

<https://doi.org/10.3176/oil.1986.2.13>

УДК 662.613.5

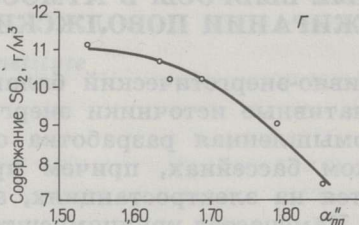
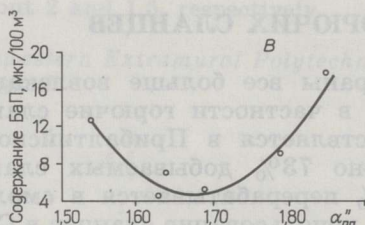
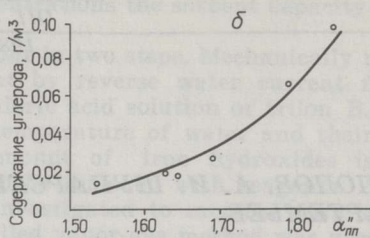
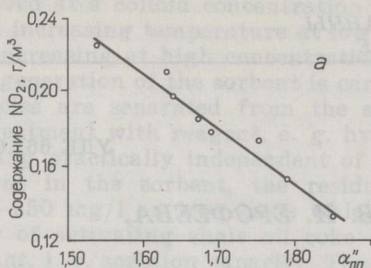
А. И. ПОПОВ, А. И. ШУПАРСКИЙ, В. И. ЕРОФЕЕВА,
С. В. АРТЕМЬЕВ

ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ ПРИ СЖИГАНИИ ПОВОЛЖСКИХ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

В топливно-энергетический баланс страны все больше вовлекаются альтернативные источники энергии, и в частности горючие сланцы. Их промышленная разработка осуществляется в Прибалтийском и Волжском бассейнах, причем примерно 73% добываемых сланцев сжигается на электростанциях, а 27% перерабатывается в смолу и газ [1]. Намечается крупномасштабное использование сланцев в Саратовской, Куйбышевской и Оренбургской областях. Необходимо оценить его экологическое воздействие на окружающую среду, в первую очередь — определить вредные выбросы на примере сжигающей кашпирский сланец Сызранской ТЭЦ.

Поскольку поволжские горючие сланцы отличаются высокой сернистостью, при сжигании они загрязняют воздух в основном сернистым ангидридом, а также окислами азота, летучей золой, сажей и канцерогенными соединениями. Концентрации вредных веществ в уходящих газах были определены для котлоагрегата ЦКТИ-75-39ф Сызранской ТЭЦ. Характеристика сланца: Q_i 4500 кДж/кг, A^r 56,89%, $(CO_2)_M$ 6,96%; элементный состав, %: C^r 12,29, H^r 1,55, S^r 3,4, $(O+N)^r$ 1,7. Из штатных пробоотборных точек, оборудованных для измерения концентрации золы в дымовых газах за электрофильтром, отбирали пробы газов для анализа на содержание сернистого ангидрида, окислов азота, сажи и бенз(а)пирена. Отбор проб и их анализ проводили по утвержденным методикам: концентрацию сернистого ангидрида определяли йодометрическим методом [2, 3], окислов азота — фотоколориметрическим методом с использованием прибора «Эвдиометр-1» [4], сажи — газоволюметрическим способом, бенз(а)пирена — по методике Среднеазиатского филиала Всесоюзного научно-исследовательского института газовой промышленности [5]. Измерения проводили при различных значениях коэффициента избытка воздуха за пароперегревателем котла. Необходимо отметить, что при работе на горючих сланцах котел не обеспечивает номинальную паропроизводительность, поэтому все измерения проведены при нагрузке около 70% от номинальной. Кроме того, во избежание шлакования поверхностей нагрева сланец сжигается с большими избытками воздуха.

Концентрация окислов азота при сжигании кашпирских сланцев относительно невысока — 130—220 мг/м³ (рисунок, а). Снижение выхода окислов азота при увеличении коэффициента избытка воздуха обусловлено большим разбавлением дымовых газов избыточным воздухом и понижением температуры факела в топке. Количество выбрасываемых из котла сажистых частиц определяется прежде всего топочным процессом и температурой факела. С повышением коэффициента избытка воздуха происходит расхолаживание топочной камеры с образованием застойных зон, вследствие чего некоторая часть коксовых частиц не успевает сгорать в зоне высоких температур и попадает в газоход котла (рисунок, б).



