

# РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРИБОРА СОЗДАНИЯ АЭРОДИСПЕРСНЫХ ОБЛАКОВ С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ

Сечин А.И., д.т.н., профессор,  
e-mail: sechin@tpu.ru

Мезенцева И.Л., ст. преподаватель,  
e-mail: mezenceva@tpu.ru

Сечин А.А., к.т.н., доцент,  
e-mail: seanal@tpu.ru

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Одним из наиболее распространенных энергоресурсов является уголь, при добыче, транспортировке и хранении которого постоянно присутствуют возможности самовозгорания и взрыва [1]. От момента добычи и до момента использования угля проходит некоторое время, в течении которого физико-химические свойства угля претерпевают значительные изменения, находясь под воздействием атмосферного воздуха и воды. Поэтому определение сертификационных показателей топлива является актуальным.

В [2] описаны установки, на которых определяют различные показатели взрыва пылевоздушных и газовых смесей, но не определяют характер горения. Авторы [3–5] значительно усовершенствовали базовый метод и установку до уровня позволяющего проводить исследования, как бедных, так и богатых топливных составов. Основной целью исследования ставилось: разработка метода и прибора создания аэродисперсных облаков с целью контроля и диагностики процессов горения с различной плотностью пылевоздушного облака.

Экспериментальная установка, представленная на рис. 1 состоит из следующих элементов: блоки управления и регистрации, блок формирования пневматического импульса и реакционной камеры определенных размеров, блок регулирования температурой источника. В основе установки изначально оставалась компоновка, представленная в [3–5], но изменились ее узлы и возможности. Практически это новый прибор, позволяющий формировать пылевоздушные облака с заданной плотностью, с целью изучения вопросов зажигания и формирования фронта горения гетерогенных систем.

Блок формирования пневматического импульса состоит из компрессора (рис. 1), двух запорных вентилей, воздушного ресивера с манометром, электромагнитного крана включения распыления, форсунки совмещенной с верхним фланцем в верхней его части, выполненным в виде распылительного конуса и форкамеры, которая состоит из корпуса, крышки и форсунки (рис. 2).

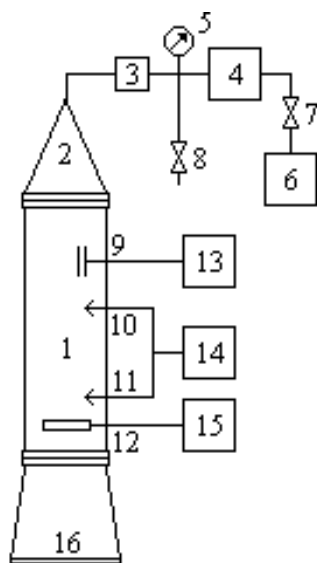
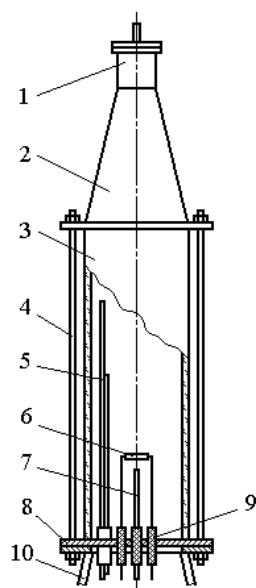


Рис. 1. Схема экспериментального прибора контроля и диагностики свойств композитных составов из низкосортных углей:

- 1 – камера распыления факела;
- 2 – распылительный конус верхнего фланца;
- 3 – электромагнитный клапан подачи распылительного импульса;
- 4 – ресивер сжатого воздуха; 5 – мановакуумметр; 6 – компрессор воздуха;
- 7, 8 – запорные вентили; 9 – тензометрический датчик давления;
- 10, 11 – термпарные датчики на движение пламени;
- 12 – источник иницирования горения;
- 13 – тензометрическая станция регистрации роста давления с осциллографом;
- 14 – многоканальный самописец Н-338-6П;
- 15 – блок регулирования температурой источника иницирования горения;
- 16 – опора прибора



*Рис. 2. Испытательная камера:*

- 1 – форсунка с объемом размещения образца;*
- 2 – распылительный конус;*
- 3 – взрывной стеклянный цилиндр, формирующий реакционный объем;*
- 4 – крепежные стержни;*
- 5, 7 – термопары; 6 – спираль накаливания;*
- 8 – нижний фланец; 9 – фторопластовые вводы;*
- 10 – подставка*

Угольная навеска определенной массы помещается в форсунку, взвихривается и подается через конус под действием кратковременного импульса сжатого воздуха в реакционный объем камеры. Формируется пылевоздушное облако с равномерно распределёнными частицами смеси исследуемого угля.

Блок управления состоит из электронной части, отвечающей за одновременное срабатывание источника зажигания и включение регистрации показаний на многоканальном самописце, и источника инициирования горения.

