

# ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 539.219.1; 537.528

## Энергосберегающая модель отопительного котла, работающего на низкосортных углях полифракционного состава

### Energy efficient model of boiler operating at multifractional low-grade coals

Корабейникова В.К.<sup>1</sup>, Воронов Е.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет;  
<sup>2</sup>ТОО «МЕЭТЕХ», Караганда (E-mail: evgenii.voronov@mail.ru)

Кузнецкийдің төменгі сұрыпты көмірі тиімді жануы үшін, Е.Н.Вороновтың ұсынысы бойынша, өкіл болатын энергия сақтау технологияларының жылытқыш цилиндрлік жылу алмастырғыш ТОМ-1 модулі жасалып апробацияланды. Айырмашылық ерекшелігі фракциялы көмірді жігінде өртеу үшін керегемен және жүктеуші сақина мен оттық жылжымайтын түсіп кетпейтін сүйір оттық болып табылады. Сонымен бірге қазан айналдыра қалап тастауын қамтамасыз ететін, сулы жейде рөлін орындайтын коллекторлардың құрама-таратушы коллекторлары бар жылытқыш кернеу элементтерінің жылу алмастырғыш секцияларының түріндегі конструкциясы да пайдаланылады. Кірбік корунданы жылулық изоляция ретінде қолданады.

For effective burning of low-grade Kuznetsk coal, under Voronova E.N.'s was offered heating cylindrical warmly exchange module TOM-1, being the representative of power saving up technology is developed and approved. Which distinctive feature is the cone-shaped fire chamber with a grid-iron motionless not failure lattice and a loading ring for burning in a layer of polyfractional coal in the dense clamped layer. And also a design of warmly exchange sections of heating trumpet elements with collecting — distributive water collectors in a kind of «a water shirt», carrying out as well a role of a brickwork envelope of a copper. As thermal isolation the thin layer of corundum is used.

Решение задач энерго- и ресурсосбережения жилищно-коммунального хозяйства и промышленного сектора с внедрением экономически выгодных научно-технических разработок во все времена являлось актуальным. Достижение экономических выгод сжигания низкосортных углей, с учетом социальных, финансовых ограничений, требований по охране окружающей среды, безопасности жизнедеятельности, должно быть направлено на создание энергосберегающих конструкций отопительных котлов с более высоким коэффициентом полезного действия и эффективными технологиями сжигания местного твердого топлива.

Для эффективного сжигания низкосортного кузнецкого угля, а также борлинского, куучекинского, шубаркольского углей, по предложению Е.Н.Воронова, разработан и апробирован отопительный цилиндрический теплообменный модуль ТОМ — 1 [1], представленный на рисунке 1.

Экономичность и надежность работы отопительных котлов принято оценивать по количественным и качественным характеристикам, которые зависят от типа топочного устройства, марки и сорта топлива и способа его сжигания. К количественным характеристикам относятся тепловая мощность топочного устройства, тепловая мощность объема котла и видимая тепловая мощность колосниковой решетки или зеркала горения. Качественные характеристики — это размеры потерь теплоты химического и механического недожога топлива, значение коэффициента избытка воздуха в топочном устройстве и коэффициента полезного действия отопительного котла.

Мощность слоевых топок зависит от активной площади колосниковой решетки, т.е. части поверхности слоя на решетке, а интенсивность ее работы определяется видимой тепловой мощностью колосниковой решетки и тепловой мощностью топочного объема. Тепловое напряжение решетки зависит от ее конструкции и сорта сжигаемого топлива.

Отличительной особенностью теплообменного модуля ТОМ-1 является конусообразная топка с колосниковой неподвижной непровальной решеткой и загрузочным кольцом для слоевого сжигания полифракционного угля в плотном зажатом слое и конструкция теплообменных модулей нагревательных трубных элементов со сборно-распределительными водяными коллекторами в виде «водяной рубашки», выполняющими также роль обмуровки котла. В качестве тепловой изоляции используется корунд толщиной 15 мм вместо шамотного кирпича.

