

Х. А.-Ф. МЕРЕ, В. П. ДУШЕНКО

**АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ЧАСТИЦ ЭСТОНСКОГО ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА**

Опыт эксплуатации тепловых электростанций на многозольных прибалтийских сланцах все более отчетливо показывает, что необходим переход от сжигания натурального сланца к использованию чистых энергоносителей, получаемых путем предварительной термической переработки сланца. Решение проблем, возникающих при энергетическом использовании горючих сланцев, заключается в методах, которые позволяют изменить долю, качество и свойства минеральной балласта этого топлива, подвергающегося температурному воздействию в реакционной камере.

В последнее десятилетие в промышленных условиях в достаточно широких масштабах изучается новый тип топочного устройства — топка с кипящим слоем. Преимущества и проблематика применения кипящего слоя в теплоэнергетике в определенной мере разработаны и известны. Источником трудностей здесь является главным образом сложность рассматриваемых явлений и большое разнообразие поведения слоя.

Опыты по прямому сжиганию сланцев в кипящем слое показали, что летучие вещества топлива не успевают сгореть в нем. При дожигании горючих запыленных газов над кипящим слоем происходит сильное шлакование установки, наблюдается нарушение устойчивой работы кипящего слоя. Метод двухступенчатого сжигания горючих сланцев с их предварительной газификацией в кипящем слое, разработанный в Институте термофизики и электрофизики Академии наук ЭССР, позволяет справиться с этими проблемами [1].

По этому методу мелкозернистый сланец газифицируется в топке с кипящим слоем, а запыленные продукты газификации сжигаются в топке парогенератора. Состав и свойства запыленных продуктов газификации не являются постоянными, а зависят от свойств используемого топлива, термического режима газификации, от конструкции топки и т. п.

Можно предполагать, что аэродинамические свойства частиц различных фракций топлива, а также их соответствующие физические и химические характеристики предопределяют количество золы и кокса в уносе и тем самым золовую нагрузку поверхностей нагрева топки и работу самого кипящего слоя. Изучению этих аэродинамических свойств и посвящено данное исследование.

В качестве исследуемого топлива использовали горючий сланец (соответствующий ГОСТ 1137-64) из карьера «Октябрьский». Его средний химический состав, по данным лабораторного анализа, следующий, %: A^d 49,08, $(CO_2)_M^d$ 20,86, C^d 24,79, H^d 3,23, S_i^d 2,04, W_i^d 0,6.

Методом ситового анализа в соответствии с ГОСТ 2093-82 были

выделены классы крупности 0,2—0,4, 0,4—0,63, 0,63—1,0, 1,0—1,6, 1,6—2,5 и 2,5—3,2 мм, где ~95 % частиц находятся в указанных пределах, а ~5 % частиц составляют отклонения в ту или иную сторону. Каждый класс частиц исследовали по отдельности на специальном лабораторном стенде (рис. 1), который предусмотрен для изучения особенностей скоростей витания частиц топлива. Он содержит цилиндрическую стеклянную часть 1 внутренним диаметром 57 мм и длиной 1500 мм, которая является камерой сепарации и соединена с распределительным конусом 2 с углом расширения 6° . Исследуемый материал загружается в герметичный бункер 3 и воздушным потоком выносится в конусную часть. Количество поданного воздуха измеряется с помощью дроссельной шайбы 4 и U-образного манометра. Улавливание вылетевших частиц происходит в циклоне 5, их сбор — в бункере 6. В ходе тарировки определялось поле скорости воздушного потока в верхней части камеры сепарации и скорость витания частиц сферической формы, имеющих плотность в интервале $(1,3—2,5) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Коэффициент их лобового сопротивления изменялся в пределах от 0,42 до 0,45 при значениях Re от 1150 до 1510, что удовлетворительно совпадает с теоретическими и экспериментальными данными [2].

