

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.311.182

С. П. Высоцкий¹, д-р техн. наук, Е. А. Мазур²

1 – ГОУВПО Донбасская национальная академия строительства архитектуры, г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Приведены расходы потоков топлива, газовых выбросов и охлаждающей воды на энергоблоках 200 МВт. Выполнено сравнение эффективности различных систем пылеулавливания. Для снижения содержания в газовых выбросах диоксида серы рассмотрена альтернативная технология с использованием магнитных сепараторов. Учитывая прогрессирующее снижение концентрации серы в технологическом сырье, предложено использование энергохимических комплексов или создание технологических надстроек на существующих ТЭС.

Ключевые слова: выбросы диоксида серы, магнитная сепарация, эффективность пылеулавливания, энергохимический комплекс

Введение

Производство и, соответственно, потребление энергии оказывает значительное влияние на среду обитания человека. В большинстве стран, в том числе в ДНР, производство энергии осуществляется на тепловых электростанциях (ТЭС). Неблагоприятное воздействие ТЭС на окружающую среду многостороннее, а именно:

- загрязнение атмосферы выбросами продуктов сжигания топлива: пыли, диоксида серы и оксидов азота, диоксида углерода;
- загрязнение гидросферы за счет выщелачивания токсичных соединений из золоотвалов, сбросов засоленных стоков из водоподготовительного оборудования и продувки оборотных систем конденсации пара в конденсаторах турбин;
- загрязнение литосферы за счет отчуждения больших территорий под золоотвалы и системы транспорта энергоресурсов.

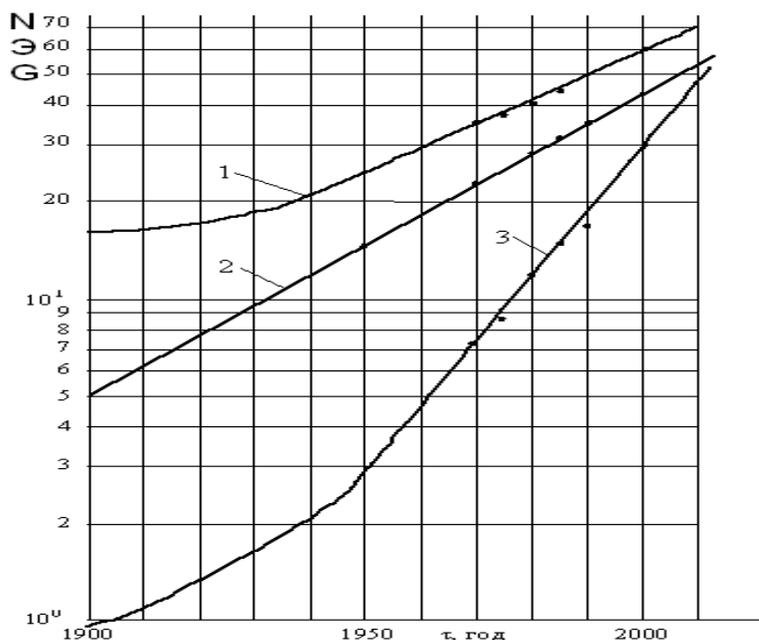
Производство и потребление энергии происходит одновременно. Накопление энергии практически невозможно. Электрические аккумуляторы имеют весьма малую емкость. Доля накопления в гидроаккумулирующих установках тоже незначительна. Каждая, не вовремя выключенная электрическая лампочка, незакрытый водопроводный кран влечет за собой необходимость дополнительной нагрузки на энергетические установки и дополнительных выбросов загрязнителей.

Производство электрической энергии в мировой практике постоянно увеличивается. На рисунке 1 приведены обработанные статистические данные изменения численности населения Земли (1), удельного энергопотребления (2) и потребления энергоресурсов (3). Как видно из представленных данных, рост производства электрической энергии опережает рост населения. Удельное энергопотребление растет экспоненциально с течением времени, что позволяет прогнозировать изменение потребления энергоресурсов и, соответственно, количество выбросов загрязнителей в окружающую среду.

