

DOI: 10.17516/1999-494X-0400

УДК 697.432

Vortex Method of Water-Coal Combustion Fuel from Coal Preparation Sludge

Vasilij I. Murko^a,

Viktor I. Karpenok^a and Marina P. Baranova^{*b, c}

^a*Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russian Federation*

^b*Siberian Federal University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

^c*Krasnoyarsk Agrarian University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 12.04.2022, received in revised form 19.05.2022, accepted 22.05.2022

Abstract. The paper presents the results of developing designs of low and medium capacity heat generators. Vortex adiabatic combustion chambers are differentiated by the location of the axis of vortex motion of gases in the furnace space (horizontally and vertically). Depending on the thermal capacity of the boiler, the vortex chamber is located either next to the boiler (the boiler is a waste heat boiler), or is built into the furnace space of the boiler. Adiabatic vortex combustion chambers with horizontal axis of rotation of flue gases were developed for boilers with heat output from 0.1 to 0.7 MW. Experimental studies, tests in pilot-industrial and industrial conditions of heat generators operating on WCF showed their high technical efficiency (unburned carbon loss amounted to no more than 5 %, the efficiency of boilers 86 %), and the amount of harmful emissions in flue gases is significantly lower than the maximum allowable values (in 2–3 times).

Keywords: vortex way of burning, water coal fuel, fine waste of coal preparation.

Acknowledgements. The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-43-420016/20.

Citation: Murko, V.I., Karpenok, V.I. and Baranova, M.P. Vortex method of water-coal combustion fuel from coal preparation sludge, J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2022, 15(3), 338–345. DOI: 10.17516/1999-494X-0400

Вихревой способ сжигания водоугольного топлива из шламов углеобогащения

В. И. Мурко^а, В. И. Карпенко^а, М. П. Баранова^{б, в}

^аСибирский государственный индустриальный университет
Российская Федерация, Новокузнецк

^бСибирский федеральный университет
Российская Федерация, Красноярск

^вКрасноярский аграрный университет
Российская Федерация, Красноярск

Аннотация. Представлены результаты разработки конструкций теплогенераторов малой и средней мощности. Вихревые адиабатические камеры сжигания различаются по расположению оси вихревого движения газов в топочном пространстве (горизонтально и вертикально). В зависимости от теплопроизводительности котла вихревая камера либо располагается рядом с котлом (котел является котлом-утилизатором), либо встраивается в топочное пространство котла. Адиабатические вихревые топочные камеры с горизонтальной осью вращения топочных газов были разработаны для котлов с теплопроизводительностью от 0,1 до 0,7 МВт. Экспериментальные исследования, испытания в опытно-промышленных и промышленных условиях теплогенераторов, работающих на ВУТ, показали их высокую техническую эффективность (мехнедожог составил не более 5 %, к.п.д. котлов 86 %), а количество вредных выбросов в уходящих газах существенно меньше предельно допустимых значений (в 2–3 раза).

Ключевые слова: вихревой способ сжигания, водоугольное топливо, тонкодисперсные отходы углеобогащения.

Благодарности. Исследование было выполнено при финансовой поддержке российского Фонда Фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-43-420016/20.

Цитирование: Мурко, В. И. Вихревой способ сжигания водоугольного топлива из шламов углеобогащения / В. И. Мурко, В. И. Карпенко, М. П. Баранова // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2022, 15(3). С. 338–345. DOI: 10.17516/1999-494X-0400

Введение

Увеличение предприятий по углеобогащению в Кузбассе привело к росту выхода угольных шламов и тонкодисперсных отходов углеобогащения на вновь построенных углеобогажительных фабриках. Высокие значения влажности и зольности данных материалов не позволяют использовать их как товарный продукт без дополнительной обработки. В результате эти отходы отправляют в отвал, что приводит не только к потерям добытого сырья, но и к значительному загрязнению окружающей среды. В то же время существует возможность использовать такие шламы как топливо в виде водоугольных суспензий с применением технологии низкотемпературного вихревого сжигания забалластированных топлив. Задачи технологии приготовления водоугольного топлива (ВУТ) с необходимыми структурно-реологическими и теплофизическими характеристиками в настоящее время достаточно успешно решены как в научном, так и в практическом плане, а вопросы технологии надежного сжигания полученного топлива и, в первую очередь, создания конструкций теплогенераторов малой и средней мощности остаются в значительной мере не решенными.