Уголь Кузнецкого месторождения характеризуется довольно высоким выходом летучих веществ, поэтому отнесен к марке СС, а по размеру куска — к марке Р-рядовой, т.е. полифракционный состав — размер куска от угольной пыли до глыбы, поэтому пылевидный метод сжигания угля такой марки, как показала практика, является наиболее экономичным [2]. Конструкционные особенности топки Е.Н.Воронова и усовершенствование организации топочного процесса слоевого сжигания позволяют сжигать полифракционный уголь также и в слое.

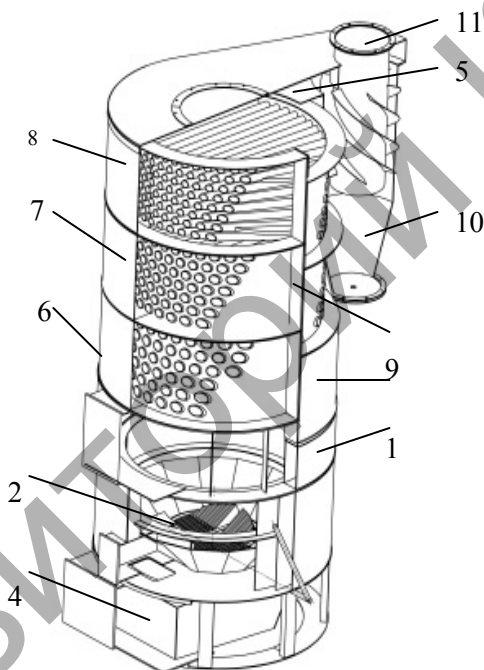


Рис. 1. Общий вид теплообменного модуля Е.Н.Воронова: 1 — корпус; 2 — конусообразное топочное устройство; 3 — загрузочное кольцо; 4 — под топочного устройства; 5 — коллектор дымовых газов; 6 — нижний модуль нагревательных элементов с диаметром трубок  $d_{\text{тр}} = 60 \times 4,5$  мм; 7 — средний модуль нагревательных элементов с диаметром трубок  $d_{\text{тр}} = 52 \times 3,5$  мм; 8 — верхний модуль нагревательных элементов с диаметром трубок  $d_{\text{тр}} = 42 \times 3,5$  мм; 9 — сборно-распределительные водяные коллекторы («водяная рубашка»); 10 — циклон газоочистки; 11 — выход дымовых газов

Анализ фактических теплотехнических характеристик кузнецкого угля показал значительные изменения: влажность на рабочую массу изменяется в пределах  $W^p$  — 5,5 – 7,0 %; зольность на сухую массу  $A^c$  — 44 – 49 % и выход летучих веществ на горючую массу  $V^e$  — 27 – 31 %. Кузнецкий уголь имеет высокую теплоту сгорания топлива, но вследствие значительных колебаний зольности калорийность на рабочую массу также изменяется в широком пределе. Теплота сгорания рабочей массы кузнецкого угля довольно с высокой точностью может быть определена по эмпирической формуле

$$Q_n^p = 7886 - 83A^p - 85W^p, \quad (1)$$

где  $Q_n^p$  — низшая теплота сгорания топлива, ккал/кг (при расчете котельного оборудования используется  $Q_n^p$ , так как уходящие дымовые газы имеют температуру выше температуры конденсации водяных паров);  $A^p$  — зольность на рабочую массу, %. Для кузнецкого угля низшую теплоту сгорания в теплотехнических расчетах принимают равной 3910 ккал/кг. Коэффициент калорийности кузнецкого угля 0,56 (определяется отношением низшей теплоты сгорания топлива к условной теплоте сгорания).

Для обеспечения полноты сгорания при сжигании угля с большим выходом летучих веществ одной подачи первичного воздуха из пода топки недостаточно, приходится подавать поверх насыпного горящего слоя воздух вторичного дутья (рис. 2) с обеспечением постоянной величины насыпного слоя.

