

**А.И. ЕГУРНОВ**, канд. техн. наук  
(Украина, Днепропетровск, ООО "АНА-ТЕМС"),  
**С.Д. БОРУК, И.А. ВИНКЛЕР**, кандидаты хим. наук,  
**Н.М. ТРОЯНОВСКАЯ**  
(Украина, Черновцы, Черновицкий национальный университет)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СУСПЕНЗИОННОГО УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА С УЧЕТОМ РЕКОМЕНДАЦИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО ПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА**

В условиях экономического кризиса, с целью сохранения экономической рентабельности производства, как правило, проводится сокращение финансирования экологических и природоохранных программ. Поэтому особую актуальность приобретает вопрос поиска необходимого баланса между потребностями промышленности в сырье, энергии и размещении отходов производства разной природы и интересами граждан страны. Широкое применение практики закрытия потенциально опасных предприятий без разработки соответствующей программы их вывода из эксплуатации и рекультивации территории часто приводит обострению экологических и социальных проблем. Потребности граждан включают не только экологически благоприятные условия жизни, но и рабочие места, заработную плату, достойный уровень жизни.

Как показывает европейский и мировой опыт, наиболее совершенным инструментом установления разумного баланса между экологическими, экономическими и социальными интересами является выдача промышленным предприятиям комплексных разрешений на выбросы, сбросы, размещение отходов на основе технологического нормирования с использованием наилучших доступных технологий (НДТ). Технологическое нормирование не заменяет нормативов качества окружающей среды, его использование позволяет минимизировать все виды негативного воздействия на окружающую среду. Применение технологических нормативов позволяет достичь сокращения выбросов поэтапно, не ставя перед предприятием невыполнимых задач, существенно упрощая процедуры экологического и государственного контроля над деятельностью предприятия [1-3].

В европейских странах процедура выдачи разрешений на право хозяйственной деятельности законодательно закреплена Директивой № 2010/75/ЕС Европейского парламента и совета ЕС о промышленных выбросах (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним) от 24.11.2010 г/ [1].

Действие Директивы распространяется на Европейское экономическое пространство, что, с учетом перспектив подписания ассоциации с ЕС, требует от Украины приведения нормативной базы в соответствие требованиям ЕС, постепенной подготовки предприятий к новым правилам работы. Директива охватывает отрасли промышленности, оказывающие наибольшее воздействие на окружающую среду, и основана на комплексном подходе выдачи разрешений

**Збагачення корисних копалин, 2013. – Вип. 53(94)**

## **Екологія**

на выбросы и сбросы загрязняющих веществ на основе наилучших доступных технологий.

Документ предусматривает технологические нормативы для предприятий, проводящих сжигание газообразного, твердого или жидкого топлива. Учитывая тенденцию по постепенному сокращению потребления экспортируемых энергоносителей (в первую очередь газа и нефтепродуктов) открывается широкие возможности по более масштабному применению угля, запасы которого в Украине значительны.

Вместе с тем, на данный момент, в значительной степени выработаны мощные и богатые угольные пласты, расположенные на небольшой глубине. Это приводит к необходимости разрабатывать более бедные, глубокозалегающие, с высоким содержанием пустой породы пласты, а так же более широко использовать бурый уголь, отходы углеобогащения и другие вторичные энергоресурсы. Одной из главных препятствий более широкого применения таких углей является высокое содержание соединений серы и золы. Их наличие приводит к значительному увеличению удельных выбросов основных загрязняющих веществ, которые нормируются директивой ЕС, в первую очередь монооксид углерода (карбон(II)оксид CO), диоксид серы (сульфур(IV)оксид SO<sub>2</sub>), оксиды азота (нитроген оксиды NO<sub>x</sub>) [1].

Образование оксидов азота обусловлено высокотемпературной инверсией атмосферного азота и их количество определяется условиями проведения процесса сжигания топлива. Сернистый ангидрид образуется при сжигании серы содержащейся в угле.

Содержание серы один из важнейших критериев пригодности угля для применения как энергоносителя или сырья для переработки. Украина располагает значительными запасами угля, которые не добываются, не смотря на благоприятные геологические условия, в связи с высоким содержанием в нем серы. Считается, что в среднем содержание серы в угле не превышает 1,0–1,5 % (масс.), однако ряд месторождений располагают значительными запасами угля с содержанием серы от 7 до 10 %. Кроме того, в Украине постоянно возрастает количество вторичных энергоносителей (отходы углеобогащательных фабрик), которые так же характеризуются повышенным содержанием серы. Прямое сжигание высокосернистых твердых энергоносителей, в частности на теплоэлектростанциях, сопровождается не только массовыми выбросами сернистого ангидрида, но и приводит в ускоренной коррозии оборудования [4].