Перспективным направлением при этом является использование технологии низкотемпературного вихревого сжигания некондиционных топлив. При использовании данной технологии для сжигания ВУТ имеются проблемы, сдерживающие ее практическое применение. В первую очередь это недостаточность теоретических данных по оценке влияния основных характеристик ВУТ (выхода летучих веществ, влажности, зольности и, соответственно, низшей теплоты сгорания топлива) на процессы воспламенения и горения, отсутствие научно обоснованных методических рекомендаций по выбору конструктивных параметров вихревых адиабатических топков (внутренние размеры и диаметр пережимного окна) для надежного сжигания топлива в зависимости от теплопроизводительности теплогенераторов малой и средней мощности, в том числе при переводе мазутных, газовых и угольных котлов со слоевыми топками на сжигание ВУТ [1–5].

Задачей работы было совершенствование технологии сжигания водоугольного топлива, приготовленного на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения (ТДОУ), и создание теплогенераторов малой и средней мощности, работающих на этом топливе.

Экспериментальная часть

Исследовалось сжигание распыленного суспензионного водоугольного топлива в вихревых адиабатических топках. Внутренняя поверхность топков выполнена близкой к цилиндрической. При этом дутьевой воздух поступает в топочное пространство через сопла, направляющие поток тангенциально условной внутренней цилиндрической поверхности. Таким образом, поступающий в топку воздух, как и тангенциально направленный факел распыленного водоугольного топлива, организует вихревое (круговое) движение находящихся в топке горящих крупных угольных частиц и капель ВУТ. Круговое вихревое движение в топке способствует эффективному перемешиванию всех материалов, которые находятся в ее пространстве.

Известно, что для эффективного зажигания и стабильного факельного горения водоугольного топлива в топочном пространстве котла, в том числе вихревой адиабатической топке, необходимо выполнение следующих условий:

- качественное распыление водоугольного топлива;
- максимально возможный подвод высокотемпературных газов к корню распыленного факела ВУТ;
- достаточное время нахождения капель распыленного топлива и угольных частиц в камере сжигания [6–8].

Организация вихревого сжигания распыленного водоугольного топлива в адиабатическом или близком к нему режиме позволяет обеспечить соблюдение указанных выше условий за счет того, что подача топлива (диспергированной водоугольной суспензии) осуществляется по касательной к условной окружности внутри топки и поток горячих топочных газов непрерывно поступает к корню факела распыла. Таким образом, в момент попадания в пространство вихревой топки диспергированные частицы (как чисто угольные, так и капли) практически мгновенно вовлекаются в вихревой горячий поток. Вихревое движение газов и распыленного топлива приводит к тому, что центробежные силы удерживают частицы и капли в пространстве топки до тех пор, пока не выгорит их горячая часть. В результате выделяющаяся минеральная часть становится легкой, смещается к оси вихря и выносится из топки с дымовыми газами.

Известные работы по исследованию горения капель водоугольных суспензий основаны на моделях, в основе которых лежит обтекание горячей или нагреваемой частицы (или капли) потоком воздуха. В настоящей работе была разработана модель, основанная на взаимодействии угольных частиц и капель с атмосферой топочного пространства [9].

Рассмотрение материального баланса поступающих в топку воздуха и топлива показало, что при сжигании топлива с более высоким содержанием золы концентрация водяного пара в атмосфере топки повышается и может сравняться (а для топлив с зольностью выше 70 % даже превысить) с концентрацией кислорода. На этом основании при расчетах топок учитывалось, что для сжигания ВУТ, приготовленного из ТДОУ, коэффициент избытка воздуха (α) должен быть существенно выше, чем для сжигания угля, содержащегося в ВУТ.

Рассмотрение рассчитанных констант равновесия возможных химических реакций и коэффициентов диффузии газов, составляющих атмосферу топочного пространства, показало, что первичной реакцией окисления углерода топлива следует признать реакцию взаимодействия углерода с водяным паром. При этом тепловая энергия, ради которой сжигается ВУТ, выделяется при сгорании водорода и монооксида углерода, а также летучих компонентов органической массы угля за пределами зоны 3.

В ходе работы для сжигания ТДОУ были разработаны и испытаны конструкции теплогенераторов малой и средней мощности. Вихревые адиабатические камеры сжигания различались по расположению оси вихревого движения газов в топочном пространстве (горизонтально и вертикально). В зависимости от теплопроизводительности котла вихревая камера либо располагается рядом с котлом (котел является котлом-утилизатором), либо встраивается в топочное пространство котла.

Адиабатические вихревые топочные камеры с горизонтальной осью вращения топочных газов были разработаны для котлов с теплопроизводительностью от 0,1 до 0,7 МВт (табл. 1)

На рис. 1 представлен теплогенератор для сушки зерна в пос. Краснообск Новосибирской области.