Высота насыпного слоя зависит от размеров кусков и влажности топлива, чем крупнее куски и больше влажность топлива, тем насыпной слой должен быть толще. При слоевом сжигании высота насыпного слоя топлива невелика, обычно не превышает высоты кислородной зоны и для цилиндрических топков составляет 1,0–1,2 м, в конусообразной топке Е.Н.Воронова высота насыпного слоя составляет 0,6 м при равной теплопроизводительности.

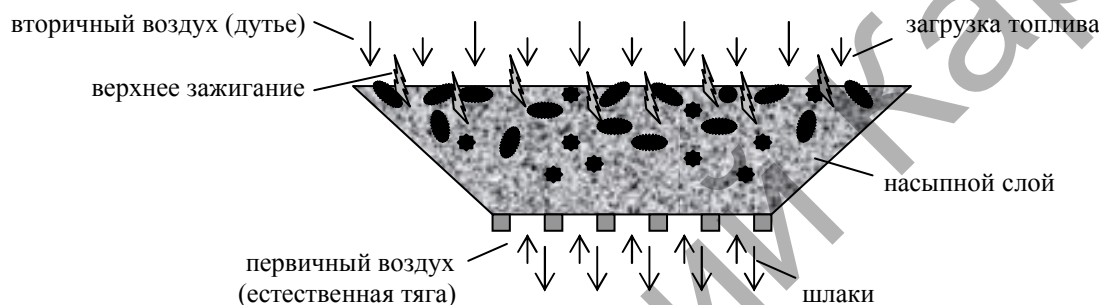


Рис. 2. Конусообразная топка Е.Н.Воронова

В слоевых устройствах обычно сжигаются сравнительно крупные куски угля. Высокая адиабатность слоевых процессов способствует развитию в слое высоких температур, а горение протекает в диффузионной области, что отчетливо подтверждается сильной зависимостью скорости выгорания от интенсивности подвода дутья. Сокращение диффузионного сопротивления слоя и перевод в кинетическую область интенсифицируют горение. Слоевой процесс при сжатом слое с подачей вторичного дутья с одной стороны прижимает топливо к колосниковой решетке не только под действием веса насыпного слоя, но и дутьевого воздуха, а колосниковая решетка препятствует нарушению аэродинамической устойчивости при увеличении вторичного дутья. Поэтому конусообразная топка уменьшает площадь колосниковой решетки по сравнению с цилиндрической, тем самым способствует аэродинамической устойчивости слоя. Отношение площадей колосниковой решетки и зеркала горения цилиндрической топки равно 1, оптимальное значение отношения площадей для конусообразной топки Е.Н.Воронова, определенное экспериментально для теплообменных модулей разной производительности, равно 0,5. Живое сечение решетки, т.е. отношение всех зазоров в колосниковой решетке, через которые поступает первичный воздух в слой, ко всей площади решетки, выраженное в процентах, равняется 12–18 %.

При зажатом плотном слое на колосниковой решетке под действием собственного веса возрастание форсировки горения верхнего слоя увеличивает фильтрацию воздуха во внутрь слоя и способствует выносу из слоя более крупных кусков, которые полностью не успевают прогореть. Это приводит к резкому увеличению механического недожога и затрудняет сжигание полифракционных топлив, содержащих значительное количество мелких частиц, которые препятствуют повышению зеркала горения, чтобы наиболее полно использовать слоевое горение. Такой режим характеризуется резким снижением экономичности сжигания полифракционных топлив за счет возрастания уноса. Во избежание этого режима в конструкции теплообменного модуля предложено «верхнее зажигание» насыпного слоя и загрузочное кольцо.

