоматики. Отличительной конструктивной особенностью котла «Carborobot–40» является колосниковая решетка, выполненная в виде горизонтально ориентированного барабана, обечайка которого перфорирована щелевидными отверстиями, обуславливающими живое сечение решетки, служащее для прохода воздуха, необходимого для горения топлива.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Целью обследования работы котла являлось изучение соотношения составляющих теплового баланса котла, работающего на различных видах твердого топлива: угле марки «Д», биотопливе (пеллеты) и смеси угля с биотопливом – шихте для выработки рекомендаций по повышению эффективности работы.

Проведены измерения следующих параметров и расходных характеристик:

- расход топлива и золо-шлаковых отходов весовым методом с помощью ручных пружинных весов ценой деления 0,1 кг;

- температура ограждающих конструкций для расчета потерь теплоты сгорания топлива от наружного охлаждения котельного агрегата с помощью инфракрасного термометра с двухлазерным сигналом и диапазоном измерений от минус 35 °С до плюс 800 °С;

- температура и влажность воздуха в помещении котельной гигрометром психометрическим ВИТ-2 с точностью до 0,1 °С;

- температура дымовых газов на выходе из котла хромель-алюмелевой (ХА) термопарой, встроенной в зонд газоанализатора Testo 300 XXL;

- температура очаговых остатков шлака ХА термопарой, подключенной к измерителю ОВЕН ТРМ202 и их расход весовым методом для определения потерь теплоты с физическим теплом шлака;

- содержание кислорода, углекислого газа и оксида углерода в уходящих газах газоанализатором Testo 300 XXL для определения потерь теплоты от химической неполноты сгорания топлива;

- температура воды на входе и выходе котла ртутными термометрами, установленными в термокарманы трубопроводов, для определения расхода теплоносителя;

- расход шлака.

В лабораторных условиях пробы шлака

подвергали измельчению, просеиванию на сите № 0200, взвешиванию навески и обработке в муфельной печи согласно [2] с целью определения остатка несгоревшего углерода.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

В зависимости от вида топлива вычисляется Q_n^p – низшая теплота сгорания рабочей массы топлива, кДж/кг [1]:

$$Q_n^p = 339,13C^p + 1035,94H^p - 108,86(O^p - S^p) - 24,62W^p$$

Используя показания газоанализатора «Testo», вычисляют коэффициент избытка воздуха в уходящих дымовых газах α_{uh} [1]:

$$\alpha_{uh} = \frac{21}{21 - O_{2uh}}$$

где 21 – содержание кислорода в атмосферном воздухе, %; O_{2uh} – содержание кислорода в дымовых газах по показаниям газоанализатора, %.

Потери теплоты с уходящими газами Q_2 , определяют по формуле, кДж/кг:

$$Q_2 = \frac{I_{uh} - \alpha_{uh} \cdot I_{hv}}{B}, \text{ или } q_2 = \frac{Q_2}{Q_n^p} \cdot 100,$$

где B – расход топлива, сгоревшего в топке, кг/с; $B = B_d \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$; B_d – действительный измеренный расход топлива, кг/с; I_{uh} – энтальпия уходящих газов, кВт; $I_{uh} = G_{uh} \cdot c_{uh} \cdot t_{uh}$; c_{uh} – теплоемкость дымовых газов, кДж/(кг·К), в диапазоне температур от 0 до 500 °С принять $c_{uh} = 1$; G_{uh} – массовый расход дымовых газов, кг/с; $G_{uh} = V_{uh} \cdot \rho_{uh}$; V_{uh} – измеренный объемный расход дымовых газов, м³/с; ρ_{uh} – плотность уходящих дымовых газов при температуре t_{uh} , кг/м³:

$$\rho_{uh} = \rho_0 \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T}$$

где $\rho_0 = 1,291$ – плотность дымовых газов при нормальных условиях, кг/м³; P_0, T_0 – абсолютные давление и температура, отвечающие нормальным условиям ($P_0 = 0,1$ МПа, $T_0 = 273$ К); P – давление дымовых газов в газоходе, измеренное U-образным манометром (в связи с незначительным избыточным давлением в газоходе принимают $P = P_0$); T – температура дымовых газов, измеренная посредством термопары, установленной в зонде газоанализатора, К ($T = t_{uh} + 273,15$); $V_{uh} = w_{uh} \cdot S$, где