Использование угля в прошлом веке постепенно уменьшалось. Этому способствовало относительное увеличение стоимости угля по сравнению с нефтью и газом и давление «зеленых». Альтернативой углю стало наиболее экологически чистое ископаемое топливо – природный газ, а также атомные электростанции. Рост производства энергии на атомных электростанциях продолжался до аварии на Чернобыльской АЭС. После аварии произошло осо-

знание большой опасности этого вида получения энергии.

В последние десятилетия основное внимание общественности уделяется вопросам загрязнения атмосферы парниковыми газами: диоксидом углерода и парами воды, а также диоксидом серы и оксидом азота, являющихся причиной кислотных дождей. Воздействие этих загрязнителей имеет глобальное значение. Наибольшую опасность представляет нарушение функционирования «технических машин» погоды. Таяние вечной мерзлоты в высоких широтах приведет к гниению огромных масс растительности, что вызовет эмиссию метана, который в 21 раз интенсивнее действует на парниковый эффект по сравнению с диоксидом углерода. Эмиссия потенциально кислых газов неудовлетворительно влияет на среду обитания как в непосредственной близости от района расположения ТЭС, так и за счет трансграничных переносов на расстояниях нескольких тысяч километров от места расположения источников выбросов.



1 – народонаселение, млрд человек, $N \cdot 10^{-1}$; 2 – удельное энергопотребление, $\text{Э} \cdot 10^{-1}$, т. у. т/чел;
3 – потребление топливно-энергетических ресурсов, G, млрд т. у. т

Рисунок 1 – Изменение численности населения Земли, потребления энергоресурсов и удельного энергопотребления

До недавнего времени предотвращение загрязнения атмосферы на отечественных ТЭС включало только использование электрофильтров для улавливания пыли и установку сверхвысоких дымовых труб для увеличения площади рассеивания загрязнителей. Оба решения в настоящее время являются недостаточными и устаревшими.

Анализ публикаций и предшествующих достижений

В мировой практике произошло осознание большой опасности эмиссии загрязнения окружающей среды. На большей части энергетического оборудования в развитых странах внедрены системы очистки газовых выбросов от диоксида серы и повсеместно применяются установки очистки газов от пыли. Традиционным источником выбросов, поступающих в окружающую среду, являются продукты сжигания твердого топлива: летучая зола, диоксид углерода и диоксид серы. Кроме этого, в окружающую среду поступают оксиды азота NO_x , которые образуются в основном в результате окисления азота воздуха при температуре выше 1000°C . Для очистки газовых выбросов от пыли на установках малой производительности применяются преимущественно циклонные аппараты [1, 2]. Несмотря на простоту и надежность эксплуатации, указанные аппараты имеют относительно низкую эффективность по удалению высокодисперсных частиц пыли [3], которые являются более токсичными прежде

