

# Сжигание несортированных углей в псевдосжиженном слое

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-86-93>

## ВАВИЛОВ В.И.

Канд. техн. наук, доцент  
кафедры строительного дела  
Технического института (филиала) ФГАОУ ВО  
«Северо-Восточный федеральный университет  
имени М.К. Аммосова»,  
678960, г. Нерюнгри, Россия

## КОСАРЕВ Л.В.

Канд. техн. наук, доцент  
кафедры строительного дела  
Технического института (филиала) ФГАОУ ВО  
«Северо-Восточный федеральный университет  
имени М.К. Аммосова»,  
678960, г. Нерюнгри, Россия,  
e-mail: leonid\_kossarev@mail.ru

Рассматривается проблема сжигания углей с большим содержанием пылевидных фракций в котлах малой тепловой мощности в суровых условиях Крайнего Севера. Предложены новые технические решения по переустройству существующих топочных устройств в водогрейных котлах, которые будут снижать механический недожог сгорания и выбросы вредных веществ в атмосферу. Для решения данной проблемы также есть предложения Правительства РФ о последовательном вытеснении части объемов некачественного твердого топлива из сферы «малой энергетики» – отрасли ЖКХ на территории Дальнего Востока путем его замены предпочтительно на газообразное. Учитывая, что это процесс долговременный и трудозатратный, в данный период и в последующие годы в отрасли ЖКХ придется сжигать такое твердое топливо, поэтому без внедрения рационализаторских и технических решений по улучшению топочных процессов не обойтись. В данное время в топливный баланс Республики Саха (Якутия) и территории БАМа вовлечены дешевые угли восточных месторождений, в частности Нерюнгринского, которые, как правило, поставляются в отрасль ЖКХ с большим содержанием пылевидных фракций размером частиц от 0 до 3 мм в объеме 40-50% и более. При использовании таких фракции угля горение в слоевой топке разбалансировано, а КПД котлов не превышает минимальных 45-55%. Уходящие дымовые газы котлов активно выбрасывают в атмосферу несгоревшие твердые частицы и большой объем вредных веществ, что приводит к ухудшению окружающей среды северных территорий.

**Ключевые слова:** энергетическая политика, пылевидные фракции, механическая неполнота сгорания, кратерное горение, вредные выбросы в атмосферу.

**Для цитирования:** Вавилов В.И., Косарев Л.В. Сжигание несортированных углей в псевдосжиженном слое // Уголь. 2024. № 1. С. 86-93. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-86-93.

## ВВЕДЕНИЕ

Текущие прогнозы предполагают, что во многих европейских странах существуют огромные возможности для эффективного использования тепловой энергии, снижающие общие экономические издержки методом внедрения передовых технологий в сфере сжигания твердого топлива [1].

В целях получения тепловой энергии в процессе сжигания несортированных углей, в объеме которых пылевидные частицы составляют более 40%, такое твердое топливо не соответству-

ет слоевому сжиганию. Отсутствует полное сгорание, теплоснабжающие предприятия несут большие убытки, хозяйственные показатели не позволяют качественно решать данную проблему, большая часть из них на грани банкротства. Есть единичные предприятия, которые пытаются реализовать свои мероприятия по усовершенствованию процессов горения собственными силами, но в основном приходится заключать договоры с подрядными организациями по режимной наладке котлоагрегатов. Результаты таких режимных наладок дают незначительный эффект, поднимают КПД котла на величину не более 6%. Для того чтобы получить существенный результат в работе котлоагрегатов и добиться паспортных значений, необходимо кардинально менять организацию топочного процесса на других конструктивных принципах топочных устройств.

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уголь с содержанием пылевидных фракций в объеме 40-50% и более в процессе подачи в топочное пространство топки ТЧЗМ-2 котла КВ-ТС-10 самопроизвольно сепарируется и сбивается в плотные бугры [2]. По мере накопления уголь спрессовывается в плотный слой и тем самым препятствует полноценному гидродинамическому процессу, то есть качественному смесеобразованию. Такое неравномерное распределения угля по высоте слоя на решетке способствует развитию кратерного горения, что в свою очередь способствует локальному прогоранию колосников. Горящий уголь проваливается в прогоревших местах в зоны дутья, активно там горит и нередко за счет высокой температуры деформирует не только раму топки, но и задний вал, в связи с этим приходится останавливать котел и выводить его из работы. Капитальный ремонт топочного устройства ТЧЗМ-2 с заменой дорогостоящих узлов и деталей обходится в большие трудозатраты [3].

Необходимо отметить, что в данный период в «малой энергетике» применяется множество технологий подготовки и сжигания угля. Практический интерес представляют технологии, сочетающие в себе как высокую экономическую эффективность, так и высокую экологическую чистоту. К таким технологиям следует отнести в том числе и технологию сжигания угля в псевдосжиженном – кипящем слое.

Для снижения нагрузки на окружающую среду и повышения КПД котлов авторы предложили и реализовали новые технические решения по месту эксплуатации котлоагрегата в пос. Куранах Алданского улуса, Республика Саха (Якутия), в центральной отопительной котельной КВ-ТС-10. Новое топочное устройство условно назвали «ТУ-3М», оно в процессе работы выполняет все три механические операции. Вместо подвижного колосникового полотна ТЧЗМ-2 смонтировали неподвижную колосниковую решетку, в которой вместо колосников – сопла. Сопла особой конструкции имеют разное назначение: для зоны активного горения и зоны догорания (рис. 1). Такая конструкция колосниковой решетки топочного устройства «ТУ-3М» с соплами для первичного воздуха с давлением под решеткой 45-50 мм вод. ст. обеспечивает процесс горения в псевдосжиженном – кипящем слое [4].