Вихревые адиабатические топки с вертикальной осью вращения были разработаны для экспериментального стенда КузГТУ (на базе котла «Теплотрон») для промышленного котла ДКВР-10-13 (ОАО «Междуречье»). В табл. 2 показаны характеристики теплогенераторов с вертикальной осью вращения.

На рис. 2 изображен вертикальный разрез топочного пространства парового котла ДКВР-10-13ВУТ (котельная ОАО «Междуречье»).

В табл. 3 представлены состав и количество вредных выбросов в дымовых газах при сжигании опытных образцов топлива в котле КВр-0,63ВУТ, конструкция которого изображена на рис. 3 (на базе котла «Теплотрон»).

Котел (рис. 3) состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1 с водоохлаждаемой рубашкой 2, дверцей 3 и крышкой 4, колосниковой решетки 5 и зольника 6. Наружная поверхность цилиндрического корпуса теплоизолирована. На боковой поверхности корпуса смонтированы горелочные устройства 7 с форсунками (на рисунке не показаны) и щелевые сопла 8 для тангенциальной подачи дутьевого воздуха. Внутренняя цилиндрическая поверхность камеры сгорания над колосниковой решеткой теплоизолирована термостойким материалом 9. Для подвода и отвода жидкого теплоносителя смонтированы, соответственно, патрубки 10 и 11. Для

Таблица 1. Характеристика теплогенераторов с горизонтальной осью

Table 1. Characteristics of heat generators with a horizontal axis

| Наименование показателя | Название объекта | | | | |
|--|----------------------------|---|---|---|--|
| | Стендовая установка СибГИУ | Технологический комплекс шахта «Заречная» | Теплогенератор для сушки зерна, пос. Краснообск | Технологический комплекс, г. Черепаново | Установка сжигания ВУТ, г. Забже, Польша |
| Теплопроизводительность, МВт | до 0,25 | 0,66 | 0,25 | 0,56 | 0,25 |
| Расход топлива, кг/ч | до 120 | 190 | 75 | 160 | 65 |
| Низшая теплота сгорания ВУТ, МДж/кг | 10,00 ÷ 14,00 | 12,00 | 11,75 | 12,70 | 13,40 |
| Геометрические размеры топки, м | | | | | |
| диаметр | 1,15 | 1,40 | 1,30 | 2,00 | 1,35 |
| ширина | 0,70 | 1,05 | 0,90 | 1,30 | 0,93 |
| соотношение $d_{по}/D$ | 0,20 | 0,25 | 0,18 | 0,19 | 0,22 |
| Теплонапряжение объема топки, МВт/м ³ | 0,35 | 0,39 | 0,21 | 0,28 | 0,21 |

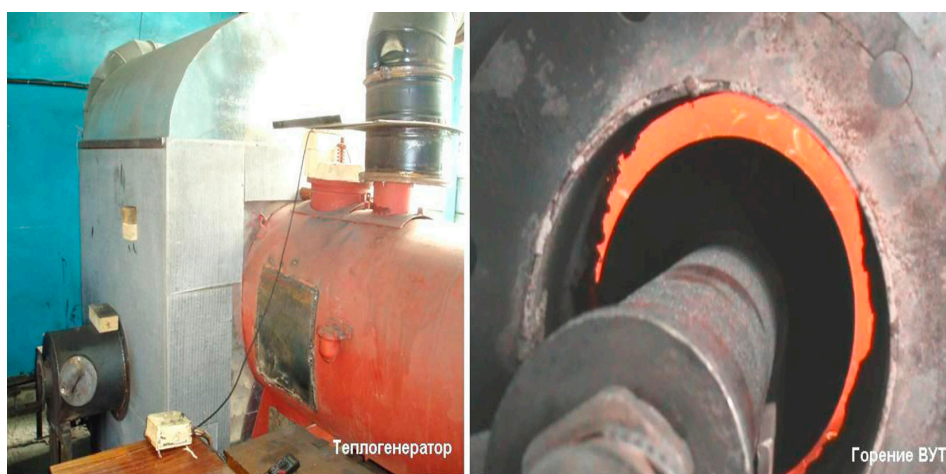


Рис. 1. Теплогенератор

Fig. 1. Heat generator

теплосъема оборудована система теплообмена 12 между горячими продуктами горения и теплоносителем. Корпус котла и система теплообмена связаны газоходом 13. Корпус котла с зольником и система теплообмена установлены на раме 14.