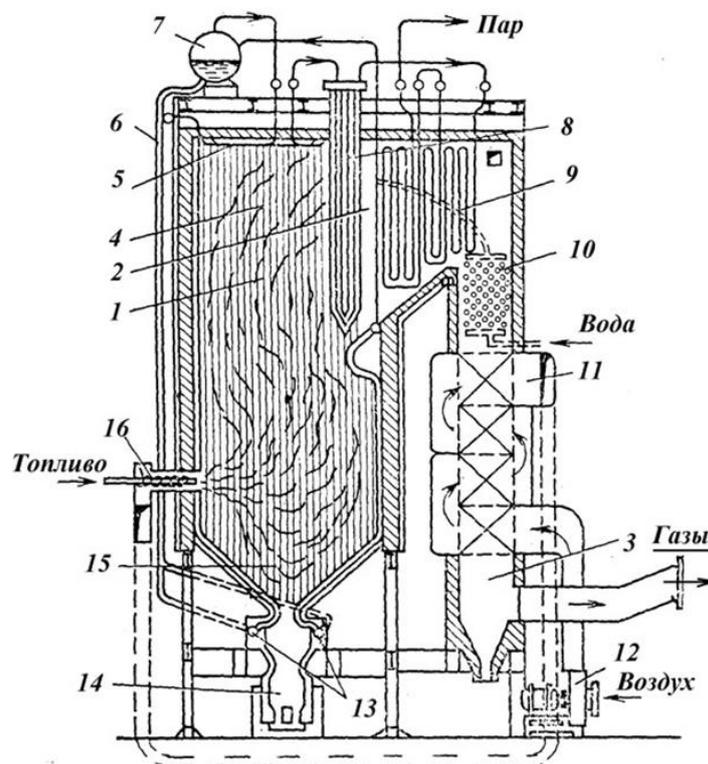
всего для здоровья человека. Для снижения выбросов диоксида серы используют сухие, полусухие и мокрые методы десульфуризации. Эффективность их применения возрастает соответственно – 40 %, 75–80 % и 90–95 %. При увеличении эффективности сероулавливания также появляются дополнительные проблемы, состоящие в наличии значительного количества жидких стоков и существенном повышении стоимости основного оборудования [4, 5]. Особенности работы мокрых систем сероочистки с использованием в качестве сорбента размолотого известняка изложены в публикациях [6, 7]. Область применения указанных систем обычно ограничивается пределами содержания соединений серы в топливе 1,5–3 %. При повышении верхнего предела значений соединений серы значительно усложняются проблемы эксплуатации оборудования вследствие увеличения расходов реагентов и возрастания опасности кристаллизации гипса в коммуникациях.

Целью работы является выбор оптимальных решений по сокращению эмиссии загрязнителей при генерации электрической энергии.

Изложение основного материала исследования

Производство электрической энергии на современных ТЭС осуществляется в основном на энергетических блоках 200 и 300 МВт. Основная часть загрязнителей при генерации электрической энергии поступает в атмосферу при сжигании твердого топлива в котлах. На энергетических блоках 200 МВт установлены котлы ТП-100 с естественной циркуляцией, производства Таганрогского котельного завода, с производительностью 640 т/ч пара давлением 15/5 МПа и температурой перегрева пара 550 °С.

Схема барабанного котла ТП-100 с естественной циркуляцией приведена на рисунке 2.



- 1 – топочная камера (топка); 2 – горизонтальный газоход; 3 – конвективная шахта;
 4 – топочные экраны; 5 – потолочные экраны; 6 – спускные трубы; 7 – барабан;
 8 – радиационно-конвективный пароперегреватель; 9 – конвективный пароперегреватель;
 10 – водяной экономайзер; 11 – воздухоподогреватель; 12 – дутьевой вентилятор;
 13 – нижние коллекторы экранов; 14 – шлаковый комод; 15 – холодная коронка; 16 – горелки
- Рисунок 2 – Принципиальная схема котла ТП-100 (факельный метод)

Рассмотрим схему материальных потоков: топливо, тепловая и электрическая энергия, а также потоки воды и отходов. Схема рассчитана по программе, разработанной в Европейском союзе [2].

При сжигании в котле 136 т/ч твердого топлива марки АШ (3265 т/сутки) КПД котла составляет 86 %, а КПД генерации электрической энергии 33,7 %. В окружающую среду поступают 0,93 млн нормальных м³ влажных дымовых газов в час. Содержание загрязнителей в дымовых газах следующее: зола – 50 г/нм³; NO_x – 579 мг/нм³; SO₂ – 2343 мг/нм³; CO₂ – 221 г/нм³ и пары воды – 55,4 г/нм³. Расход указанных загрязнителей составляет: зола – 14 кг/с; NO_x – 150 г/с; SO₂ – 610 г/с; CO₂ – 57,2 кг/с и H₂O – 55,4 кг/с. Кроме этого, в систему гидрозолоудаления поступает 5,59 т/ч шлаков из нижней части топки котла.

Например, для удаления из дымовых газов летучей золы на Старобешевской ТЭС установлены электрофильтры на каждом из энергоблоков. Степень удаления летучей золы равна 99,5 %, расход золы составляет 13,9 кг/с или 50 т/ч.