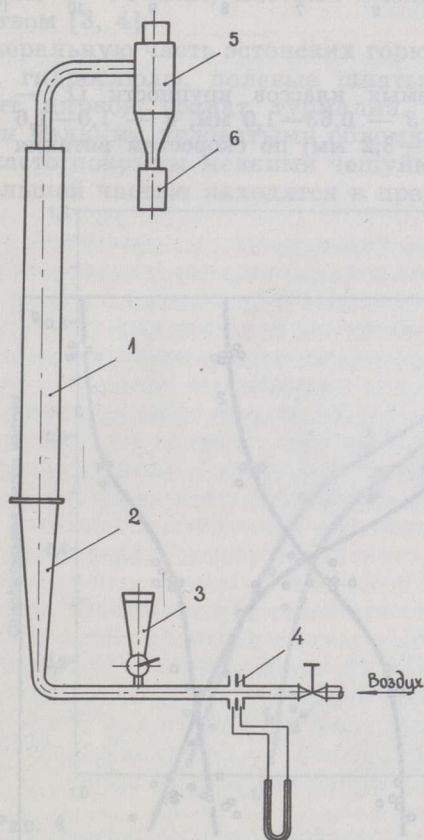


Рис. 1

Схема лабораторного стенда для исследования аэродинамических свойств частиц горючего сланца: 1 — цилиндрическая стеклянная часть, 2 — распределительный конус, 3 — герметичный бункер для исследуемого материала, 4 — дроссельная шайба, 5 — циклон, 6 — бункер для сбора уловленных частиц (пунктиром дана суммарная кривая для полидисперсного состава исходного топлива)

На этом стенде материал каждого из шести классов крупности был разделен на пять примерно равных по массе фракций по скоростям витания. Во время проведения опытов скорость воздушного потока изменяли скачкообразно. Для каждого значения этой скорости собирали и взвешивали уловленные частицы. Физические и химические свойства материала каждой фракции определяли лабораторными ме-

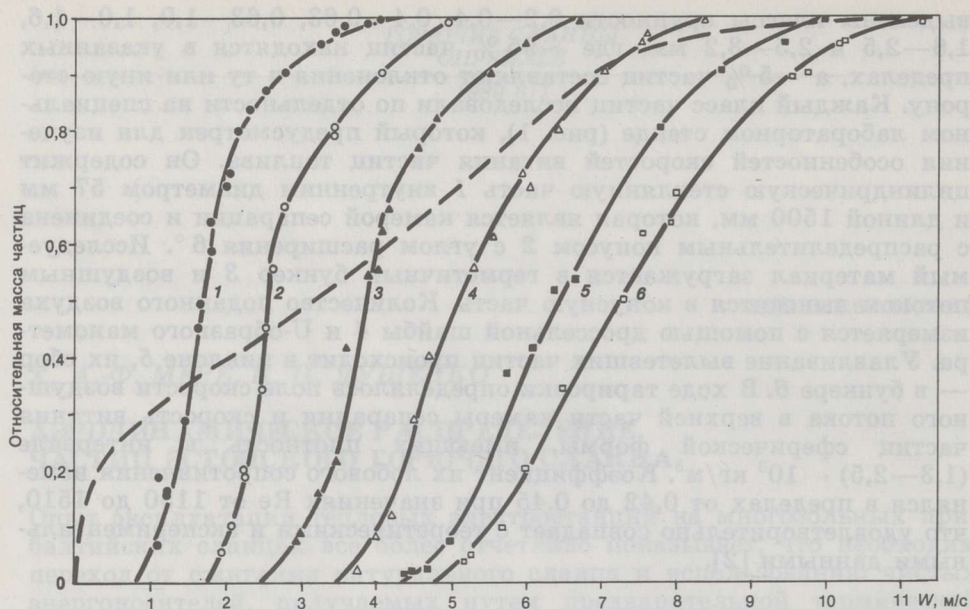


Рис. 2
 Распределение частиц исследуемых классов крупности (1 — 0,2—0,4 мм, 2 — 0,4—0,63 мм, 3 — 0,63—1,0 мм, 4 — 1,0—1,6 мм, 5 — 1,6—2,5 мм, 6 — 2,5—3,2 мм) по скоростям витания