Зависимость содержания в дымовых газах окислов азота (а), сажи (б), бенз(а)пирена (в) и сернистого ангидрида (г) от коэффициента избытка воздуха за конвективным пароперегревателем $\alpha''_{пл}$

Сажистые частицы при движении по газоходу котла могут сорбировать на своей поверхности различные химические соединения, в том числе и бенз(а)пирен, который, как и сажа, является продуктом неполного сгорания. Известно, что по количеству сажи можно косвенно судить о выделении бенз(а)пирена [6]. Содержание бенз(а)пирена в продуктах сгорания кашпирских сланцев при основных рабочих режимах составляет от 5 до 18 мкг/100 м³ (рисунок, в). Сравнение кривых изменения концентраций сажи и бенз(а)пирена свидетельствует об одинаковом влиянии коэффициента избытка воздуха на их образование.

Наиболее существенны выбросы сернистого ангидрида. По расчетам, при стехиометрическом сжигании сланца, содержащего 3,4% общей серы S_r^i , может образоваться 36 г/м³ сернистого ангидрида. Видно (рисунок, г), что его концентрация при изменении коэффициента избытка воздуха от 1,54 до 1,85 уменьшается с 11 до 7,5 г/м³. При приведении наибольшей концентрации сернистого ангидрида к $\alpha=1$ ее величина составляет около 17,8 г/м³. Такое различие между расчетным и замеренным значениями, а также анализ содержания серы в шлаке и золе позволяют сделать вывод о том, что примерно 50% серы связывается минеральной частью сланца. С увеличением коэффициента избытка воздуха доля связывания серы золой повышается, и при $\alpha=1,85$ коэффициент связывания составляет уже 62%. Это объясняется возрастанием скорости сульфатизации окиси кальция за счет повышения доли кислорода в газовой среде.

Определенные концентрации вредных веществ в продуктах сгорания кашпирских горючих сланцев позволили рассчитать для этого вида топлива суммарный показатель вредности [7], который учитывает как сумму количеств различных загрязнений, так и их токсичность:

$$\Pi_{\Sigma} = \sum \Pi_i = 14,7 g_i V_r / Q_i^r ПДК_i,$$

где g_i — концентрация рассматриваемой примеси в 1 м³ дымовых газов при нормальных условиях, г/м³; V_r — объем дымовых газов, образующихся при сжигании 1 кг топлива, м³/кг; Q_i^r — низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Частные и суммарный показатели вредностей, характеризующие сжигание различных топлив

Топливо	Π_{SO_2}	Π_{NO_2}	$\Pi_{\text{зола}}$	Π_{BaP}	Π_{Σ}
Кашпирский сланец (S ^r 3,4%)	0,097	0,027	0,081	0,001	0,215
Высокосернистый мазут (S ^r 3,0%)	0,045	0,044	0,002	0,004	0,095
Эстонский сланец (S ^r 1,4%)	0,012	0,023	0,026	0,001	0,062
Природный газ	—	0,038	—	0,0001	0,038

Сравним показатели вредностей кашпирских и прибалтийских сланцев (данные [8]), а также высокосернистого мазута и природного газа [6, 7] (таблица). При сжигании кашпирского сланца атмосферу в основном загрязняет двуокись серы, что обусловлено его большой сернистостью и малой теплотой сгорания. Из-за более высокой зольности, чем у эстонского сланца, частный показатель вредности кашпирского сланца по золе также выше. Частные показатели вредностей по окислам азота и бенз(а)пирену примерно такие же, как и для других видов топлива.

Очевидно, что прямое сжигание поволжских сланцев на электростанциях недопустимо из-за высокого уровня загрязнения атмосферы, особенно сернистым ангидридом. Сооружение же сероулавливающих установок потребует значительных капитальных вложений, что делает варианты строительства электростанций на поволжских сланцах неконкурентоспособными по сравнению с другими источниками производства энергии. Перспективно укрупнение мощности будущих тепловых электростанций и их энергоблоков, снижающие удельные капиталовложения. Однако максимальная мощность электростанций может быть ограничена некоторыми предельными значениями по условиям загрязнения воздушного бассейна [9]. Расчеты, проведенные для электростанции с пылевидным сжиганием поволжских сланцев, показали, что ее предельная мощность даже в отсутствие фонового загрязнения атмосферы не может отвечать современным требованиям к энергетическому строительству.

Повысить эффективность использования поволжских горючих сланцев, устранить трудности эксплуатации сланцевых котлов и уменьшить вредные выбросы в атмосферу можно за счет комплексного энерготехнологического использования этих сланцев. Перспективным методом переработки сернистых сланцев в чистое газообразное топливо является их газификация на паровоздушном или парокислородном дутье под давлением [10]. При газификации наряду с энергетическим газом с теплотой сгорания 10—14 МДж/м³ получают также ряд ценных химических продуктов (смола, газовый бензин, тиофены и др.). Как показали исследования, выполненные в Саратовском политехническом институте, большие возможности открывает применение минеральной части поволжских сланцев для производства строительных материалов и изделий в соответствии с разрабатываемыми технологиями. Использование очищенного от сероводорода газа энерготехнологической переработки поволжских сланцев позволяет увеличить предельную мощность электростанций в 3—5 раз.