Разработка технологий, обеспечивающих экологически безопасное сжигание углей с высоким содержанием серы, позволит значительно расширить топливную базу Украины, а также снизить себестоимость добычи угля, за счет разработки новых, мощных месторождений.

В украинских углях различаются колчеданная (пиритная), органическая, сульфатная и элементарная серы.

Колчеданная (пиритная) сера – основной вид сернистых соединений в углях, на ее долю в среднем приходится 62% общего содержания серы. Формы включений серного колчедана в угольные пласты различны. Колчедан, образо-

вавшийся в период угленакопления, распределен по угольному веществу равномерно, в тонкодисперсной форме и, как правило, связан с органической массой угля. Сернистый колчедан, образовавшийся по трещинам усыхания путем инфильтрации после прекращения процесса угленакопления, распределен грубодисперсно, локализовано – в виде линз, желваков, зерен, гнезд. Он представляет включения в виде примесей, доступных выделению механическим способом.

Органическая сера равномерно распределена по всему угольному веществу, ее невозможно выделить. Диапазон содержания органической серы в украинских углях 0,3-0,5%, но встречается 2,5-3%; такое бывает и в пределах одного пласта на близлежащих участках. Это говорит о том, что органическая сера образовалась не только за счет серы исходного растительного материала. Органические сернистые его соединения соответствуют примерно 0,3-0,5% серы в угле. Полагают, что источниками образования вторичной серы была элементарная сера, которая при соответствующих условиях взаимодействовала с органическим веществом и увеличивала количество органической серы.

Сульфатная сера в украинских углях содержится в небольшом количестве (до 0,1%), чаще встречается в углях, долго хранящихся на поверхности. Эта форма серы – результат окисления пирита, в угле она в виде тонких примазок из гипса. Элементарная сера – остатки серы, которая не прореагировала с углем, она распределяется в виде тонкодисперсных соединений. В угле ее около 0,15%.

В балансе сернистости углей существенную роль играют колчеданная и органическая серы. Незначительную – сульфатная и элементарная. В углях невысокой сернистости преобладает сера органическая (около 60% общего ее содержания). В высокосернистых – колчеданная, а доля органической серы уменьшается до 30%. Выраженной закономерности в соотношении между колчеданной и органической серами, как по мощности угольного пласта, так и по его простирацию не наблюдается.

Сульфатная сера входит в минеральную часть топлива в виде сульфатов  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{FeSO}_4$  и поэтому в процессе горения дальнейшему окислению не подвергается. Сульфатные соединения серы химически инертны, при горении переходят в золу и потому опасности для окружающей среды практически не имеют.

Экологическую опасность представляют элементарная, органическая и колчеданная сера. Причем если колчеданная и элементарная серы могут быть отделены от угля различными физико-химическими методами, то органическая сера распределена по всему веществу топлива и не может быть удалена обогащением. При горении оставшиеся после обогащения элементарная и колчеданная серы, а так же органическая сера сгорают с выделением теплоты и образованием сернистого ангидрида.

Перспективное направление сокращения выбросов загрязняющих веществ до норм, предусмотренных директивой ЕС – создание композиционного жидкого топлива, в состав которого введены компоненты, обеспечивающие надежное

## Екологія

и эффективное связывание кислотообразующих газов в стабильные соединения. Таким топливом является суспензионное топливо на основе органических дисперсионных сред, в частности на основе нефтяных шламов и жидких продуктах пиролиза полимерных отходов [5-8].

Целью нашей работы было проведение сравнительного анализа выбросов образующихся при сжигании стандартного жидкого топлива (топливный мазут) и топлив разработанного состава и их сравнение с нормативами допустимых выбросов для предприятий, проводящих сжигание газообразного, твердого или жидкого топлива Европейского сообщества.