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \text{ – площадь поперечного сечения га-}$$

зохода дымовых газов, м²; $d = 0,12$ – внутренний диаметр газохода уходящих газов, м; w_{uh} – скорость движения дымовых газов по газоходу, м/с, которую можно выразить из уравне-

ния движения: $\frac{\rho_{uh} \cdot w_{uh}^2}{2} = \rho_{sp} \cdot g \cdot h$ где h – высота спиртового столба, уравновешивающего динамический напор дымовых газов, м, $h = (50,69x - 161,1) \cdot 10^{-3}$, где x – показание измерителя-регулятора «Овен», мВ; $\rho_{sp} = 780$ – плотность этилового спирта, кг/м³; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с². Тогда:

$$w_{uh} = \sqrt{\frac{2\rho_{sp} \cdot g \cdot h}{\rho_{uh}}}$$

$I_{hv} = G_{hv} \cdot c_{hv} \cdot t_{hv}$ – энтальпия холодного воздуха, поступающего в топку котла, кВт.

Потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива Q_3 , кДж/кг:

$$Q_3 = 237 \frac{CO \cdot (C^p + 0,375S^p)}{(RO_2 + CO)},$$

где CO – содержание оксида углерода в уходящих газах, %, по показаниям газоанализатора; RO_2 – содержание сухих трехатомных газов в уходящих газах, %, по показаниям газоанализатора, $RO_2 = CO_2 + SO_2$.

$$\text{Или в процентах: } q_3 = \frac{Q_3}{Q_n^p} \cdot 100.$$

Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива Q_4 , кДж/кг.

Механический недожог топлива включает провал топлива через отверстия колосниковой решетки, содержание углерода топлива в очаговых остатках, удаляемых из топки и содержание углерода топлива в золе, унесенной дымовыми газами из топки котла.

По [2] механический недожог определяли выжиганием органической массы из золашлаковых отходов (ЗШО). Для этого подготавливали навески ЗШО массой, например, 2 г. Кювету с навесками помещали в муфельную печь при комнатной температуре. В течение 60 минут повышают температуру в печи до 500 °С и выдерживают при этой температуре в течение 30 мин. Далее повышают нагрев до 815±10 °С в той же печи и выдерживают при этой температуре не менее 60 мин. Оставшуюся массу после охлаждения взвешивают на лабораторных весах.

Затем вычисляют долю несгоревшей в

топке части органической массы топлива γ по формуле:

$$\gamma = \frac{M_n - M_z}{M_n},$$

где M_n – масса навески ЗШО, кг; M_z – масса золы, оставшейся после выжигания органической массы, кг.

Механический недожог M_{mn} , кг/сут., составляет: $M_{mn} = \gamma \cdot M_{zsho}$, где M_{zsho} – суточный выход золошлаковых отходов, кг/сут.

Величину потерь теплоты с механической неполнотой сгорания топлива, кДж/кг, можно определить из выражения, где M_m – суточный расход топлива:

$$Q_4 = \frac{M_{mn} \cdot Q_n^p}{M_m} \text{ или } q_4 = \frac{Q_4}{Q_n^p} \cdot 100.$$

Потери теплоты от наружного охлаждения котельного агрегата Q_5 , кДж/кг:

$$Q_5 = \frac{\alpha_{to} (t_{st} - t_{os}) F}{B},$$

где α_{to} – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²К), при естественной конвекции $\alpha_{to} = (7...10)$; t_{st} – температура стенки ограждающих конструкций котла, °С; t_{os} – температура окружающей среды, °С; B – расход топлива, кг/с, сгоревшего в топке; F – площадь поверхности ограждающих конструкций котла, м².

Или в процентах: $q_5 = \frac{Q_5}{Q_n^p} \cdot 100$.

Потери теплоты с физической теплотой шлака Q_6 , кДж/кг:

$$Q_6 = a_{sh} \cdot c_{sh} \cdot t_{sh} \cdot \frac{A^p}{100},$$

где $a_{sh} = 0,95$ – доля золы топлива в очаговых остатках, удаляемых из топки в виде шлака; t_{sh} – температура шлака, измеренная величина, °С; $c_{sh} = 0,96$ – теплоемкость шлака, кДж/(кг·К); A^p – зольность топлива.