Таблица 2. Характеристика теплогенераторов с вертикальной осью

Table 2. Characteristics of heat generators with vertical axis

| Наименование показателя | Название объекта | |
|--|------------------|--|
| | КВр-0,63ВУТ | Технологический комплекс ОАО «Междуречье» |
| Теплопроизводительность, МВт | 0,65 | 4,5 |
| Расход топлива, кг/ч | 200 ÷ 470 | 1200 ÷ 1400 |
| Низшая теплота сгорания ВУТ, МДж/кг | 12,15–14,25 | 11,72–13,59 |
| Геометрические размеры топки, м | | |
| диаметр | 1,40 | 2,60 |
| высота | 2,00 | 3,00 |
| соотношение $d_{\text{по}}/D$ | 0,28 | 0,36 |
| Теплонапряжение объема топки, МВт/м ³ | 0,21 | 0,23 |

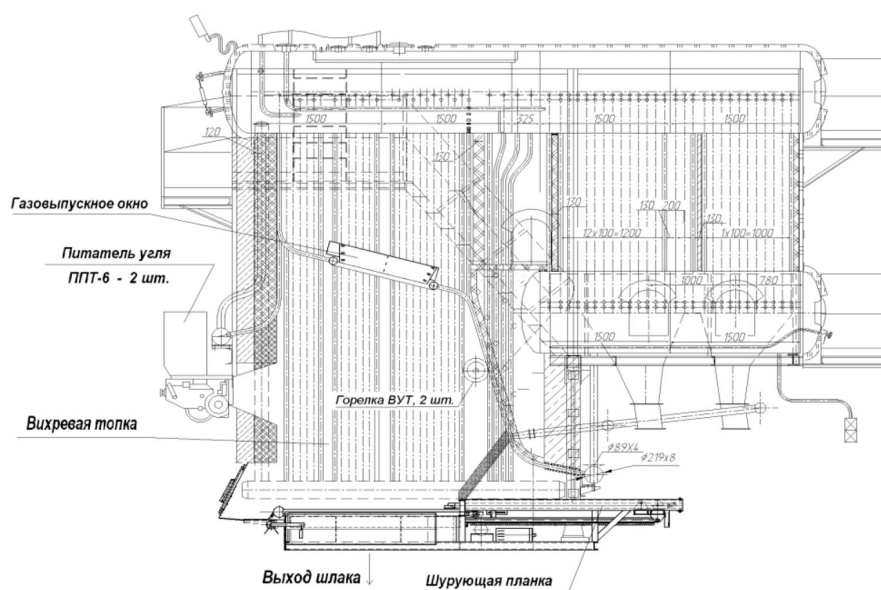


Рис. 2. Котел ДКВР 10–13ВУТ

Fig. 2. DKVR-10–13WCF boiler

Таблица 3. Состав и количество вредных выбросов при сжигании ВУТ

Table 3. Composition and amount of harmful emissions from WCF combustion

| Исходное сырье | ПДК | ВУТ | |
|---------------------------------------|----------|--------------------|----------------------------|
| | | «ОФ ш. Комсомолец» | «ОФ ш. имени С. М. Кирова» |
| Пыль, мг/м ³ | 250 | не более 170 | не более 200 |
| СО, мг/м ³ | 375 | не более 75 | не более 75 |
| NO _x , мг/м ³ | 750 | не более 250 | не более 230 |
| SO ₂ , мг/м ³ | 1200 | не более 200 | не более 200 |
| ПАУ (бенз(а)пирен), мг/м ³ | 0,1·10–3 | менее 0,1·10–3 | |