Процесс очистки дымовых газов от частиц пыли может быть реализован при использовании других технических устройств: рукавных фильтров, электрофильтров с увлажнением газового потока и мультициклонов. Последние отличаются самой низкой эффективностью по удалению частиц малого размера. Самую высокую эффективность сепарации имеют рукавные фильтры и электрофильтры с увлажнением газового потока. Однако применение рукавных фильтров сопряжено с повышенными эксплуатационными затратами, а увлажнение потока газов вызывает коррозию дымовых труб и самих электрофильтров. На рисунке 3 показаны сравнительные данные использования различных систем улавливания пыли [3].

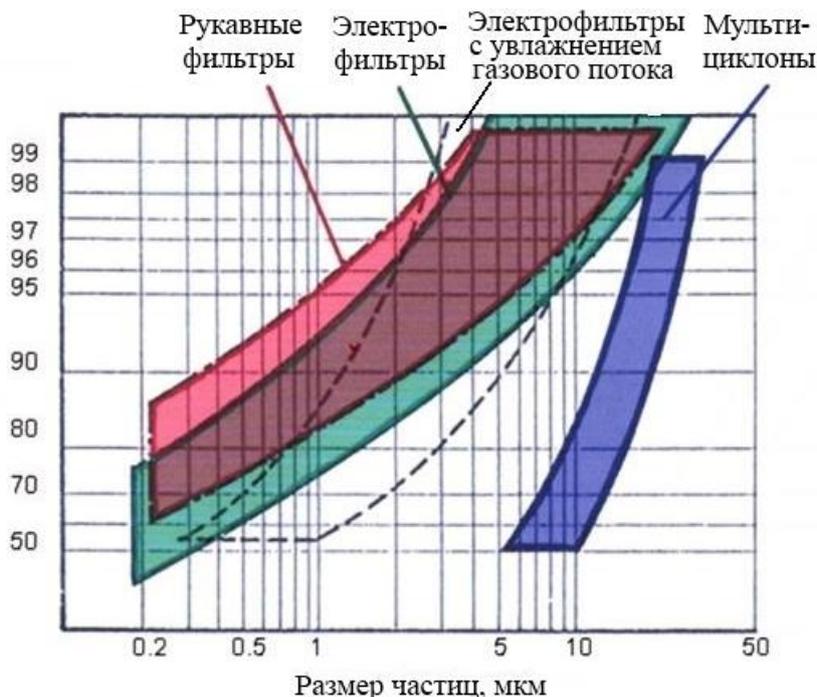


Рисунок 3 – Эффективность использования различных методов улавливания пыли

Кроме загрязнения атмосферы, энергетические блоки являются источником значительного воздействия на гидросферу. Поверхностные водные источники подвергаются тепловому загрязнению от сбросов тепла с охлаждающей водой после конденсаторов, сбросов засоленных стоков после систем гидрозолоудаления и установок приготовления обессоленной воды.

Основная потеря тепла (~ 47 %) на энергетической установке происходит с охлаждающей водой в конденсаторе турбины. Расход охлаждающей воды, которая захлаживается в пруде-охладителе ТЭС, составляет 22,025 г/с (79290 т/ч).

Отечественная энергетика не располагает достаточными средствами для внедрения

крупномасштабных установок сероочистки [4]. Предварительная десульфурация и обогащение углей может рассматриваться как одно из основных направлений сокращения выбросов диоксида серы и пыли. Анализ состава углей Донецкого бассейна показывает, что основная масса соединений серы представлена пиритными включениями (FeS_2). Последние имеют парамагнитные свойства и могут быть удалены с использованием магнитных сепараторов. Указанные аппараты выпускались до военных действий в регионе на Луганском машиностроительном заводе. Общий вид магнитного сепаратора показан на рисунке 4.