Для энергогенерирующих установок использующих твердое и жидкое топливо документ предусматривает контроль удельных выбросов в атмосферу по трем показателям –  $\text{NO}_x$  (в единицах  $\text{NO}_2$ ); суммарная сера; пыль – взвешенные вещества. Установленные нормы приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Пороговые значения выбросов ( $\text{мг/м}^3$ ) для  $\text{SO}_2$  для заводов по сжиганию, использующих твердое или жидкое топливо

Совокупная номинальная тепловая мощность (MW)	Уголь и бурый уголь, а также иные виды твердого топлива	Биомасса	Торф	Жидкое топливо
50-100	400	200	300	350
100-300	250	200	300	250
> 300	200	200	200	200

Таблица 2

Пороговые значения выбросов ( $\text{мг/м}^3$ ) для  $\text{NO}_x$  для заводов по сжиганию, использующих твердое или жидкое топливо

Совокупная номинальная тепловая мощность (MW)	Уголь и бурый уголь, а также иные виды твердого топлива	Биомасса и торф	Жидкое топливо
50-100	300 450 при сжигании pulverизированного бурого угля	300	450
100-300	200	250	200
> 300	200	200	150

Таблица 3

Пороговые значения выбросов ( $\text{мг/м}^3$ ) для аэрозольных частиц для заводов по сжиганию, использующих твердое или жидкое топливо

Совокупная номинальная тепловая мощность (MW)	Уголь и бурый уголь, а также иные виды твердого топлива	Биомасса и Торф	Жидкое топливо
50-100	30	30	30
100-300	25	20	25
> 300	20	20	20

Нами разработан состав композиционного топлива, технологическая схема его получения и предложена конструкция горелки для его сжигания (рисунок).

*Проведенные испытания на пилотной установке показали*

Как видно из приведенных данных физико-химические, эксплуатационные (таблица 4) и экологические (таблица 5) характеристики полученных систем позволяют использовать их как топливо. Учитывая доступность и относительную дешевизну исходного сырья, такой вид топлива может успешно конкурировать с традиционными видами жидкого топлива. Преимуществом топлива рекомендуемого состава является возможность его применения без подсветки.

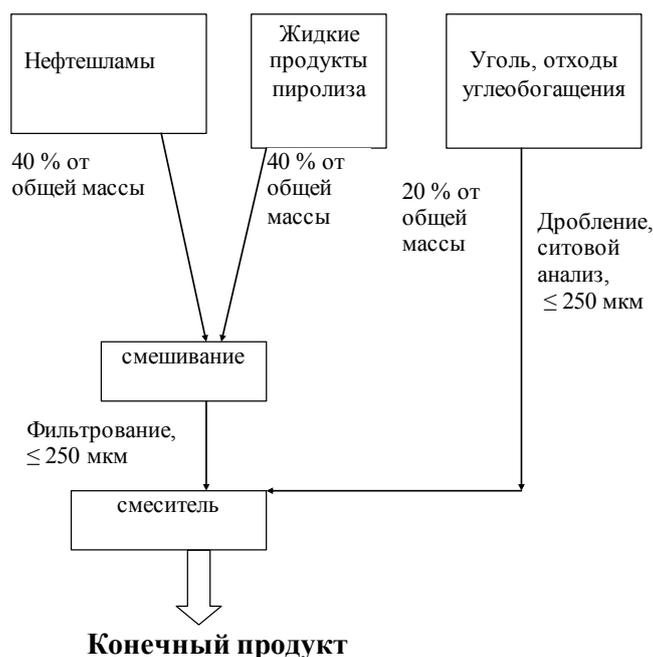


Схема получения альтернативного суспензионного топлива на основе вторичных энергоресурсов

Таблица 4

Физико-химические и эксплуатационные характеристики смеси нефтяные шламы – жидкие продукты пиролиза – уголь

Образец	Эффективная вязкость, Па·с	Седиментационная устойчивость, сутки	Степень выгорания топливной составляющей (%)	Теплообразующая способность (кДж/кг)	Удельные выбросы SO <sub>2</sub> , кг/ГДж
1	2	3	4	5	6
Исходная смесь жидкие продукты пиролиза резины + нефтяные шламы	0,45	8	100	38600	0,680
Исходная смесь + 20% уголь марки "Г"	0,86	19	99,5	43250	0,720

1	2	3	4	5	6
Исходная смесь + 20% отходы угля марки "Г"	1,05	23	98,0	41500	0,560
Исходная смесь + 20% бурый уголь	0,95	22	98,5	42000	0,640
Исходная смесь + 20% антрацит	0,75	14	99,3	41200	0,660
Исходная смесь + 20% пирокарбон	1,25	28	96,5	44500	0,700

*Таблица 5*

Экологические параметры сжигания стандартного топлива и топлив предложенного состава