На базе штатного топочного устройства ТЧЗМ-2 котла КВ-ТС-10 выполнена замена топки на разработанную топку «ТУ-3М», которая выполняет не две, а три механические операции, что определяет 100%-ную степень механизации топочного процесса.

Первая операция – подача угля осуществляется штатным механическим устройством, пневмомеханическим питателем твердого топлива марки ПМЗ-600.

Вторая операция – удаление очаговых остатков шлака из топочной камеры осуществляется шурующей планкой, которая сбрасывает его в гидроканал, и далее штатная система – скреперная установка удаляет шлак в накопительный бункер.

Третья операция – шурование слоя топлива на решетке обеспечивает эффективный гидродинамический процесс и удаление прогоревших очаговых остатков. Топочное устройство «ТУ-3М», разработанное авторами в процессе работы, показало эффективные теплотехнические и эксплуатационные характеристики при максимальной тепловой нагрузке. КПД котлоагрегата уверенно достигал значений 72-75%.

Эффективный процесс горения с топкой «ТУ-3М» обеспечивается острым дутьем первичного воздуха под решетку и многофункциональной работой шурующей планки. Движение планки выполнено только в одном направлении, что позволяет разрыхлять довольно высокий слой топлива (150 мм), происходят качественное выравнивание

слоя топлива по всей площади зеркала горения и удаление прогоревших очаговых остатков в гидроканал. По каналу скреперная установка перемещает их в бункер-накопитель с последующим удалением за пределы теплоисточника. Период прохождения и скорость шурующей планки регулируются машинистом котла по мере тепловой нагрузки котлоагрегата, а именно в соответствии с температурным графиком работы котельной в целом [5].

Топочное устройство «ТУ-3М» рекомендуется устанавливать с водогрейными котлами типа КВ-ТС-4,0;

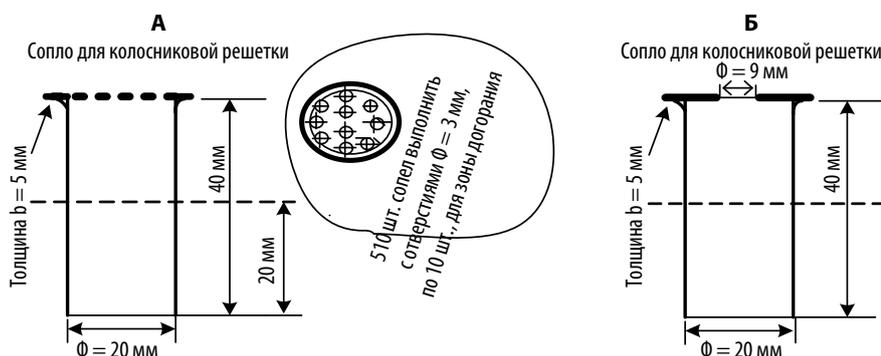


Рис.1. Сопла «А» для зоны догорания, сопла «Б» для зоны активного горения

Fig.1. Nozzles Type "A" for the final combustion zone, nozzles Type "B" for the active combustion zone

КВ-ТС-6,5; КВ-ТС-10 с тепловой производительностью от 4 до 10 Гкал/ч.

Конструктивное исполнение топки, схема подачи твердого топлива, дутьевого воздуха под решетку и работа шурящих планок с приводом представлены на рис. 2, 3.

При внедрении новых технических решений использовался комплексный подход, основанный на экспериментальных исследованиях и сравнительных анализах экологической и теплотехнической эффективности работы технического устройства топки «ТУ-3М» с водогрейным котлом КВ-ТС-10. В процессе сжигания низкосортного угля в предлагаемом устройстве топочные процессы проходят максимально эффективно, обеспечивают стабильный процесс горения на всех режимах тепловой нагрузки.

При максимальной тепловой производительности котла значение КПД соответствует численному значению не ниже 75% с существенным снижением вредных выбросов в окружающую среду. Экспериментальные результаты влияния эффективной работы шурящей планки на распределение фракций угля по зеркалу горения в активной зоне представлены в табл. 1, 2. Из табл. 1, 2 следует, что после прохождения планки существенно меняется соотношение крупных и мелких фракций угля.

Такое распределение фракций угля на колосниковой решетке способствует стабильному высокотемпературному горению независимо от возможного попадания с массой угля комков снега. На всех северных территориях, да и на территории БАМа, объекты теплоснабжения не имеют оборудованных закрытых складов и площадок для хранения и складирования угля, за некоторым исключением оборудованы навесы только над приемными решетками системы топливоподдачи.

При внедрении неподвижной колосниковой решетки «ТУ-3М» с соплами для дутья первичного воздуха активная площадь горения решетки составляет  $F = 7,48 \text{ м}^2$ , которая состоит из 46 рядов и в каждом ряду по 80 штук сопел диаметром 9 мм. Отношение активной площади горения колосниковой решетки к площади прозоров-сопел составляет живое сечение  $n = 3,07\%$ , что обеспечивает острое дутье с достаточно полным проникновением на всю высоту слоя топлива  $h = 150-170 \text{ мм}$ . В процессе витания частиц топлива вверх и вниз происходит активное реагирование всей площади частицы с воздухом, что обеспечивает максимальное выгорание. На максимальной нагрузке работы котла и топки