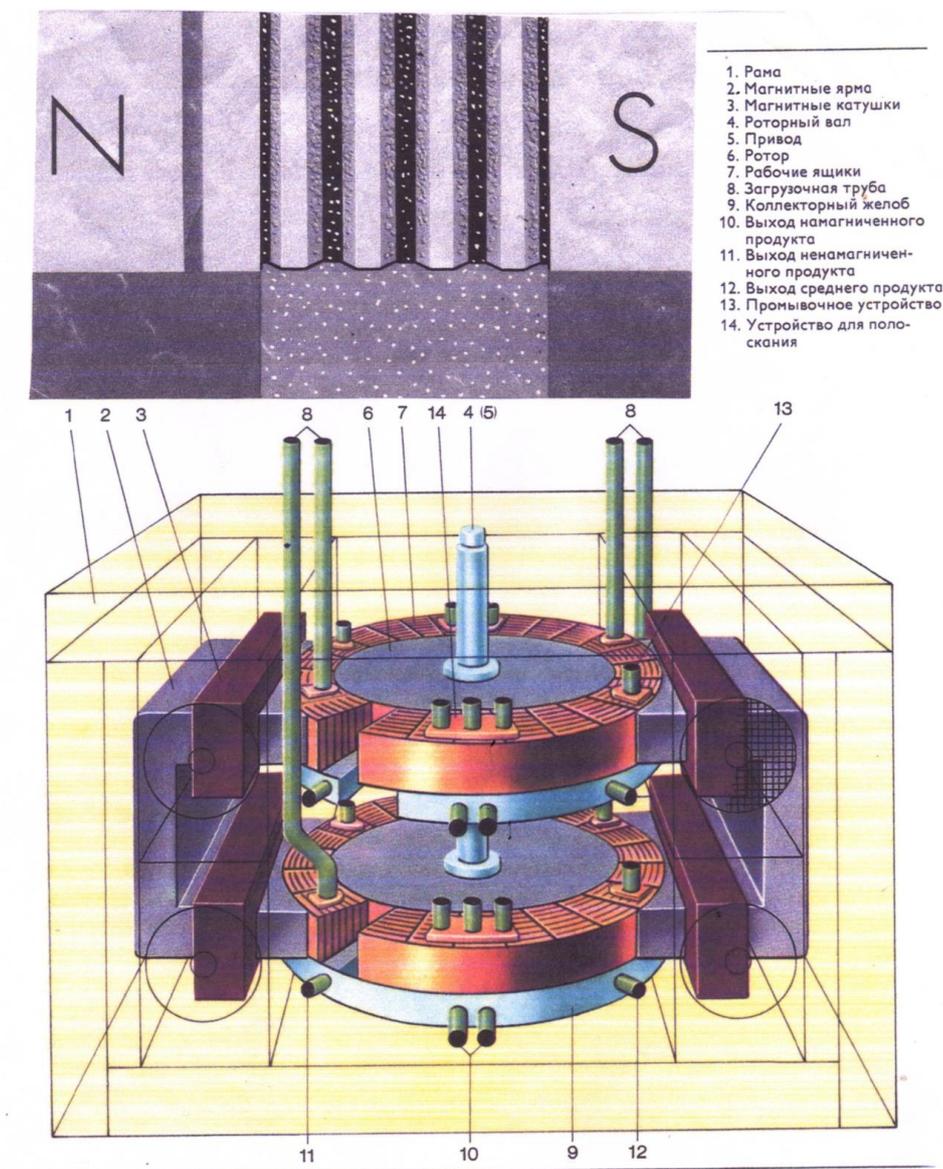


Рисунок 4 – Схема магнитного сепаратора

Сложность использования сепараторов состоит в том, что для удаления из углей пиритных включений требуется достаточно тонкое измельчение углей до крупности менее 0,1 мкм. Однако использование высокоградиентных сепараторов с применением особых матриц дает возможность извлечения магнитным методом 55–76,4 % общей серы и 65–80 % золы из углей донецких месторождений.

Полученный обогащенный соединениями серы материал сжигается на энергетическом блоке, оборудованном системой очистки газов, а очищенный угольный концентрат сжигается на энергетических блоках, не оборудованных системой очистки. С учетом высокой концентрации соединений серы в отсепарированном материале, может быть использована реге-

неративная система очистки, например по методу Веллман-Лорд.