При «верхнем зажигании» загруженное топливо зажигается сверху, под действием тепла, излучаемого пламенем горящих в топочном пространстве летучих веществ и передаваемого теплопроводностью от верхних слоев к нижним. Попав на поверхность слоя, куски топлива начинают интенсивно

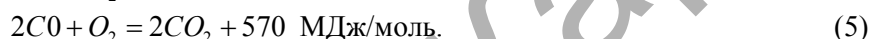
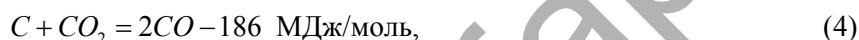
прогреваться с сопровождением интенсивного выделения влаги, а по мере нарастания температуры начинается распад нестойких органических соединений с выделением летучих веществ. Для топлив, имеющих большой выход летучих, эта стадия приводит к изменению физических свойств и структуры коксового остатка, куски становятся пористыми, изменяются их внутренняя поверхность и размер пор. Поток летучих веществ активно вступает во взаимодействие с кислородом воздуха встречного потока вторичного дутья, что препятствует взаимодействию кислорода с коксовым остатком. Для этого в конструкции топочного устройства предусмотрены взрыхлители с ручным управлением для периодического взрыхления. Прогрев куском до температуры 1050–1100 °С приводит к полному выделению летучих веществ и завершению процесса коксования.

Так как влажность кузнецкого угля невелика, то при его слоевом сжигании протекает «сухая газификация» коксового остатка с набором химических реакций, определяющих процесс выгорания по зонам:

в кислородной зоне:



в восстановительной зоне:



Кислород непрерывно подводится из окружающей среды загрузочного кольца и расходуется на пограничном слое коксовой частицы. Горение коксового остатка мелких угольных кусочков происходит с «негорящим пограничным слоем».

«Верхнее зажигание» не требует охлаждения колосниковой решетки, поскольку при нижней подаче дутья и «нижнем зажигании» элементы колосниковой решетки находятся в зоне высоких температур.

Водогрейные котлы различают по теплопроизводительности и температуре получаемой воды. Единицей тепловой мощности является 1 кВт, который эквивалентен тепловой энергии 860 ккал/ч. Теплопроизводительность теплообменных модулей ТОМ-1, запущенных в производство, при сжигании углей кузнецкого, борлинского, шубаркольского, куучекинского бассейнов со вторичным дутьем составляет 81, 105 и 160 кВт, без вторичного — 61, 79 и 120 кВт.

Основными факторами, обеспечивающими экономичность сжигания топлива, являются, прежде всего, вид сжигаемого топлива, а также температурный режим и концентрация кислорода в факеле. На температуру горения влияют теплопроизводительность, избыток воздуха в топке, температура получаемой горячей воды и тепловое напряжение зеркала горения. Численная величина зеркала горения модуля  $96 \div 106 \text{ кВт/м}^2$ .

Интенсивность тепло-массообмена при слоевом сжигании значительно выше, чем при пылевидном сжигании твердого топлива в факеле. Этому способствуют относительно высокие скорости потока продуктов горения, турбулизирующее влияние насыпного слоя и исключение процесса накипеобразования на трубных нагревательных элементах.

При питании котлов жесткой водой происходит постепенное накапливание минеральных примесей, которые после наступления состояния насыщения начинают выпадать в виде кристаллов. Центрами кристаллизации служат шероховатости на поверхности нагревательных трубок, а также взвешенные и коллоидные частицы, находящиеся в котловой воде. Вещества, которые кристаллизуются на поверхностях трубок в виде плотных отложений, образуют накипь, а вещества, которые кристаллизуются в объеме котловой воды, образуют взвешенные вещества — шлам. Чтобы предотвратить образование накипей на поверхностях трубок и исключить угрозу их повреждения, а также предотвратить коррозионные процессы металла труб (каждый миллиметр отложения накипи дает до 1,5–2 % перерасхода топлива из-за снижения коэффициента теплопередачи металлической стенки), при эксплуатации водогрейных котлов организуют специальный водный режим. Для отопительных котлов требуется докотловая обработка, с применением катионитового метода, или внутрикотловая, с периодической шламовой продувкой, т.е. с установкой дополнительного оборудования, требующего значительных капиталовложений. Решение проблемы накипеобразователей в тепловом модуле Е.Н.Воронова осуществлено за счет секционирования нагревательных трубных элементов с их горизонтальным расположением, с уклоном 12–13 градусов, и убывающим диаметром в секциях (рис. 3).