Или в процентах: $q_6 = \frac{Q_6}{Q_n^p} \cdot 100$.

Определяют долю полезно использованной теплоты:

$$q_1 = 100 - \sum_{i=2}^6 q_i$$

Коэффициент полезного действия котельного агрегата:

$$\eta_{ka} = \frac{q_1}{100}.$$

Проведено сопоставление полученных результатов по переданной теплоте теплоно-

сителю с определением расхода теплоносителя и загруженностью сетевого насоса.

Количество полезно использованной теплоты Q_p дымовых газов, кВт, составляет:

$$Q_p = G_{uh} \cdot c_{uh} \cdot (t_{ig} - t_{uh}),$$

где t_{ig} – температура газов, измеренная в объеме топки, °С.

Отнесение ее к 1 кг сгоревшего топлива позволяет получить количество полезно использованной теплоты от сжигания единицы массы топлива:

$$Q_{pB} = \frac{Q_p}{B}.$$

Далее сравнивают Q_{pB} с $Q_1 = \frac{q_1 \cdot Q_n^p}{100}$.

В водогрейном котле количество полезно использованной теплоты сгорания топлива, кВт, определяется количеством подогретой до заданной температуры воды:

$$Q_w = G_w \cdot c_w (t_w^{out} - t_w^{in}),$$

где G_w – расход воды через котельный агрегат, кг/с; $c_w = 4,186$ – теплоемкость воды, кДж/(кг·К); t_w^{in} – температуры воды на входе в котел, °С; t_w^{out} – температура воды на выходе из котла, °С.

Если учесть, что $Q_p = Q_w$, то можно определить реальный расход сетевой воды через котел, кг/с:

$$G_w = \frac{Q_p}{c_w (t_w^{out} - t_w^{in})}.$$

Полученное значение реального расхода сетевой воды через котел необходимо сравнить с производительностью насоса (2,7 м³/ч), определив тем самым степень его загруженности.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ. ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов параметров работы котельного агрегата Carborobot-40, работающего на угле ДСМШ, смеси и биотопливе, представлены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что при использовании угля ДСМШ КПД котла низкий, это обусловлено высокими долями потерь теплоты с уходящими газами.

Нормативные значения температуры уходящих дымовых газов для котлов малой мощности – 200...220 °С. В данном котельном агрегате средняя температура уходящих газов превышает нормативные значения. Повышенная доля потерь теплоты с уходящими газами обусловлена, в основном, повышенной температурой уходящих газов – 283 °С и

высоким коэффициентом избытка воздуха (α_{uh}), среднее значение которого составляет

2,51, что примерно в два раза превышает норму.

Таблица 3 – Результаты расчетов теплового баланса котельного агрегата

Вид топлива	КПД котла η_{ka} ($\eta_{ka \text{ норм}}$)	q_2 ($q_2 \text{ норм}$), %	q_3 ($q_3 \text{ норм}$), %	q_4 ($q_4 \text{ норм}$), %	q_5 ($q_5 \text{ норм}$), %	q_6 ($q_6 \text{ норм}$), %
Уголь ДСМШ	0,685 (0,8–0,84)	23,15 (8–10)	1,07 (1–1,5)	5,2 (6–9)	1,92 (3–3,5)	0,18 (0,1–2)
Смесь: уголь (ДСМШ) и биотопливо (пеллеты, 50/50)	0,725 (0,8–0,84)	21,86 (8–10)	0,39 (1–1,5)	3,12 (6–9)	1,9 (3–3,5)	0,21 (0,1–2)
Биотопливо (пеллеты)	0,77 (0,8–0,84)	5,81 (8–10)	1,91 (1–1,5)	11,6 (6–9)	3,7 (3–3,5)	0,09 (0,1–2)

Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, хотя и ниже нормативных, все же связаны, с тем, что, во-первых, в отличие от требуемого заводом-изготовителем сорта топлива (ДСШ – семечко, штыб), в топку подают топливо более крупных фракций, в частности ДСМШ – семечко, мелкий, штыб. Наличие сорта «мелкий» при скорости вращения барабана колосниковой решетки, отрегулированной на сжигание «штыба» и «семечка», обуславливает механический недожог топлива – оно не успевает прогореть.