Учитывая то, что во всех странах имеет место постепенное истощение природных ресурсов, возникает необходимость применения в технологических процессах более бедного сырья. При этом целесообразно использовать отходы определенных производств в качестве сырья для производства востребованных технологических продуктов. Такими востребованными продуктами являются серная кислота, диоксид серы и элементарная сера. В условиях, когда увеличивается доля использования высокосернистых углей Донецкого бассейна, оптимальным решением является превращение недостатка в положительное свойство. В этом случае в Донбассе целесообразно преобразование энергетических объектов в энергохимические комплексы. Эффективность второй стадии использования топлива с переработкой продуктов сжигания высокосернистых углей в востребованный продукт существенно увеличивается при использовании указанных выше магнитных сепараторов.

Выводы

1. В мировой практике происходит опережающий рост удельного энергопотребления по сравнению с увеличением численности населения планеты. Это приводит к катастрофическим последствиям вследствие нарушения функционирования тепловых машин погоды, возникновению мировых катаклизмов, заболеваний на огромных территориях и пр.

2. Обоснована целесообразность использования магнитных сепараторов для снижения эмиссии диоксида серы за счет применения электромагнитного обогащения размолотой угольной пыли.

3. В результате истощения природных ресурсов и применения в технологических процессах более бедного сырья, возникла острая необходимость использования отходов отдельных производств в качестве технологического сырья. Одним из таких решений является строительство энергохимических комплексов или достройка на базе существующих тепловых электростанций предприятий химической технологии.

Список литературы

1. Effect of Cyclone Diameter on Performance / W. B. Faulkner, M. D. Buser, D. P. Whitelock, B. W. Shaw // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2007. – Vol. 50. – P. 1053–1059.
2. Mathematical Modeling of Cyclones – Dust Collectors for Air Pollution Control / Marcia Peixoto Vega [et al.] // Chemical Engineering Transaction. – 2013. – Vol. 32. – P. 2167–2172.
3. Taiwo, Muhammad I. Design and Analysis of Cyclone Dust Separator / Muhammad I. Taiwo, Muhammad A. Namadi, James B. Mokwa // American Journal of Engineering Research. – 2016. – Vol. 5, Iss. 4. – P. 130–134.
4. Высоцкий, С. П. Повышение экологических показателей при сжигании твердого топлива / С. П. Высоцкий, А. С. Гавриленко, С. А. Князев // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2017. – № 4 (23). – С. 46–56.
5. Effects of Boiler Operation on Wet Flue Gas Desulphurization System / Manyin Hu [et al.] // American Society, Division Fuel Chemistry. – 2004. – Vol. 29 (2). – P. 931–933.
6. Klingspor, Jonas S. Techniques for Improving FGD System Performance to Achieve Ultra-High SO₂ Removal Efficiencies / Jonas S. Klingspor, Greg N. Brown. – Austin : URS Corporation, 2016. – 4 p.
7. Vlassopoulos, Theodor. Present Condition of Flue Gas Cleaning at Thermal Power Station / Theodor Vlassopoulos, Sergey Vysotskey // Зб. наук. пр. Луган. нац. аграр. ун-ту. Сер. Технічні науки // Экология промышленных регионов : II Междунар. науч.-практ. конф., 28–31 янв. 2008 г. – Луганск, 2008. – № 81. – С. 363–375.

С. П. Высоцкий¹, Е. А. Мазур²

1 – ГОУВПО Донбасская национальная академия строительства архитектуры, г. Макеевка,

2 – Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Перспективные технологии снижения эмиссии загрязнителей на тепловых электростанциях

Производство и, соответственно, потребление энергии вызывает значительное загрязнение атмосферы и гидросферы. Темпы роста производства энергии существенно превышают скорость увеличения численности народонаселения, что приводит к неудовлетворительным последствиям для планеты.