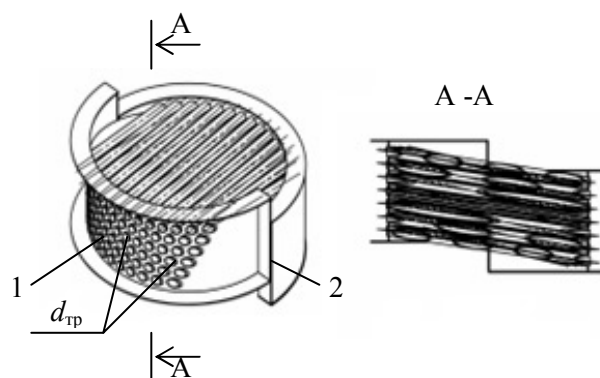


Рис. 3. Вид теплообменного модуля нагревательных трубных элементов: 1 — нагревательный трубный элемент; 2 — сборно-распределительный коллектор

При нормальной эксплуатации модуля отложения накипи на внутренней поверхности трубок не должны достигать размера, вызывающего существенное термическое сопротивление. Во избежание этого явления нижняя секция модуля, которая воспринимает теплоту, полученную при горении топлива полурадиацией, выполнена с диаметром трубок  $d_{тр} = 60 \times 4,5$  мм.

Циркуляция воды в модуле прямоточная, температура при выходе из модуля  $90^\circ\text{C}$  и входе  $35^\circ\text{C}$  (индивидуальные котлы рассчитаны на температуру при выходе из котла  $95^\circ\text{C}$  и входе  $70^\circ\text{C}$ , с вертикальным расположением труб). В котлах со слабонаклонными трубами при прямоточной циркуляции в условиях развития конвективного тепловосприятия идут на понижение диаметров трубок, с целью повышения скорости движения воды в трубках, поэтому средняя и верхняя секции конвективные, выполнены с диаметром трубок в средней секции  $d_{тр} = 52 \times 3,5$  мм и верхней —  $d_{тр} = 42 \times 3,5$  мм.

Теплота, воспринимаемая нижним модулем, определяется как разность между лучистым потоком зеркала горения и потоком переизлучения в средний модуль. Прямое излучение от зеркала горения топки обеспечивает интенсивное загрязнение передних рядов трубок нижнего модуля, повышает температуру загрязнения и может привести к пережогу трубок. Во избежание этого в конструкции теплообменного модуля предусмотрено загрузочное кольцо.

При ручном обслуживании топок редко удается выдержать расчетные значения. Топка с ручным обслуживанием характеризуется периодичностью режимов работы, трудностью регулирования подачи воздуха, наличием прорыва первичного воздуха в периоды загрузки свежего топлива. В начале загрузки топлива и при его прогреве теплота практически не выделяется. В период дожигания топлива теплота выделяется в минимальном количестве, в период горения летучих веществ и коксового остатка наблюдается максимальное тепловыделение. Такая периодичность процесса горения топлива в топке с ручным управлением влечет за собой изменение тепловой мощности котла и ее экономичности. После подачи на догорающий слой свежего топлива, его прогрева и подсушки наступает период интенсивного выделения летучих веществ, причем для полного сгорания требуется большое количество воздуха. При постоянной производительности дутьевого вентилятора, при уплотнении слоя догорающего коксового остатка и постепенном прогорании слоя в топочное устройство начинает активно поступать до 20–30 % первичного воздуха из пода топки, в то время как потребность в нем становится все меньше из-за выделения и горения основной массы летучих веществ. Поэтому коэффициент избытка воздуха (вторичного воздуха) должен быть минимальным. Его величина определяется температурой дымовых газов, которая должна находиться в установленном пределе. Нижний предел определяется из условий устойчивости процесса горения. Чрезмерно низкая температура дымовых газов снижает общий уровень температуры в теплообменном модуле, затрудняет разжиг, а при незначительных случайных изменениях режима горения приведет к погасанию. Верхний предел ограничивается необходимостью предотвращения шлакования передних рядов трубок секции теплообменного модуля расплавленными золовыми частицами. Поэтому в отопительном котле такой конструкции температура уходящих газов значительно ниже, чем в существующих и составляет  $190\text{--}210^\circ\text{C}$ .