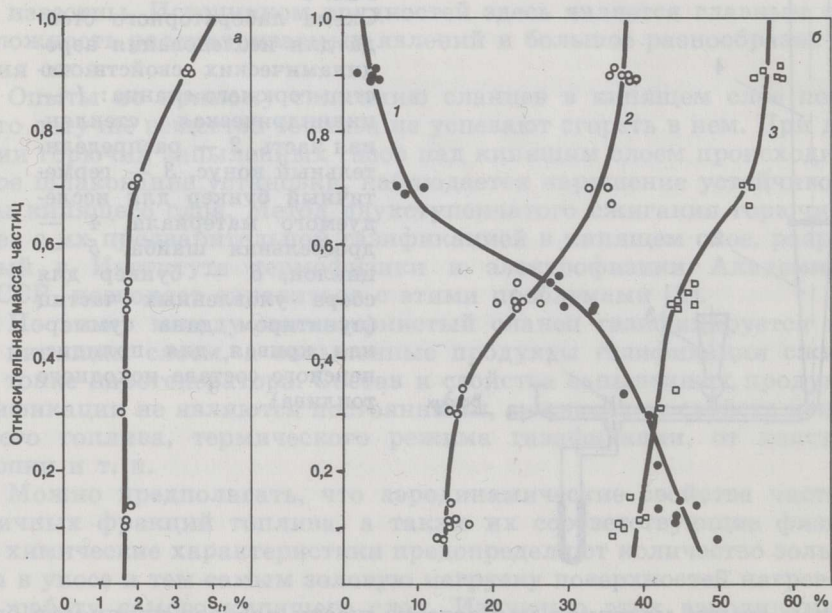


Рис. 3
 Распределение частиц по химическому составу: а — относительное содержание S_r , б — относительное содержание $(C^d + H^d)$ (1), $(CO_2)_M^d$ (2) и A^d (3)

тодами. По полученным данным построены графики, приведенные на рисунках 2—5. В то время как кривизна нижней части графиков (рис. 2) указывает на некоторое измельчение более хрупких частиц при их трении друг о друга, кривизна верхней части графиков указывает на обогащение материала частицами, в которых велико содержание минеральной части. На графиках рис. 3 можно выделить три характерные области: первая — от 0 до 50 % от общей массы частиц, вторая — следующие 20 % частиц (50—70 %) и третья — остальные 30 % (70—100 %). Для каждой из этих областей существует свой интервал характерных значений ($C^d + H^d$), $(CO_2)_M^d$, A^d , S_v , которые сведены в таблицу, поясняющую информацию, приведенную на рис. 3.

Химический состав эстонских горючих сланцев исследовался неоднократно [1, 3, 4]. Установлено, что органическое вещество расположено в этих сланцах в виде гнезд величиною 20—140 мкм, которые, в свою очередь, состоят из микрочастиц размером 3—6 мкм.

Карбонатный материал представлен в этих сланцах преимущественно кальцитом и встречается в них в виде тонких прослоек, бугорков, раковин и т. д., а также в виде различных окаменелостей и отдельных кристаллов кальцита или их небольших скоплений. Часть особенно мелких карбонатов, состоящих из мельчайших кристаллов кальцита размером 5—50 мкм, местами очень тесно связана с органическим веществом [3, 4].

Минеральную часть эстонских горючих сланцев составляют в основном кварц, гидрослюда, полевые шпаты, минералы тяжелой фракции: титанит, циркон, гранат, турмалин, рутил и др. [3, 4]. Кварц представлен мелкими угловатыми обломками, которые имеют острые грани и часто покрыты мелкими чешуйками слюд. Размеры этих обломков большей частью находятся в пределах 10—25 мкм.

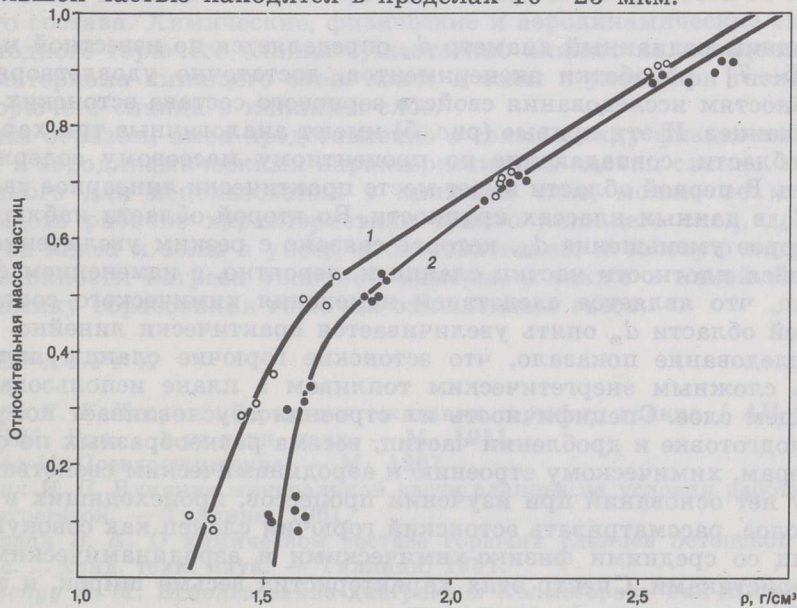


Рис. 4

Распределение частиц в зависимости от кажущейся плотности частиц ρ^* (1) и действительной плотности материала частиц ρ_m (2)