Образец	Выбросы загрязняющих веществ, мг/м <sup>3</sup>	Температура газов, °С
Топливный мазут	NO <sub>2</sub> – 7,86 CO – 545,3 SO <sub>2</sub> – 0	318
Суспензия на основе угля "Г"	NO <sub>2</sub> – 12,81 CO – 193,9 SO <sub>2</sub> – 5,33	536
Суспензия на основе угля "Г" + Ca(OH) <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> – 9,05 CO – 175,2 SO <sub>2</sub> – 0	523
Суспензия на основе отходов угля "Г"	NO <sub>2</sub> – 16,23 CO – 492,9 SO <sub>2</sub> – 6,33	424
Суспензия на основе бурого угля	NO <sub>2</sub> – 8,37 CO – 112,1 SO <sub>2</sub> – 0	376
Суспензия на основе антрацита	NO <sub>2</sub> – 2,05 CO – 606,3 SO <sub>2</sub> – 3,00	486
Суспензия на основе пирокарбона	NO <sub>2</sub> – 18,11 CO – 691,46 SO <sub>2</sub> – 5,67	498

Проведенный сравнительный анализ значений выбросов установленных директивой ЕС и данных, полученных при проведении испытаний на пилотной установке мощность до 50 MW показали, что достигаемые значения выбросов по оксидам серы и азота значительно ниже установленных документом. Зольная составляющая, образующаяся при сжигании суспензионного топлива, агломерируется в агрегаты размером 2-3 мм. Выход "летучей золи" с субмикронным размером сокращается, согласно проведенным экспериментальным расчетом в 20-50 раз.

По сравнению с традиционным топливом экологические характеристики топлив предлагаемого состава, с учетом предусмотренного директивой рационального расположения и утилизации твердых и жидких отходов, намного превосходят показатели традиционных видов топлива. Широкое внедрение топлив разработанного состава полностью отвечает духу Директивы № 2010/75/ЕС Ев-

ропейского парламента и совета ЕС о промышленных выбросах (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним) от 24.11.2010 г.

Проведенные лабораторные исследования и опытно-промышленные испытания показали, что топливо разработанного состава имеет следующие преимущества:

*Экологические:*

- рациональная утилизация опасных отходов горнодобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, вторичных топливных энергоресурсов;
- экологическая безопасность на всех стадиях производства, транспортировки и применения;
- сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сокращение масштабов загрязнения гидросферы и литосферы.

*Технологические:*

- композиционное суспензионное топливо по своим физико-химическим характеристикам подобно жидкому топливу (мазут), и перевод теплогенерирующих систем не требует существенных конструктивных изменений;

*Экономические:*

- затраты на модернизацию оборудования окупаются, согласно проведенным расчетам, за 1,5-2 года

**Список литературы**

1. Директива № 2010/75/ЕС Европейского парламента и совета ЕС о промышленных выбросах (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним) от 24.11.2010 г.
2. Применения технологического нормирования для оценки сброса биологически очищенных сточных вод на ОАО "Архенгельском ЦБК" / В.И. Белоглазов, Т.В. Соболева, Т.Ф. Личутина и др. // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – №7. – С. 65-70.
3. Цыганов С.П., Личутина Т.Ф., Гусакова М.А., Вишнякова А.П. Газовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в ОАО "Монди Сыктывкарский ЛПК" // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – №5. – С. 56-69.
4. Вдовиченко В.С., Мартинова М.И., Новицкий Н.В., Юшина Г.Д. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий газ): Справ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 184 с.
5. Дегтяренко Т.Д., Завгородний В.А., Макаров А.С., Борук С.Д. Адсорбция лигносульфонатов на поверхности частиц твердой фазы высококонцентрированных водоугольных суспензий // Химия твердого топлива. – 1990. – №1. – С. 92-97.
6. Егурнов А.И., Борук С.Д., Винклер И.А. Физико-химические принципы получения композиционного топлива на основе вторичных топливных энергоресурсов // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 44(85). – С. 167-173.
7. Борук С., Трояновська Н., Борук І. Фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики сумішей нафтові шлами – рідкі продукти піролізу полімерних матеріалів // "Львівські хімічні читання-2011" XIII наук. конф.: Зб. наук. праць. Львів, 28 травня – 1 червня 2011 р. – Львів: видав. ЛНУ ім. І. Франка, 2011. – С. Д23.
8. Егурнов А.И., Борук С.Д. Физико-химические основы получения угольного суспензионного топлива на основе органических дисперсионных сред // Современная наука: Сб. науч. ст. – 2011. – №1(6). – С. 70-75.

© Егурнов А.И., Борук С.Д., Винклер И.А., Трояновская Н.М., 2013

*Надійшла до редколегії 29.04.2013 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*