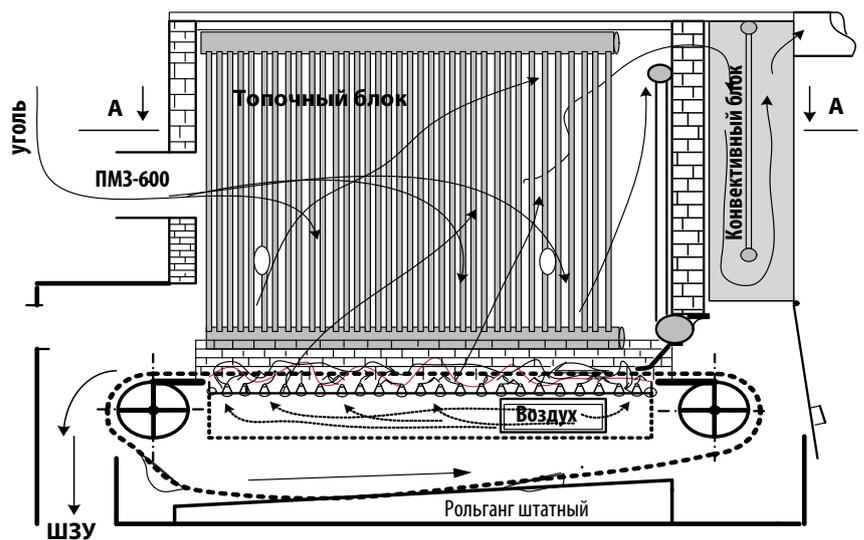
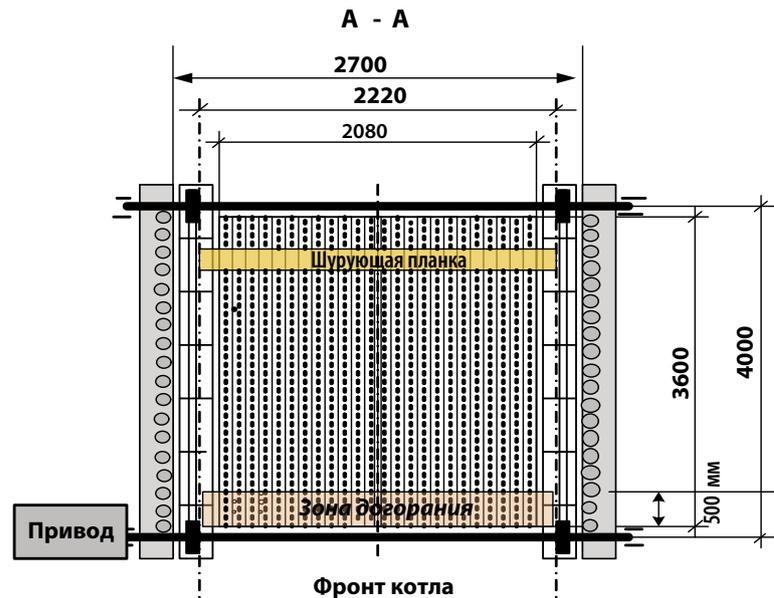


Рис. 2. Схема подачи топлива, дутьевого воздуха и работы шурящих планок  
Fig. 2. Schematic diagram of the fuel and blast air supply and operation of poking bars



46 рядов, в каждом ряду по 80 сопел,  $\Phi = 9 \text{ мм}$ ,  
итого сопел  $N = 3680 \text{ шт.}$ , живое сечение решетки – 3,07%

Рис. 3. Привод шурящими планками

Fig. 3. Drive by poking bars

слой топлива в топочной камере увеличивается в объеме в полтора-два раза, надслойное температурное ядро приобретает соломенный цвет, что характеризует процесс горения в активной фазе с температурой горения  $950-980^\circ\text{C}$ . При переменных тепловых нагрузках котлоагрегата изменения температуры в топочном пространстве от высоты слоя топлива представлены на графике (рис. 4).

Топка «ТУ-3М» изготавливается в основном из аналогичных деталей топочного устройства ТЧЗМ-2 и части материалов, которые не требуют специального изготовления и доставки на объект монтажа. Устройство шурящей планки

Таблица 1

**Результаты распределения фракций угля в слое до начала прохода шурующей планки**

Results of the coal fractions distribution in the layer before the start of the poking bar passing

Класс крупности, мм	Проба 3, %	Проба 2, %	Проба 1, %	Объем мелких фракций угля в зоне активного горения, %	Объем крупных фракций угля в зоне активного горения, %
0–6	65,25	62,25	63,50	63,66	–
6–13	22,25	24,00	24,00	–	23,42
13–25	7,40	8,00	7,50	–	7,6
25–40	5,10	5,75	5,00	–	5,3
Итого	–	–	–	63,66	36,3

Таблица 2

**Результаты распределения фракций угля в слое после прохождения шурующей планки**

Results of the coal fractions distribution in the layer after the poking bar passing

Класс крупности, мм	Проба 3, %	Проба 2, %	Проба 1, %	Объем мелких фракций угля в зоне активного горения, %	Объем крупных фракций угля в зоне активного горения, %
0–6	18,00	35,00	37,00	30,0	–
6–13	26,00	18,00	11,50	–	18,5
13–25	29,50	23,00	23,00	–	25,2
25–40	26,50	24,00	28,50	–	26,3
Итого	–	–	–	30,0	70,05

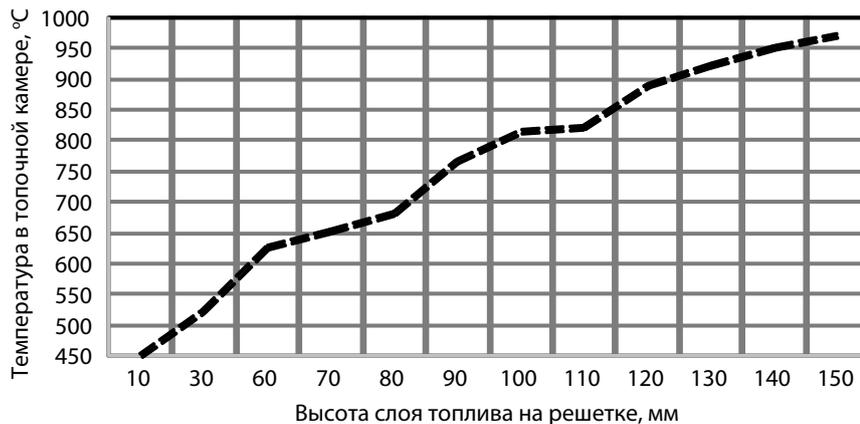


Рис. 4. Изменение температуры от высоты слоя топлива на колосниковой решетке топочно устройства «ТУ-3М» в кипящем слое

Fig. 4. Temperature changes depending on the height of the fuel layer in the fluidized bed on the grate of the TU-3M furnace

состоит из трех стяжных валиков (бимса) диаметром 22 мм, длиной 2220 мм, собирается из жаропрочного чугуна среднего держателя б/у. Планка набирается в следующей последовательности: три держателя со спиленной ножкой, следующий целый и так далее (рис. 5). Всего три шурующей планки монтируются на штатных приводных цепях: первой и последней – седьмой, которые приводятся в движение штатным приводом решетки ТЧЗМ-2-2,7/4,0. При проходе

шурующей планки сквозь слой горящего топлива возможны незначительные динамические нагрузки на планку (деформация-прогиб), поэтому предусмотрена промежуточная скользящая опора, которая монтируется по центру колосниковой решетки из чугунных держателей (средний) (см. рис. 3).

Штатное вспомогательное оборудование котла КВ-ТС-10, которым был укомплектован котел: тягодутьевая установка (дутьевой вентилятор и дымосос); механический питатель угля (ПМЗ-600), осуществляющий подачу топлива в топку; штатная скреперная установка для удаления очаговых остатков (шлака) из топки, а также приборы контроля, учета и регистрации, используются в полном объеме с предлагаемым топочным устройством «ТУ-3М».

При работе котла с переменными тепловыми нагрузками скорость движения шурующих планок по мере надобности машинистом котла настраиваются посредством потенциометра с пульта управления штатного привода колосниковой решетки. Скорость шурующих планок при максимальной тепловой нагрузке котла составляет  $V = 15$  м/ч, то есть каждые 15-18 мин планка проходит по всей длине колос-

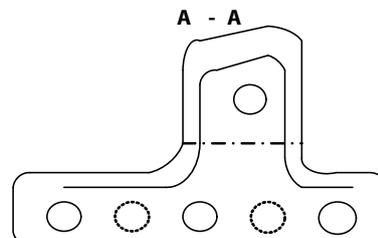
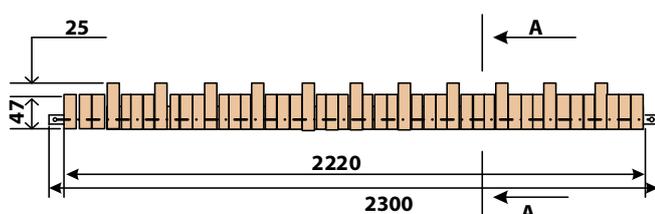


Рис. 5. Шурующая планка топочно устройства «ТУ-3М»

Fig. 5. A poking bar of the TU-3M furnace

никовой решетки, это 3,6 м. На выходе из топочного пространства планка сбрасывает шлак в шлаковый бункер и далее движется по холодной зоне, через 35-40 мин планка возвращается в топку и так далее, меняя друг друга.

При температурном воздействии в процессе нахождения в топочном пространстве нагрев планок происходит в допустимых значениях и не требует дополнительного охлаждения.

В водогрейных котлах серии КВ-ТС компоновка топочных и конвективных блоков изготавливается по схеме, где площадь топочных панелей существенно больше, чем площадь конвективной части котла. В связи с этим процесс горения необходимо проводить в развитом по высоте слое топлива. Топочное устройство «ТУ-3М» обеспечивает высоту слоя топлива на колосниковой решетке до 150-170 мм [6].

Горение на решетке топочного устройства ТЧЗМ-2 котла КВ-ТС-10 происходит в тонком слое, толщина которого устанавливается (при режимной наладке котла) в зависимости от сорта топлива и тепловой нагрузки котла, но не более 30-70 мм, поэтому в таких топках не предусмотрено шурование слоя топлива. Топки ТЧЗМ-2 с такой организацией топочного процесса более рационально работают с паровыми котлами, у которых площадь нагрева конвективных блоков в разы больше топочных блоков. С водогрейными котлами, особенно при сжигании некачественных углей в тонком слое, котел технологически не может обеспечить расчетные температурные параметры теплоносителя.

Как установлено из опытов по разделению фракций топлива в кипящем слое, сопротивление активной площади горения распределяется равномерно по колосниковой решетке, что исключает предпосылки для появления кратерного горения. Под решеткой давление от 55 до 60 мм вод. ст. способствует переходу процесса горения топлива в состояние кипящего слоя с последующей устойчивой стабилизацией давления под решеткой в диапазоне 40-47 мм вод. ст.

Такие значения параметров давления воздуха обеспечивают интенсивность дутья, превышающую предел устойчивости плотного слоя, и переход процесса горения в активную фазу, т.е. состояние горения в кипящем слое (рис. 6).