Такое своеобразие химического и минералогического состава эстонских горючих сланцев обуславливает специфику распределения органического и минерального вещества в частицах сланца при его дроблении, и эту специфику необходимо учитывать при изучении поведения этих частиц в кипящем слое.

Кажущаяся плотность частиц ρ^* и действительная плотность материала частиц ρ_m (рис. 4) определены в соответствии с требованиями ГОСТ 2160-82. Разница между действительной и кажущейся плотностью частицы сокращается с уменьшением содержания горючего вещества в частицах сланца. Эти плотности прямо связаны с химическим составом самих частиц: кривые на графике, подобно кривым на рис. 3, имеют аналогичные три характерные области.

С уменьшением в частицах сланца доли горючего вещества и увеличением доли минеральной части разница между этими плотностями сокращается, причем это сокращение различно в разных характерных областях. В первой области сами плотности меняются незначительно, но их разница постоянно уменьшается. Во второй области эта разница уменьшается до постоянной величины. В третьей области разница плотностей постоянна, что свидетельствует о примерно одинаковом химическом составе частиц, то есть горючего вещества в таких частицах настолько мало ($< 10\%$), что это не может оказывать значительного влияния на различие между кажущейся и действительной плотностью материала частиц.

Распределение значений показателей химического состава частиц по характерным областям, %

Характерная область	Массовая доля частиц	$C^d + H^d$	$(CO_2)_M^d$	A^d	S_t
Первая	0—0,5	50—30	14—22	37—45	1,6—1,7
Вторая	0,5—0,7	30—10	22—35	45—55	1,7—2,0
Третья	0,7—1,0	≥ 10	35—37	55—57	2,0—3,35

Средний медианный диаметр d_m определяется по известной методике [5—7] обработки экспериментов, достаточно удовлетворяющей надобностям исследования свойств зернового состава эстонских горючих сланцев. И эти кривые (рис. 5) имеют аналогичные три характерные области, совпадающие по процентному массовому содержанию частиц. В первой области имеет место практически линейное увеличение d_m в данных классах крупности. Во второй области наблюдается некоторое уменьшение d_m , которое связано с резким увеличением кажущейся плотности частиц сланца и, вероятно, с изменением формы частиц, что является следствием изменения химического состава. В третьей области d_m опять увеличивается практически линейно.

Исследование показало, что эстонские горючие сланцы являются очень сложным энергетическим топливом в плане использования в кипящем слое. Специфичность их строения обуславливает получение при подготовке и дроблении частиц, весьма разнообразных по форме, размерам, химическому строению и аэродинамическим свойствам. Поэтому нет оснований при изучении процессов, происходящих в кипящем слое, рассматривать эстонский горючий сланец как совокупность частиц со средними физико-химическими и аэродинамическими характеристиками. Спектр этих характеристик весьма широк, и это обстоятельство нельзя не учитывать.

В кипящем слое возможно разделение частиц по плотности и тем самым по химическому составу; при этом частицы, в которых преобладают минеральные соединения, будучи более тяжелыми, остаются в кипящем слое, а более легкие после выхода летучих вылетают в сепарирующее пространство и могут покидать слой.