Конструктивные особенности теплообменного модуля ТОМ-1 позволяют использовать его как самостоятельную автономную установку и являются очень удобной возможностью создания системы обогрева, включающей в себя сеть из последовательно соединенных модулей. Обслуживание, подключение модуля не требует больших трудозатрат. Конструкция топочного устройства разработана

таким образом, чтобы максимально облегчить ее очистку от золы и шлака. Уникальность и простота конструкции модуля ТОМ-1 позволяют выпускать их различной теплопроизводительностью, изменяя диаметр модуля при равной высоте.

Монтаж отопительных модулей производится по секциям в соответствии со стандартами, принятыми для монтажа отопительного оборудования. Отработанная технология, современные инструменты, квалификация и опыт монтажных организаций позволяют произвести эту операцию быстро, качественно и безопасно.

#### References

1. *Voronov E.N.* Statement for issue of the RK innovative patent for the invention 2011/1214.1.
2. *Kurmangaliev M.R., Ficak V.I.* Burning of steam coals of Kazakhstan and protection of the atmosphere. — Alma-Ata: Science of Kazakh SSR, 1989. — 223 p.

УДК 621.7

### Электрогидроимпульсная обработка шубаркольского угля

#### Electric-hydraulic processing technology for coals

Кусаиынов К., Дуйсенбаева М.С., Алпысова Г.К., Оспанова Д.А.

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: m\_o\_l\_d\_i\_r\_89@mail.ru)*

Қазақстанның жылу энергетикасының дамуы мен болашақта еліміздің қазба байлықтарға деген тапшылығын болдырмау үшін, энергетикалық отын көзі ретінде көмірді тиімді пайдалану жолдарын қарастыру керек. Еліміздің көп өңірлері қайта өңдеуді қажет ететін төмен сапалы көмірге және көмірді өндіру кезінде шығатын қалдықтарға бай. Бұл мәселенің шешімі көмірді энергетикалық отын ретінде пайдалана отырып, оның тұтынушылық үлесін арттыратын іс-әрекеттер болып табылады. Осы сұрақтардың шешімінің бірі ретінде гетерогендік ортаға электрогидравликалық эффектінң әсерін жатқызуға болады. Нақты мысал болып электрогидравликалық эффект көмегімен сұйық отынды алу және оның құрылымына әсерін зерттеу табылады.

Power engineering development, as well as energy safety of Kazakhstan depend substantially on wide and efficient use of coal as power-plant fuel. The majority of country's regions have enormous supplies of immature coals as well as coal-concentrating waste that need obtainable ways of their utilization. For that nontrivial and integrated approaches are necessary as they let improve consuming properties of coal as power-plant fuel. One such area is the study of the influence of electrohydraulic effect on heterogeneous environment. As concrete example water coal suspension, to be exact methods of to obtain and change its characteristics by using electrohydraulic effect.

На сегодняшний день стремительное развитие теплоэнергетики характеризуется использованием дорогостоящего жидкого топлива, которое является ценным сырьем для нефтеперерабатывающей промышленности, и расширением применения твердого топлива. По мере увеличения добычи нефти химические вещества угольного происхождения начали вытесняться продуктами нефтехимического синтеза, производимыми более простыми и менее энергоемкими методами. Однако оценка разведанных мировых запасов различных видов ископаемого органического сырья приводит к выводу о том, что месторождения нефти и газа будут в значительной степени исчерпаны уже в первые десятилетия XXI в. Запасов же угля должно хватить на ближайшие несколько сот лет. Вывод о необходимости постоянного увеличения масштабов использования угля в энергетике и промышленности подтверждается данными по сопоставлению запасов нефти, газа, угля и сложившейся в настоящее время структурой их мирового потребления [1].

Увеличение потребления ископаемых углей будет сопровождаться ростом экологической нагрузки на окружающую среду, поскольку при сжигании и переработке угля образуется больше вред-