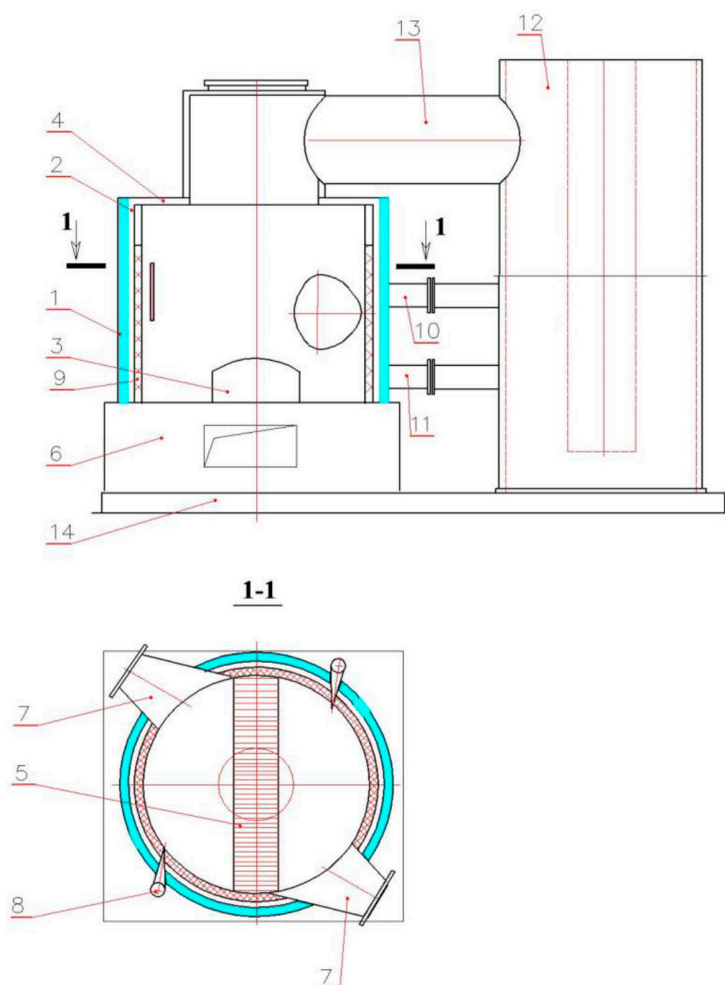


Рис. 3. Конструкция котла КВр-0,63ВУТ

Fig. 3. Design of copper KVR-0,63 CWS

Заключение

Таким образом, в ходе проведенных работ:

- предложена физико-химическая модель горения ВУТ;
- получены результаты разработки конструкций теплогенераторов малой и средней мощности. Вихревые адиабатические камеры сжигания различаются по расположению оси вихревого движения газов в топочном пространстве (горизонтально и вертикально). В зависимости от теплопроизводительности котла вихревая камера либо располагается рядом с котлом (котел является котлом-утилизатором), либо встраивается в топочное пространство котла. Адиабатические вихревые топочные камеры с горизонтальной осью вращения топочных газов были разработаны для котлов с теплопроизводительностью от 0,1 до 0,7 МВт;

- экспериментальные исследования, испытания в опытно-промышленных и промышленных условиях теплогенераторов, работающих на ВУТ, показали их высокую техническую эффективность (мехнедожог составил не более 5 %, к.п.д. котлов 86 %), а количество

вредных выбросов в уходящих газах существенно меньше предельно допустимых значений (в 2–3 раза).

Список литературы / References

- [1] Мурко В. И., Хьямяляйнен В. А., Волков М. А., Баранова М. П. Возможности и перспективы реализации отходов технологии обогащения углей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 2019, 6, 165–172 [Murko V. I., Khyamyalyainen V. A., Volkov M. A., Baranova M. P. The opportunities and prospects for the implementation of non-waste coal preparation technology, *Journal Mountain Information and Analytical Bulletin*, 2019, 6, 165–172 (in Russian)]
- [2] M. Alaa Musalam and Abdel Fattah A. Qaraman. The thermal behavior of the coal-water fuel (CWF). *International Journal of Energy and Environmental Research*, 2016, Vol. 4, No.3, pp. 27–36.
- [3] Baranova M. P., Qian Li, Zhi –Ying Zheng, Feng-Chen Li, Kulagin V. A., Likhachev D. Utilization slurry coal-water fuel., *J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol.*, 2014, 7(4), 474–480 (in Russian)
- [4] Patent No. 2145038. M.cl. F 23 Q 5/00. Method of Combustion and Combustion Stabilization of the Water-Coal Fuel in the Settling Chamber (in Russian). – No. 97120914/06.
- [5] Murko V, Karpenok V, Fedyayev V and Chernykh D Results of tests of a fuel additive on a coal-fired boiler, *Journal of SFU*, 2017, 10 (8), 474–480 (in Russian)
- [6] Murko V. I., Khyamyalyainen V. A. and Baranova M. P. The Creation of a Low-Capacity Boiler Plant on Coal-Enrichment Waste, 2019, *International Science and Technology Conference “EastConf”*, Vladivostok, Russia, 2019, 1–4. doi: 10.1109/EastConf.2019.8725397
- [7] Murko V., Baranova M., Grishina I The intensification of the solid fuel grate-firing process. *J. Phys.: Conf. Ser.*, V. 1261, 2019, 012024.
- [8] Проэнергомаш [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.pem-energo.ru – Заглавие с экрана. [Proenergomash [Electronic resource] – Access: www.pem-energo.ru
- [9] Karpenok V. I., Murko V. I., Mastikhina V. P., Loboda Yu. A. Thermodynamic and chemical analysis of water-coal fuel ignition and combustion in adiabatic combustion chamber, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol.*, 2021, 14(4), 385–398.