В топочном устройстве «ТУ-3М» для улучшения процесса горения, а именно для эффективного сжигания пылевидных частиц топлива, выполнен монтаж штатной системы – возврат уноса парового котла КЕ-10. Систему «возврат уноса» переформатировали в систе-

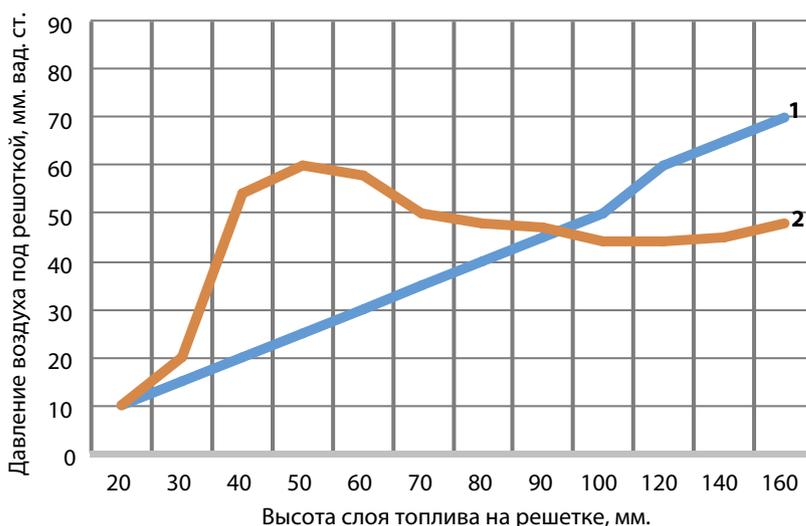


Рис. 6. Зависимость давления под решеткой и высоты слоя топлива на решетке «ТУ-3М» при горении угля в кипящем слое

Fig. 6. Dependence of the pressure below the grate and the height of the fuel layer on the grate of the TU-3M furnace during the coal combustion in the fluidized bed

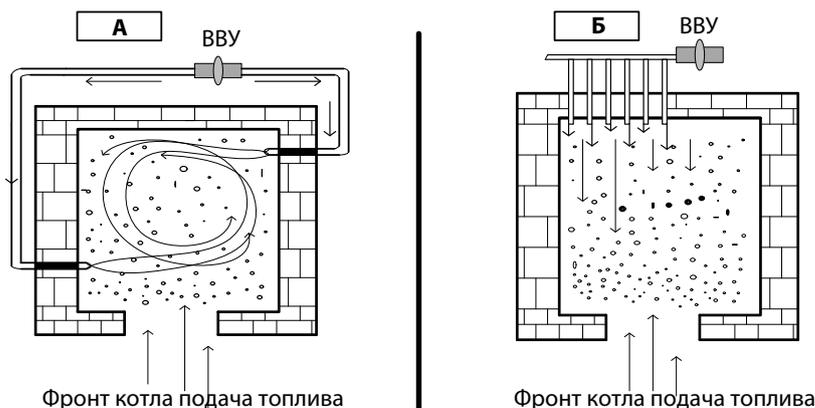


Схема реконструкции вторичного дутья топочной камеры с топкой – «ТУ-3М», котла КВ-ТС-10. ВВУ – штатный вентилятор возврата уноса:  
**А – после реконструкции; Б – заводской вариант**

Рис. 7. Система организации вторичного дутья в топочной камере водогрейного котла КВ-ТС-10 с топкой «ТУ-3М»

Fig. 7. The system of secondary blast assembled in the TU-3M furnace chamber of the KV-TS-10 water-heating boiler

му дутья вторичного воздуха. Воздух в топочную камеру подается по схеме тангенциального движения, что обеспечивает циклонные вихри в топке, такой процесс способствует практически полному выгоранию пылевидных фракций (рис. 7).

Наибольшие затруднения у работников «малой энергетики» вызывает решение проблемы сокращения выбросов в атмосферу оксидов азота (NOx), поскольку оксиды азота в дымовых газах содержатся при любой тепловой нагрузке котла. Данные фактической массы выбросов вредных веществ на единицу тепловой энергии при сжигании топлива с большим содержанием пылевидных фракций для сравнительного анализа приведены с топочными устройствами ТЧЗМ-2 и «ТУ-3М» в табл. 3.

**Величина удельных вредных выбросов при работе котла KB-TC-10 с топочным устройством «ТУ-3М» и «ТЧЗМ-2» и с тангенциальным дутьем вторичного воздуха**

The value of specific harmful emissions during operation of the KV-TS-10 boiler with the TU-3M and TCHZM-2 furnaces and with tangential secondary air blast

Топливо (уголь) и топочное устройство	*NO <sub>x</sub> (0,31 кг/Гкал)	*CO (50,6 кг/Гкал)	*SO <sub>x</sub> (1,9 кг/Гкал)	*Твердые частицы, (1 кг/Гкал)
Нерюнгринский уголь ( $S = 0,4\%$ , $N = 0,8\%$ ), процесс сжигания в топке «ТУ-3М», кг/Гкал	0,39	62,8	1,05	1,25
Нерюнгринский уголь ( $S = 0,4\%$ , $N = 0,8\%$ ), процесс сжигания в слоевой топке (ТЧЗМ-2), кг/Гкал	0,59	93,8	1,4	2,15

\* Условный норматив в кг вредных выбросов на единицу тепловой энергии.

Из табл. 3 следует, что токсичные составляющие уходящих газов в котле, работающем с топкой «ТУ-3М», при сжигании угля с большим содержанием пылевидных фракций уменьшаются существенно. До получения нормативных значений необходимо котельную оснащать современными улавливающими устройствами по тракту топочных газов, в данный период такая модернизация котельной сопряжена с большими капитальными затратами.

На основании проведенных практических исследований процесса горения в кипящем слое топки «ТУ-3М» установлено, что такое горение способствует снижению концентрации кислорода и окиси азота. Эти результаты служат достаточным основанием для вывода, что работа топки «ТУ-3М» и котла в целом достаточно эффективна и соответствует тем результатам, которые были заложены авторами статьи в расчетах при проектировании устройства (рис. 8).

Таким образом, новые технические решения позволяют приблизиться к глобальным климатическим целям, установленным международными повестками дня [7, 8, 9, 10, 11, 12].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты исследования, анализирующие ряд проблем, характерных для слоевых топок (ТЧЗМ-2 и ТЛЗМ-2) Кузинского машиностроительного завода, которые установлены на водогрейных котлах малой и средней мощности.

В статье показано, что конструктивные элементы этих топок не способствуют эффективному сжиганию сильно пылящих углей, особенно с водогрейными котлами. При сжигании низкосортных углей по фракционному составу в слоевых топках образуется механический недожог в объеме 45% и более. Отмечено, что разработанное авторами статьи новое топочное устройство «ТУ-3М», конструкция которого успешно эксплуатируется на теплоснабжающем предприятии пос. Куранах Алданского улуса, Республика Саха (Якутия), и на территории БАМа,

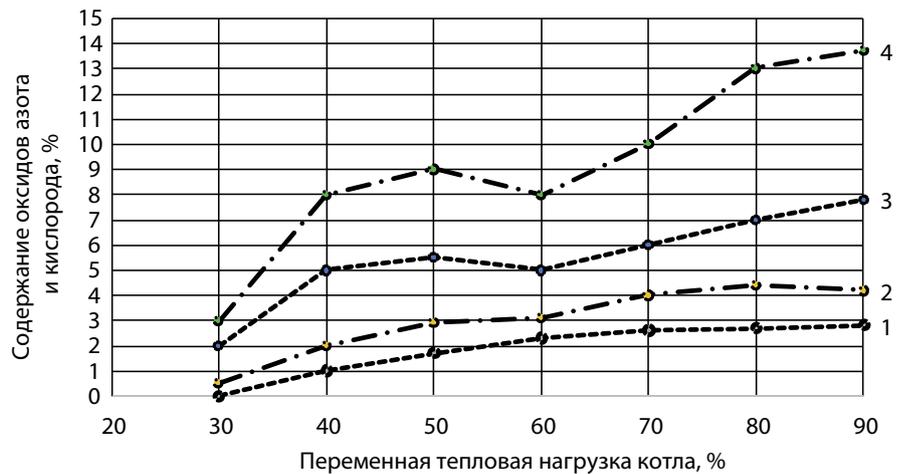


Рис. 8. Зависимость содержания оксидов азота и кислорода в уходящих газах от вида топочных устройств: 1 – топка «ТУ-3М», оксиды азота, 2 – топка ТЧЗМ-2, оксиды азота, 3 – кислород с топкой «ТУ-3М», 4 – кислород с топкой ТЧЗМ-2

Fig. 8. Dependences of the content of nitrogen oxides and oxygen in the flue gases in different furnaces: 1 – TU-3M furnace, nitrogen oxides, 2 – TChZM-2 furnace, nitrogen oxides, 3 – TU-3M furnace, oxygen, 4 – TChZM-2 furnace, oxygen

обеспечивает теплотехнические и эксплуатационные характеристики, заложенные в расчетных значениях, в полном объеме.

Сжигание низкосортного твердого топлива Нерюнгринского месторождения в топке «ТУ-3М» осуществляется в режиме кипящего слоя [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

В конструкции топки «ТУ-3М» смонтирована схема вторичного дутья в топочное пространство, такая схема с тангенциальным дутьем при сжигании низкосортного топлива способствует снижению его расхода на 2,5-3,0% и дожиганию твердых частиц в газоздушном потоке на 10-15%. Новая конструкция топки «ТУ-3М» позволяет более эффективно осуществлять нагрев воды за счет полного сгорания топлива, что существенно уменьшает механический недожог и, следовательно, сокращает вредные выбросы в атмосферу.

### Список литературы

1. Lebot B., Weiland M. Policies and Programs Critical for Greater Energy Efficiency // Economic Policy. Vol. 15. No 2. P. 148-167.
2. Белосельский Б.С., Соляков В.К. Энергетическое топливо. М.: Энергия, 1980. 168 с.