Во-вторых, запас топлива хранится на закрытом складе, связанном с помещением котельной дверным проемом; так как воздух в помещении котельной достаточно сухой (относительная влажность менее 50 %), то при хранении угля на складе допускается излишнее подсушивание топлива. В результате повышается сыпучесть наиболее мелких фракций топлива, в частности, «штыба», который, поступая на колосниковую решетку самотеком из бункера котла, проваливается через отверстия в самой решетке, обуславливая тем самым потери теплоты с провалом топлива, который представляет собой составную часть потерь теплоты от механической неполноты сгорания топлива. Именно провалом объясняются отдельные аномально высокие значения потерь теплоты с механическим недожогом.

При работе котельного агрегата Carbo-robot-40 на топливной смеси уголь (ДСМШ) и биотопливо (пеллеты) показатель КПД низкий (таблица 3), в основном, из-за повышенных потерь теплоты с уходящими газами, которые, в свою очередь, вызваны не только повышенным избытком воздуха в газообразных продуктах сгорания ($\alpha_{uh}=2,0$), но и повышен-

ной температурой уходящих газов – 261 °С.

При сжигании биотоплива (пеллетов) в котле (таблица 3) высокое значение коэффициента избытка воздуха в уходящих газах, превышающее нормативный показатель более чем в 3,5 раза, нивелировано относительно низкой температурой уходящих газов. Кроме того, более низкая температура уходящих газов при работе на биотопливе (около 210 °С) по сравнению с температурой газов при работе на угле или шихте связана с более низкой температурой дымовых газов в камере сгорания (около 700–800 °С) по сравнению с температурой в камере сгорания (900–950 °С) при сжигании угля или шихты.

КПД (0,77) работы котла на биотопливе выше, чем при работе на угле и шихте, составленной из угля и пеллет. Наибольшие потери по сравнению с нормативным показателем связаны с высокой долей потерь теплоты от механической неполноты сгорания топлива (11,6 %), которую, в свою очередь, очень трудно объяснить с позиций теории горения. Вероятнее всего это связано с тем, что при проведении инструментальных замеров работы котла на пеллетах, шлак, взятый из зольника, является очаговыми остатками от сгорания угля.

Был проведен расчет стоимости топлива на выработку 1 Гкал тепла при работе на различном виде сырья. Исходные и расчетные данные представлены в таблице 4.

Расчеты показывают, что стоимость 1 Гкал тепла, полученного при сжигании пеллет, в 5 раз дороже, чем при работе на угле.

Таблица 4 – Расчет стоимости топлива на выработку 1 Гкал тепла

Вид топлива	Цена за 1 т, руб.	Низшая теплота сгорания, ккал/кг	КПД котла, доля	Ст-ть топлива, руб.
Уголь ДСМШ	942	6030	0,685	228
Смесь: уголь (ДСМШ) и биотопливо (пеллеты,) 50/50	2471	5215	0,725	652
Биотопливо (пеллеты)	4000	4400	0,770	1180

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения эффективности работы котельного агрегата Carborobot–40 можно порекомендовать следующее:

1. Работать достаточно длительное время на одном виде топлива, настроив при этом скорость вращения барабана колосниковой решетки для обеспечения наиболее полного его сгорания;

2. Исключить попадание в топливо угля сорта «мелкий»;

3. Исключить пересыхание угля ниже гигроскопической влажности во время его хранения на складе;

4. Изыскать возможность уменьшения поступления воздуха в топку, по возможности наиболее полно исключив при этом присосы воздуха;

5. Экономически целесообразно производить выработку тепла при сжигании угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роддатис, К. Ф. Котельные установки / К. Ф. Роддатис. – М. : Энергия, 1977. – 432 с.
2. ГОСТ Р 55661-2013. Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. – Введ. 28.10.2013. – М. : Стандартинформ, 2014. – 10 с.

Богомолов А.Р. – ведущий научный сотрудник, д.т.н., лаборатория проблем теплопереноса Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН.

Анферов Б.А. – ведущий научный сотрудник, к.т.н., ФГБУН Институт угля СО РАН.

Темникова Е.Ю. – доцент кафедры теплоэнергетики, к.т.н., Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ).

Лапин А.А. – аспирант, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ).