УДК 664.1:614.841.12; 622.822

Борисенко Д.И. − к.т.н., Московский государственный университет технологий и управления, Москва, Россия
Липовецкий А.В. − аспирант, Московский государственный университет технологий и управления, Москва, Россия

СОПОСТАВЛЕНИЕ СПЕКТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ОБРАЗЦЕ УГЛЯ ПРИ ГОРЕНИИ, ВЫЗВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ СФОКУСИРОВАННЫМ СОЛНЕЧНЫМ СВЕТОМ И ОТКРЫТЫМ ПЛАМЕНЕМ

Работа посвящена проблеме диагностики очагов пожара в насыпях угля. Такие ситуации могут иметь место в любых угольных скоплениях. Например, на тепловых электростанциях, в бункерах судов, на складах угля. Работа может быть актуальна в горном деле для поиска очагов пожара в отвалах горного производства. Если при санкционированном сжигании, например, в топках, вредные продукты горения улавливаются специальными фильтрами, то при возгорании на складах никаких фильтров нет, и вредные продукты горения попадают в окружающую среду. Эта проблема особенно актуальна на производстве сахара, когда вредные продукты горения попадают в продукты питания. В работе впервые проведен эксперимент по регистрации акустического излучения, которое возникает в образце угля при горении, вызванном различными причинами. Такими причинами были сфокусированный солнечный свет и открытое пламя горящего изобутана. Получены спектральные характеристики для акустических импульсов, возникающих в этих ситуациях. Проведено сопоставление спектральных характеристик таких импульсов. Показаны сходства и различия спектральных характеристик этих импульсов для условий эксперимента. Делается вывод о возможности диагностики очагов возгорания в угольных скоплениях по акустическому излучению. Предлагаются возможные варианты реализации высказанного способа диагностики.

Введение

Данная статья, прежде всего, посвящена проблеме диагностики очагов возгорания угля на складах ТЭЦ сахарного производства, но может быть актуальна и в горном деле, в частности при тушении терриконików.

Отдельную проблему составляет выделение вредных для здоровья продуктов горения угля. Для примера можно привести некоторые факты: при сжигании 1000 тонн каменного угля, до 16 тонн серы поступает

© Борисенко Д.И., Липовецкий А.В. 2013

в атмосферу в виде сернистого ангидрида, превращающегося в воздухе в серную кислоту [1], вредными компонентами в твердом топливе является сера, продуктами ее сгорания являются диоксид серы SO_2 и сернистый ангидрид SO_3, обладающие сильными коррозионными свойствами, к тому же еще и весьма токсичные [2]. Особую опасность представляют вредные выделения при несанкционированном горении: если в дымоходах промышленных объектов предусмотрена установка фильтров, то вокруг штабелей на складах ТЭС никаких очистных приспособлений не устанавливается. Наиболее страшная ситуация на сахарном производстве – когда токсичные выделения попадают в пищевые продукты. Для минимизации ущерба – как экономического, так и экологического – необходимо максимально быстро выявлять и подавлять очаги пожара и зоны самонагревания в скоплениях угля. В настоящее время в целях профилактики возгораний для борьбы с самонагреванием угля производят постоянное перекладывание угля в штабелях длительного хранения. Осуществляется это с помощью тяжелой техники (бульдозеров, экскаваторов и т. п.), что связано с постоянными – часто неоправданно большими – затратами (ГСМ, оплата труда персонала, амортизация техники). Так как склады угля имеют большую площадь, необходимо с помощью имеющихся средств производить поиск очагов пожара, а это не один десяток тысяч тонн угля, который необходимо проверить. Даже если уголь не используется, для его перекладывания в целях профилактики пожаров постоянно затрачиваются финансовые средства, таким образом, лежащий на складах уголь постоянно дорожает. За счёт больших объёмов происходит экономически ощутимая потеря угля, окисляющегося за время, которое пройдёт до устранения зон самонагревания.

В настоящей работе для определения координат зон возгорания предлагается использовать акустические волны, которые излучает уголь в процессе горения.

Методика исследования

Для определения акустических параметров был проведен эксперимент. Схема экспериментального стенда представлена на рис.1.

Образец угля (Минусинский длиннопламенный уголь марки ДПК, республика Хакасия Российской Федерации) размерами 90×55 мм (длина × эквивалентный диаметр) был обернут материалом Supersil [3], обеспечивающим тепловую и звуковую изоляцию и уложен на твердую поверхность. Торцы образца были отшлифованы. Один торец являлся рабочим – на него в процессе эксперимента оказывалось термическое воздействие. На противоположном торце был закреплен акустический датчик ДН-3-М1, который по линии передачи сигнала был соединен с персональным компьютером, для чистоты эксперимента работавшим от автономного источника питания. Провод, посредством которого произ-

водилась передача данных, так же был обернут изолирующим материалом Supersil во избежание теплового поражения при воздействии открытым пламенем горелки. Далее производилась регистрация акустических импульсов, которые возникали при тепловом воздействии на образец.

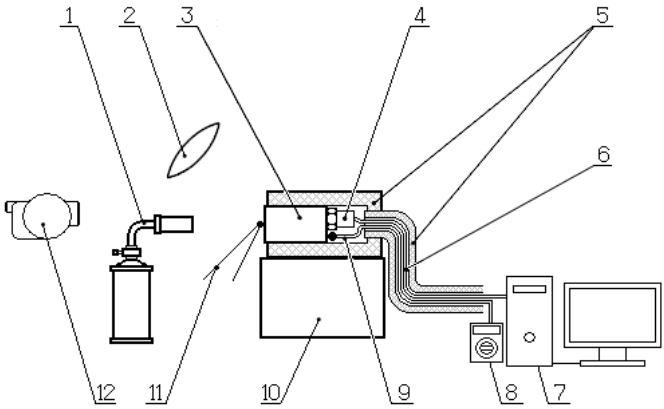

Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования акустических импульсов, возникающих в угле при горении: 1 – газовая горелка; 2 – собирающая линза; 3 – исследуемый образец угля; 4 – пьезоэлектрический датчик; 5 – теплоизоляция 6 – коаксиальный экранированный кабель; 7 – персональный компьютер; 8 – цифровой мультиметр; 9 – хромель-алюмелевая термопара; 10 – станина; 11 – платинородий-платиновая термопара; 12 – цифровая видеокамера

Тепловое воздействие представляло собой сфокусированный линзой MG3B-6 солнечный свет и открытое пламя горящего изобутана, направляемое газовой горелкой. По достижении самостоятельного горения угля горелка удалялась из зоны проведения эксперимента, чтобы не создавать дополнительных акустических шумов. Для анализа данных, полученных в результате воздействия сфокусированным солнечным излучением, приводим условия, в которых проводился эксперимент. Место: город Люберцы Московской области Российской Федерации; дата: 19 августа 2012 (воскресение); время: 13:30 – 15:40 мск; погода солнечная с переменной облачностью, без осадков.

Результаты и обсуждение

Результаты были зафиксированы и обработаны с помощью программы Adobe audition 3.0. Для регистрируемых акустических импульсов

фиксировались: t (время, с) и Апв (амплитуда первого вступления, усл. ед.), по которым определялась f (частота, вокруг которой сосредоточена основная энергия сигнала, Гц). Для обработки акустических импульсов, возникавших при воздействии открытым пламенем, выбирались интервалы времени, на которых происходило самостоятельное горение угля. Обработка происходила следующим образом. Для первых вступлений акустических импульсов, превышавших значение, соответствующее шуму и заданное по результатам предварительной тарировки, спектры подвергались разложению в интеграл Фурье. Полученным частотам ставились в соответствие значения первых вступлений акустических импульсов. Таким образом, каждому импульсу соответствует одна точка в пространстве «Амплитуда–частота». Полученные результаты представлены на рис.2 и 3.

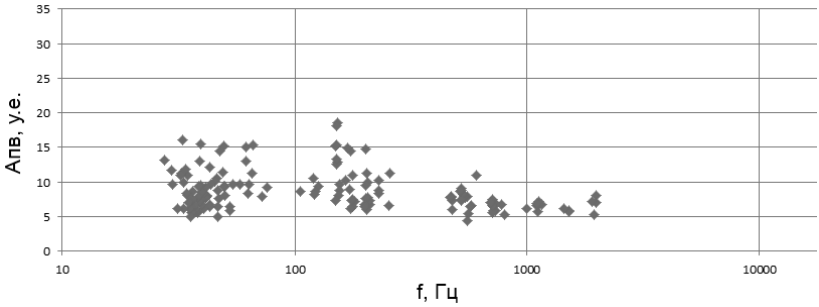

Рис. 2. Спектральные характеристики акустических импульсов, возникающих в образце каменного угля при воздействии сфокусированным солнечным излучением

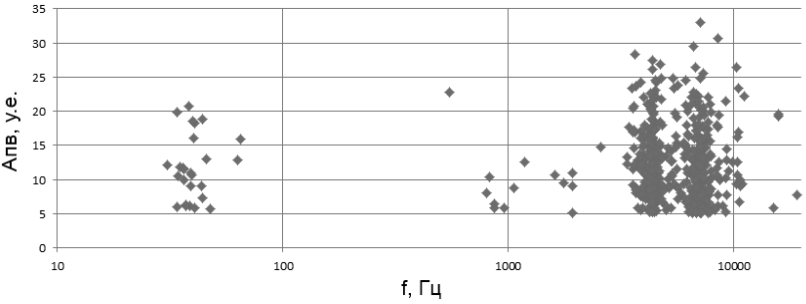

Рис. 3. Спектральные характеристики акустических импульсов, возникающих в образце каменного угля при воздействии открытым пламенем горящего изобутана

Как видно из рис. 2 и 3, спектры акустических импульсов, возникающих в образце каменного угля при горении, вызванном различными воздействиями, весьма существенно различается. Частоты сигналов, возникающих при горении, вызванном сфокусированным солнечным светом, не превышают 2 кГц и условно разделяются на три обособленных группы с центрами тяжести в районах 35, 200 и 1000 Гц. Заметно, что с увеличением частоты количество импульсов в группах уменьшается. Сигналы, возникающие при горении, вызванном нагревом открытым пламенем, преимущественно располагаются в районах частот, равных 4 и 7 кГц. Часть импульсов располагается в районе 35 Гц – как и в случае нагрева сфокусированным солнечным излучением. Наличие группы импульсов в одном диапазоне частот – в районе 25–70 Гц – для разных способов нагрева показывает общность полученных данных в условиях проведения эксперимента. Данные для обоих способов воздействия разделяются на обособленные группы. Основное отличие в характеристиках акустических импульсов, возникающих при горении, вызванном сфокусированным солнечным излучением и открытым пламенем, заключаются в наличии характерных групп точек. Для воздействия сфокусированным солнечным светом такая группа лежит в районе частот 100–300 Гц, для воздействия открытым пламенем – в районах частот, равных 4 и 7 кГц. Таким образом, наличие акустических импульсов с частотами в районе 25–70 Гц может служить характерным признаком горения и (или) процессов, предшествующих возгоранию. Это обстоятельство может быть использовано при акустическом мониторинге складов угля на ТЭЦ.

Предложения

Диагностика очагов пожара и зон самонагревания по характерному акустическому излучению может осуществляться следующим образом. При создании новых складов или в ситуациях, когда по каким-либо причинам склад полностью освобождается, в подложку, на которую предполагается складировать уголь, устанавливаются акустические датчики, с помощью которых осуществляется мониторинг акустического фона склада (рис. 4).

Для уже функционирующих складов можно использовать способ, разработанный для терриконикoв [4]. Суть этого способа сводится к внедрению в насыпную массу волноводов, соединённых с акустическими датчиками, что позволяет упростить локацию источников характерного излучения (рис.5).

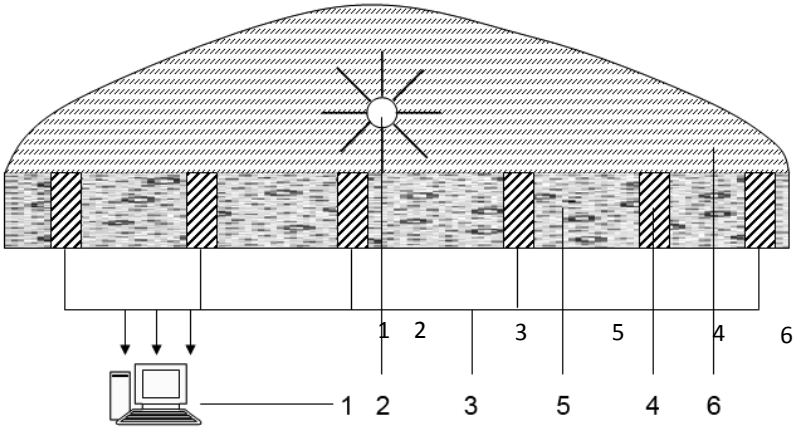

Рис. 4. Схема акустической диагностики очагов возгораний на угольных складах путём закладки акустических датчиков в подложку:
1 – блок обработки информации и принятия решений;
2 – очаг возгорания; 3 – линии передачи сигнала;
4– акустические датчики; 5 – бетонная подложка; 6 – отвал.