3. Галкин В.И., Куликов В.Е. Эксплуатация и ремонт котельных установок: Учебное пособие для техникума. М: Энергоатомиздат, 1983. 240 с.
4. Сидоров А.М. Разработка и исследование топок и котлов с низкотемпературным кипящим слоем: дис. ... канд. техн. наук. Барнаул: АлтГТУ, 2002. 195 с.
5. Пузырев Е.М. О распределении параметров в топках с кипящим слоем. В сб.: Теплоэнергетика электрических станций и промышленных установок. Томск: Изд-во ТЛИ, 1981. С. 69-73.
6. Семенов Н.А., Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. М: Энергоатомиздат, 1960. 95 с.
7. Cornelis M. Energy Efficiency, the Overlooked Climate Emergency Solution // *Economic Policy*. 2020. Vol. 15. No 2. С. 48-68.
8. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the Establishment of a Carbon Border Adjustment Mechanism. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://eurlex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0564> (дата обращения: 15.12.2023).
9. Tudor C., Sova R. Benchmarking GHG Emissions: Forecasting Models for Global Climate Policy // *Electronics*. 2021. No 10. 3149.
10. Вавилов В.И., Катин В.Д. Модернизация действующих котлоагрегатов с целью оптимизации горения и сокращения вредных выбросов в атмосферный воздух / Труды Региональной научно-техн. конф. ДВГУПС. Хабаровск: ДВГУПС, 2006. Т. 2. С. 163-166.
11. Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Опыт и практика. М.: Энергоатомиздат, 1983. 208 с.
12. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). М.: Энергия, 1973. 295 с.
13. Комплексные районные тепловые станции. Концепция. / В.Е. Нагоряков, С.В. Алексеенко, А.С. Басин и др. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 1996. 15 с.
14. Пузырев Е.М. Организация топочного процесса в кипящем слое. Обзорная информация. М.: ЦДИИТЭИтяжмаш, 1990. Вып. 12. 36 с.
15. Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем. М.: Энергоатомиздат, 1996. 352 с.
16. Применение котлов ЦКС для замены устаревших пылеугольных котлов / Г.А. Рябов, Е.Н. Толчинский и др. // Теплоэнергетика. 2000. №8. С.14-19.
17. Саломатов В.В. Парогенератор с циркулирующим кипящим слоем в составе экологически перспективной ТЭЦ. В сб. Теплоэнергетика. Физико-технические проблемы, новые технологии. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. С. 202-225.
18. Теория топочных процессов / Г.Ф. Кнорре, К.М. Арефьев, А.Г. Блох и др. М.-Л.: Энергия, 1966. 491 с.
19. Поведение топливных частиц и формирование уноса в кипящем слое / Е.М. Пузырев, Г.П. Пронь и др. В сб. «Теплоэнергетика электрических станций и промышленных установок». Томск: Изд-во ТПИ, 1981. С. 62-68.

## Original Paper

UDC 622.481.24:697.326:622.85 © V.I. Vavilov, L.V. Kosarev, 2024  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 1, pp. 86-93  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-86-93>

## Title

## INCINERATION OF UNSORTED COALS IN FLUIDIZED BED

## Author

Vavilov V.I.<sup>1</sup>, Kosarev L.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Neryungri, 678960, Russian Federation

## Authors Information

**Vavilov V.I.**, PhD (Engineering), Associate Professor at the Department of the Civil Engineering

**Kosarev L.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor at the Departments of the Civil Engineering, e-mail: [leonid\\_kosarev@mail.ru](mailto:leonid_kosarev@mail.ru)

## Abstract

The problem of burning coals with a large content of dust fractions in boilers of low thermal capacity in the harsh conditions of the Far North is considered. New technical solutions have been proposed for the reconstruction of existing combustion devices in hot water boilers, which will reduce mechanical combustion failure and emissions of harmful substances into the atmosphere. To solve this problem, there are also proposals from the Government of the Russian Federation to consistently displace part of the volume of low-quality solid fuel from the sphere of "small energy" – the housing and communal services industry in the Far East, by replacing it preferably with gas. Considering that the process is long-term and labor-intensive, in this period and in subsequent years, such solid fuel will have to be burned in the housing and communal services industry, therefore, one cannot do without the introduction of rationalization and technical solutions to improve furnace processes. Currently, the fuel balance of the Republic of Sakha (Yakutia) and Baikal-Amur Railway area involves cheap coals from eastern deposits, in particular Neryungrinsky deposit, which, as a rule, are supplied to the housing and communal services industry with a high content of dust fractions with particle sizes from 0 to 3 mm, in the amount of 40-50% or more. When using

such coal fractions, combustion in the layer furnace is unbalanced, and the efficiency of boilers does not exceed the minimum 45-55%. The outgoing flue gases of boilers actively emit unburned solid particles and a large volume of harmful substances into the atmosphere, which leads to a deterioration in the environment of the Northern Territories.

## Keywords

Energy policy, Dust fractions, Mechanical incompleteness of combustion, Crater combustion, Harmful emissions into the atmosphere.

## References

1. Lebot B. & Weiland M. Policies and Programs Critical for Greater Energy Efficiency. *Economic Policy*, 2020, Vol. 15, (2), pp. 148-167.
2. Beloselsky B.S. & Solyakov V.K. Power fuel. Moscow, Energy Publ., 1980, 168 p. (In Russ.).
3. Galkin V.I. & Kulikov V.E. Operation and repair of boiler plants. Textbook for vocational schools. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 240 p. (In Russ.).
4. Sidorov A.M. Development and research of furnaces and boilers with low temperature fluidized bed. Cand. eng. sci. diss., Barnaul, Altai State Technical University Publ., 2002, 195 p. (In Russ.).
5. Puzyrev E.M. On distribution of parameters in furnaces with fluidized bed. In collected works: Heat power engineering of electric power plants and industrial installations, Tomsk, TPI Publ., 1981, pp. 69-73. (In Russ.).
6. Semenenko N.A., Sidelkovsky L.N. & Yurenev V.N. Industrial boiler plants. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1960, 95 p. (In Russ.).