При аэродинамических расчетах приходится принимать во внимание и то, что кажущаяся плотность частицы горючего сланца меньше действительной плотности материала частицы по причине ее пористо-

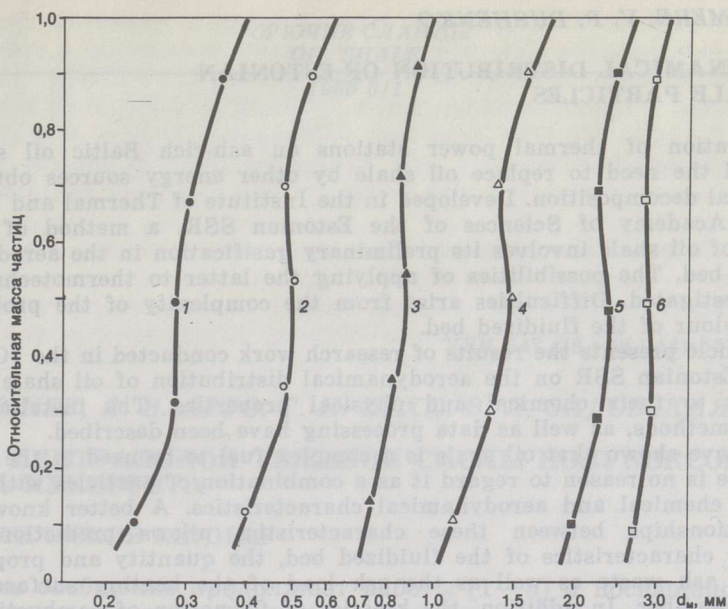


Рис. 5
 Распределение частиц исследуемых классов крупности (1 — 0,2—0,4 мм, 2 — 0,4—0,63 мм, 3 — 0,63—1,0 мм, 4 — 1,0—1,6 мм, 5 — 1,6—2,5 мм, 6 — 2,5—3,2 мм) в зависимости от среднего медианного диаметра данных фракций

сти и может в значительной мере изменяться в зависимости от химического состава. Химические, физические и аэродинамические свойства исходного горючего сланца существенно влияют на поведение частиц материала кипящего слоя, кокса и золы в уносе при газификации горючего сланца в кипящем слое.

Таким образом, имея представление о связи между физико-химическими и аэродинамическими характеристиками частиц сланца, подготовленного для использования в кипящем слое, можно во многом предвидеть рабочие характеристики самого кипящего слоя, долю и свойства кокса и золы в уносе, а следовательно, и золовую нагрузку на поверхности нагрева топочной камеры, а также в какой-то мере и динамику образования горючих запыленных газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труу Х. К. Теория и практика сжигания горючего сланца / АН СССР, ЭНИН: Дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1951.
2. Лева М. Псевдооживление. — М., 1961.
3. Эпик И. П. Влияние минеральной части сланцев на условия работы котлоагрегатов. — Таллинн, 1961.
4. Торпан В. К. О химическом составе горючих сланцев Эстонской ССР: Дис. ... канд. техн. наук. — Таллинн, 1951.
5. Ыйснуу Л. М. Использование диаграммы Колмогорова-Фай-Желева при исследовании некоторых рассевов эстонских горючих сланцев // Труды Таллин. политех. ин-та. 1965. № 226. С. 29—44.
6. Барский М. Д. Фракционирование порошков. — М., 1980.
7. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. — Л., 1971.

Представил А. А. Отс

Институт термофизики и электрофизики
 Академии наук Эстонской ССР
 г. Таллинн

Поступила в редакцию
 10.02.1988

AERODYNAMICAL DISTRIBUTION OF ESTONIAN OIL SHALE PARTICLES

The operation of thermal power stations on ash-rich Baltic oil shale has suggested the need to replace oil shale by other energy sources obtained by its thermal decomposition. Developed in the Institute of Thermal and Electrical Physics, Academy of Sciences of the Estonian SSR, a method of two-step burning of oil shale involves its preliminary gasification in the aerodynamical fluidized bed. The possibilities of applying the latter to thermotechnics have been investigated. Difficulties arise from the complexity of the problem and the behaviour of the fluidized bed.

The article presents the results of research work conducted in the «Oktober» quarry, Estonian SSR on the aerodynamical distribution of oil shale particles according to their chemical and physical properties. The installation and research methods, as well as data processing have been described.

Tests have shown that oil shale is a complex fuel to be used in the fluidized bed. There is no reason to regard it as a combination of particles with average physical, chemical and aerodynamical characteristics. A better knowledge of the relationships between these characteristics allows prediction of the operating characteristics of the fluidized bed, the quantity and properties of coke and ash waste as well as the ash load of the heating surfaces of the furnace chamber. In addition, the kinetics of formation of combustible dust-laden gases can be foretold.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Thermophysics and Electrophysics
Tallinn*