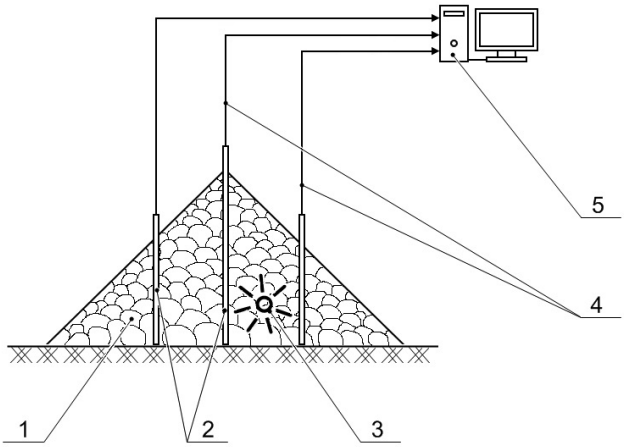

Рис. 5. Схема акустической диагностики очагов возгораний на угольных складах путём внедрения в угольный штабель волноводов:
1 – угольное скопление; 2 – волноводы; 3 – очаг возгорания;
4 – линии передачи сигнала; 5 – блок обработки информации
и принятия решений.

Направление дальнейших изысканий

Для выбора конкретного типа существующих датчиков или разработки новых, а также для уточнения методики диагностики очагов пожара и зон самонагревания в угольных скоплениях необходимо собрать статистический материал по различным углям, используемым на ТЭЦ сахарного производства. Применительно к отвалам горного производства также нужно накопить экспериментальный материал по характеристикам акустического излучения, возникающего при горении различных углей и горных пород, имеющихся в террикониках. А также необходимо исследовать вопросы трансформации образа акустического сигнала при распространении по насыпной среде.

Заключение

Проведен уникальный эксперимент по регистрации акустического излучения, возникающего в образце каменного угля при горении, вызванном различными воздействиями. Проведено сопоставление спектральных характеристик акустических импульсов, возникающих в каменном угле при горении, вызванном сфокусированным солнечным излучением и открытым пламенем горящего изобутана. Получены данные, показывающие сходства и различия спектральных характеристик этих акустических импульсов. Для условий проведения эксперимента воздействие сфокусированным солнечным светом характеризуется группой значений в районе частот, равных 100–300 Гц; воздействие открытым пламенем характеризуется группами значений в районе частот, равных 4 и 7 кГц; группа значений в районе частот, равных 25–70 Гц, присутствует в обоих случаях. Также в обоих случаях значения разделяются на обособленные группы. Это обстоятельство показывает возможность диагностики очагов горения и процессов, предшествующих возгоранию, в насыпях кускового угля по характерному акустическому излучению.

Литература

1. http://omop.su/1000/02/39102.php
2. http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-4/6.htm
3. Supersil. Экологически чистые теплозвукоизоляционные иглопробивные маты из кремнеземного волокна. – Зеленоград: ЗАО «РЛБ Силика», 2005. – 4 с.

   Supersil. Eco-friendly heat and sound insulation punched mats made of silica fibers. Zelenograd: ZAO «RLB Silika», 2005. – 4 pp.

4. Борисенко Д.И./ Диагностика очагов возгораний в углепородных отвалах // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. Сборник научных статей. – К. – Изд-во НПВК «Триакон», – №3(8), 2011. – С.40-41.

Borisenko D.I./ Diagnosis of fire hazards in the coal mass dumps // Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies. Collection of research papers. – Kyiv: Publishing House of Scientific Production Innovation Company «Triacon», 2011. – № 3(8). – PP.40-41.

Рукопись поступила 26.05.2013 г.