7. Cornelis M. Energy Efficiency, the Overlooked Climate Emergency Solution. *Economic policy*, 2020, Vol. 15, (2), pp. 48-68.
8. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the Establishment of a Carbon Border Adjustment Mechanism. [Electronic resource]. Available at: <https://eurlex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0564> (accessed 15.12.2023). (In Russ.).
9. Tudor C. & Sova R. Benchmarking GHG Emissions: Forecasting Models for Global Climate Policy. *Electronics*, 2021, (10), 3149.
10. Vavilov V.I. & Katin V.D. Upgrading of operating boiler units in order to optimize combustion and reduce harmful emissions into the atmosphere. Proceedings of the Regional Scientific and Technical Conference, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, DVGUPS Publ., 2006, Vol. 2, pp. 163-166. (In Russ.).
11. Efficient use of fuel and energy resources. Experience and practice. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 208 p. (In Russ.).
12. Thermal calculation of boiler units (normative method). Moscow, Energia Publ., 1973, 295 p. (In Russ.).
13. Nakoryakov V.E., Alekseyenko S.V., Basin A.S. et al. Integrated district heating plants. A concept. Novosibirsk, Institute of Thermophysics of the SB of RAS Publ., 1996, 15 p. (In Russ.).
14. Puzyrev E.M. Management of burning process in a fluidized bed. An overview. Moscow, TsDIITeltyazhmash Publ., 1990, Issue 12, 36 p. (In Russ.).
15. Baskakov A.P., Matsnev V.V. & Raspopov I.V. Boilers and furnaces with fluidized bed. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1996, 352 p. (In Russ.).
16. Ryabov G.A., Tolchinsky E.N. et al. Application of boilers with circulating fluidized bed to replace the obsolete pulverized-coal fired boilers. *Teploenergetika*, 2000, (8), pp. 14-19. (In Russ.).
17. Salomato V.V. Steam generator with circulating fluidized bed as a part of ecologically perspective Central Heating and Power Plant. In collected works: Thermal Power Engineering. Physical and engineering challenges, new technologies. Novosibirsk, NGTU Publ., 2001, pp. 202-225. (In Russ.).
18. Knorre G.F., Arefiev K.M., Blokh A.G. et al. Theory of the burning processes. Moscow-Leningrad, Energia Publ., 1966, p. 491 (In Russ.).
19. Puzyrev E.M., Pron G.P. et al. Behavior of fuel particles and formation of fly ashe in the fluidized bed. In collected works: Heat power engineering of electric power plants and industrial installations, Tomsk, TPI Publ., 1981, pp. 62-68. (In Russ.).

**For citation**

Vavilov V.I. & Kosarev L.V. Incineration of unsorted coals in fluidized bed. *Ugol*, 2024, (1), pp. 86-93. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-86-93.

**Paper info**

Received September 25, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted December 7, 2023

## Страны АТР остаются лидерами по темпам строительства угольных ТЭС

**Глобальная мощность строящихся угольных тепловых электростанций (ТЭС) к июлю 2023 г. достигла 204,2 гигаватта (ГВт), из них 193,5 ГВт приходилось на пять стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) – Китай, Индию, Индонезию, Бангладеш и Вьетнам. Такие данные приводит Global Energy Monitor в обновленной статистической сводке о развитии инфраструктуры угольной генерации.**

Доля этих стран в общей структуре мощности строящихся угольных ТЭС к июлю 2023 г. достигла 94,8%; еще 0,8% (1,6 ГВт) приходилось на ЮАР, тогда как доля всех прочих государств составила лишь 4,4% (9,1 ГВт). В результате первая «шестерка» наполовину состояла из стран, являющихся крупными производителями угля: к их числу относится Китай, обеспечивший в прошлом году 49% глобального производства энергетического угля (3 561 млн т из 7 221 млн т), а также Индонезия и ЮАР, на долю которых в 2022 г. приходился 51% общемирового экспорта энергетического угля (538 млн т из 1045 млн т, согласно данным Международного энергетического агентства, МЭА).

При этом Китай в ближайшие годы планирует сократить зависимость от импорта угля. Косвенно об этом свидетельствует динамика капиталовложений в развитие угледобычи: если в 2018 г. инвестиции в добычу угля в КНР составили 55 млрд дол. США, то в 2022 г. их объем увеличился до 96 млрд дол., а по итогам 2023 г. он достигнет 105 млрд дол., согласно прогнозу МЭА. Одновременно с этим Китай постепенно сокращает инвестиции в строительство угольных ТЭС: в 2018 г. на их сооружение в КНР

ушло в общей сложности 36 млрд дол. США, тогда как в 2023 г. этот показатель снизится до 19 млрд дол. США. Это будет играть на торможение угольного импорта в КНР, тем более что страна является мировым лидером по развитию ВИЭ: в 2022 г. на долю КНР пришлось 46% глобального ввода ветровых и солнечных генераторов (123 ГВт из 266 ГВт, согласно данным Международного агентства по ВИЭ).



Помимо наличия собственного сырья в странах – операторах угольных ТЭС на торможение глобальной торговли углем будет играть и технологический сдвиг в угольной электрогенерации. Речь идет о распространении так называемых ультрасверхкритических угольных ТЭС, КПД которых составляет от 44% до 46% (чем выше КПД, тем меньше угля требуется для выработки одного и того же объема

электроэнергии). Если среди действующих по всему миру угольных ТЭС доля ультрасверхкритических угольных ТЭС к июлю 2023 г. составляла 20%, то среди строящихся – 66%.

По оценке экспертов ассоциации «Глобальная энергия», аналогичные показатели для субкритических ТЭС (с КПД от 33% до 37%) составляли 53% и 4% соответственно, а для сверхкритических ТЭС (с КПД от 37% до 40%) – 27% и 30%. Эти изменения будут играть на снижение экологического следа угольной генерации, но при этом повлекут за собой дополнительные риски для крупнейших в мире экспортеров угля.

*Ассоциация по развитию международных исследований и проектов в области энергетики «Глобальная энергия»*  
Источник фото – ассоциация «Глобальная энергия»