Отсутствие инвестиций и состояние экономики в ряде стран бывшего Советского Союза не позволяют осуществлять достаточно дорогие природоохранные мероприятия. Это вынуждает осуществлять поиск альтернативных решений по внедрению систем очистки газовых выбросов на ТЭС.

Приведены расходы потоков топлива, газовых выбросов и охлаждающей воды на энергоблоках 200 МВт. Выполнено сравнение эффективности различных систем пылеулавливания. Наиболее широко применяются для пылеулавливания на отечественных ТЭС электрофильтры. Циклоны используются в основном для сепарации крупных частиц после размолта топлива в шаровых мельницах. Крупная фракция направляется на дополнительный размол. Наибольшую эффективность по улавливанию пыли имеют рукавные фильтры и электрофильтры с увлажнением газового потока. Применение таких решений сопряжено с дополнительными эксплуатационными затратами.

Для снижения содержания в газовых выбросах диоксида серы рассмотрена альтернативная технология с использованием магнитных сепараторов. Сложность использования обогащения угля и удаления из него пиритных включений состоит в том, что требуется достаточно тонкое измельчение углей. Использование высокоградиентных сепараторов с применением особых матриц обеспечивает возможность извлечения магнитным методом 55–76 % общей серы и 65–80 % золы из углей донецких месторождений. Полученный обогащенный соединениями серы материал сжигается на энергетических блоках, оборудованных системой очистки газов, а очищенный уголь сжигается на энергетических блоках, не оборудованных системой очистки. Учитывая прогрессирующее снижение концентрации серы в технологическом сырье, предложено использование энергохимических комплексов или создание технологических надстроек на существующих ТЭС.

ВЫБРОСЫ ДИОКСИДА СЕРЫ, МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ, ЭНЕРГОХИМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

S. P. Vysotskii¹, E. A. Mazur²

1 – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka,

2 – Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka

Perspective Technologies of Pollutants Emission Reduction at Thermal Power Stations

Production and therefore energy consumption cause significant pollution of the atmosphere and hydrosphere. Rates of the power production growth substantially exceed an increase in population size. It leads to negative effects for the planet.

Lack of investments and the state of economy in some countries of the former USSR do not allow to implement nature-conservative measures which are rather expensive. It forces to seek alternative solutions to implement cleaning systems of gassings at thermal power stations.

Consumption of fuel flows, gassings and cooling water at power units are shown. Comparison of the efficiency of various dust collection systems is carried out. At domestic thermal power stations, electric precipitators are most widely used. Cyclones are used in general for separation of coarse particles after the fuel grinding in ball grinders. Coarse grain is directed to additional grinding. Bag filters and electric precipitators with humidification of gas flows have the highest efficiency in dust collecting. The application of these solutions involves additional operating costs.

To reduce sulfur dioxide content in gassings the alternative technology with magnetic separators is considered. The difficulty of the coal cleaning application and removal of pyrite inclusions from it is in fine grinding of coals. The application of high-gradient separators with special matrices ensures the possibility of total sulfur 55–76 % and 65–80 % ashes removal from coals of Donetsk deposits by the magnetic method. Obtained material enriched by sulfur compounds is burnt at power units equipped with gas cleaning systems but cleaned coal is burnt at power units, which are not equipped with cleaning system. Taking into account progressing reduction of the sulfur concentration in technological raw materials it is suggested to use energy and chemical complexes or to create technological superstructures at existing thermal power stations.

SULFUR DIOXIDE EMISSIONS, MAGNETIC SEPARATION, DUST COLLECTION EFFICIENCY, ENERGY AND CHEMICAL COMPLEX

Сведения об авторах:

С. П. Высоцкий

SPIN-код: 7497-0100
Scopus Author ID: 7004891012
ORCID ID: 0000-0002-2988-7245
Телефон: +38 (071) 391-35-97
Эл. почта: sp.vysotsky@gmail.com

Е. А. Мазур

Эл. почта: el.mazur2020@yandex.ru

Статья поступила 29.02.2018

© С. П. Высоцкий, Е. А. Мазур, 2018

Рецензент: А. П. Карпинец, канд. хим. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»