При рассмотрении вопросов о целесообразности строительства новых электростанций на продуктах энерготехнологической переработки поволжских сланцев прежде следует учитывать дефицит полупиковых мощностей в объединенной энергосистеме (ОЭС) Средней Волги, особо принимая во внимание масштабы ввода мощностей на

атомных электростанциях в этом регионе. Проектируемые электростанции на органическом топливе должны обладать необходимой маневренностью. В качестве основного оборудования для них наиболее подходят разрабатываемые в научно-производственном объединении Центрального котлотурбинного института полуликовые парогазовые блоки [11].

Экологический эффект может быть достигнут и при переводе городских ТЭЦ с сернистого мазута на генераторный газ из сланца. Так, для крупного промышленного волжского города это мероприятие даст возможность снизить уровень загрязнения воздушного бассейна окислами серы и азота до 0,75 ПДК. При этом снижение ущерба, наносимого народному хозяйству вредными выбросами ТЭЦ, может составлять 1,45 млн. руб. ежегодно.

Выводы

1. При планировании разработки и использования поволжских горючих сланцев особое внимание должно быть обращено на проблемы охраны окружающей среды, в первую очередь на предотвращение загрязнения воздушного бассейна сернистыми соединениями.

2. Измерения концентраций вредных веществ в продуктах сгорания кашпирского сланца с S_i 3,4% на Сызранской ТЭЦ показали, что содержание в них сернистого ангидрида находится на уровне 7,5—11 г/м³, окислов азота — 130—220 мг/м³, сажи — 0,01—0,10 г/м³, бенз(а)пирена — 5—18 мкг/100 м³. Это ограничивает предельную мощность электростанций на органическом топливе по условиям загрязнения воздушного бассейна. Требуемое больших капитальных вложений сооружение сероочистных устройств делает эти варианты неконкурентоспособными по сравнению с другими способами производства энергии.

3. Перспективна комплексная энерготехнологическая переработка поволжских сланцев, которая в определенной мере позволяет решить проблемы эффективности их использования и защиты окружающей среды. Поэтому необходимы дальнейшие поиски оптимальных схем и методов переработки поволжских сланцев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ребане К. К., Эпик И. П. Проблемы комплексного использования горючих сланцев — Вестн. АН СССР, 1983, № 12, с. 19—24.
2. Еремина В. Г. Газовый анализ — Л., 1955.
3. Гордон Г. М., Пейсахов И. Л. Контроль пылеулавливающих установок. — М., 1973.
4. Методические указания по определению содержания окислов азота в дымовых газах (экспресс-методы); ТУ 34-70-041-83. — М., 1983.
5. Методы определения концентраций токсичных продуктов сгорания газа и мазута / Сост.: Л. М. Цирульников, В. Г. Конюхов, Е. В. Грек. — М., 1977. (Науч.-техн. обзор; Сер. использования газа в народном хозяйстве).
6. О содержании канцерогенных веществ в уходящих газах при сжигании газа и мазута / Л. М. Цирульников, В. Г. Конюхов, И. Н. Димант, Э. Н. Владимиров. — Теплоэнергетика, 1979, № 9, с. 32—35.
7. Энергетика и охрана окружающей среды / Под ред. Н. Г. Залогина, Л. И. Кроппа, Ю. М. Кострикина. — М., 1979.
8. Отс А. А., Егоров Д. М., Лоосаар Ю. М. О выделении токсичных и канцерогенных веществ при сжигании эстонского горючего сланца в энергетических котлоагрегатах. — Тр. / Таллин. политехн. ин-т, 1982, № 522, с. 59—70.

9. Андрющенко А. И., Попов А. И. Основы проектирования энерготехнологических установок электростанций. — М., 1980.
10. Каширский В. Г., Коваль А. А. Перспективы энерготехнологического использования горючих сланцев Поволжья. — Горючие сланцы, 1984, 1, № 1, с. 29—31.
11. Безлепкин В. П. Парогазовые установки со сбросом газов в котел. — Л., 1984.

Представил В. Г. Каширский

Саратовский политехнический институт

Поступила в редакцию
21.10.1985

A. I. POPOV, A. I. SHUPARSKY, V. I. YEROFEEVA,
S. V. ARTEMIEV

HARMFUL OUTBURSTS DURING COMBUSTION OF THE VOLGA OIL SHALES

Measurements were performed of sulfur anhydride, nitrogen oxides, soot and benz(a)pyrene concentrations in the exhaust gases of combustion of the Kashpir oil shale (total sulfur content 3.4%) at the Syzran Thermolectric Power Plant. Specific and total indices of harmfulness of the oil shale combustion products were calculated. Sulfur anhydride was found to be the main source of atmospheric pollution. One of the ways to reduce air pollution and to increase the efficiency of utilizing Volga oil shales is their complex processing for power and technological purposes.

Saratov Polytechnical Institute