В момент начала проведения эксперимента включается тумблером реле времени ВЛ-34У4, за 10 секунд разогревается спираль, после чего происходит срабатывание электромагнитного клапана, линия задержки выдерживает его в открытом состоянии заданное время и по истечению 11 секунд происходит автоматическое отключение источника зажигания.

В то же время срабатывает блок регистрации, который включает в себя тензодатчик с тензометрической станцией регистрации роста давления УТ-4 и запоминающим осциллографом С8-12, и многоканальный самописец Н-338-6П, снабженный термопарными датчиками для контроля температуры источника инициирования горения и распространения пламени. Запись ведется на диаграммной ленте самописца Н-338-6П, с единой временной отсечкой.

Необходимая температура источника зажигания достигается за 10 с благодаря блоку регулирования температурой источника инициирования горения.

Рассев образцов проводился на вибрационном сите. Навески взвешиваются на лабораторных весах общего назначения по ГОСТ 24104-80 с наибольшим пределом взвешивания 0,2 кг, класс точности 2. Все эксперименты проводят с образцами следующих фракций: 0–63 мкм, 63–100 мкм, 100–160 мкм, 160–200 мкм, 200–250 мкм, 250–315 мкм. Остаток на сите 315 мкм не используют. Испытания начинают с самой мелкой пыли – с фракции 0–63 мкм, так как чаще оказывается, что мелкая пыль опаснее крупной.

В представленном экспериментальном приборе контроля и диагностики свойств композиционных составов из низкосортных углей и углеотходов выполняются ранее не учитываемые критерии:

- Геометрия реакционного объема, в котором формируется пылевое облако с равномерно распределёнными частицами в объеме, соответствует  $\alpha = 1$  (стехиометрия) по соотношению топлива и окислителя, что позволяет моделировать основные производственные концентрации при сжигании углей в тепловых энергоустановках.

- Предоставляется возможность визуального наблюдения процессов горения угольного облака.

- Имеется возможность изучения диапазона концентраций от 0,8а до 1,3а. (Исследуются бедные и богатые смеси композита).
- Источник инициирования горения имеет возможность варьирования температурой зажигания в пределах от 800 до 1200 °С.

Методика проведения исследований вобрала в себя все передовые элементы от подобных аналогов, экспериментальное определение коэффициента избытка воздуха, является важнейшей характеристикой эффективности сжигания топлива, а варьирование некоторыми параметрами и моделирование факельного сжигания в реакционной камере, выполненной из стекла, позволяет визуально наблюдать и фиксировать процесс горения.

Специалисты считают, что коэффициент избытка воздуха является важнейшей характеристикой эффективности сжигания топлива и зависит от вида сжигаемого угля, его состава, способа подачи воздуха в топочное устройство и от самого вида этого устройства.

В предварительно герметизированной реакционной камере проводят холостой опыт с начальным избыточным давлением в ресивере 50,7 кПа и при включенных блоках регистрации и инициирующего источника зажигания, температура которого устанавливается 1050 °С. В дальнейшем полученные показания этого опыта используют для сравнения с показаниями рабочих опытов.

Навеску анализируемой угольной пыли готовят с точностью  $10^{-6}$  кг и проводят испытание на воспламенение. Для этого навеску исследуемого угля весом  $5 \cdot 10^{-5}$  кг помещают в форсунку, плотно закручивают крышку, накачивают компрессором воздух в ресивер до 50,7 кПа, фиксируя по манометру, включают регистрационный блок в режим регистрации и осуществляют пуск установки.

Если пламя распространилось до верхней термопары и выше, и произошел отличный от холостого опыта рост давления, то опыт считается положительным, в противном случае или в случае отсутствия одного из показателей (распространения пламени до верхнего фланца камеры или отсутствие роста давления) считается отказом.

Далее вскрывается форсунка и проверяется наличие или отсутствие исследуемой угольной пыли. При наличии остатков распыленного вещества опыт повторяют, увеличивая величину распыляющего импульса на 10,1 кПа до тех пор, пока форсунка не будет оставаться пустой, что говорит о полном распылении образца. В случае отсутствия распыляемого вещества в форсунке, опыт повторяют с прежней навеской, уменьшая величину распыляющего импульса на 10,1 кПа. Благодаря этому определяется оптимальный распыляющий импульс для данной навески конкретного вещества.

Если воспламенение и распространение пламени не обнаружено, то навеску увеличивают на  $5 \cdot 10^{-2}$  г. Получив положительный результат при очередной навеске, начинают искать предельные условия распространения пламени, уменьшая или увеличивая навеску на  $10^{-2}$  г. Так поступают до тех пор, пока не будут найдены две концентрации пыли, различающиеся не более чем на  $10^{-2}$  г, при одной из которых происходит воспламенение, а при другой отказ.

Наличие или отсутствие воспламенения при найденных концентрациях проверяют серией контрольных экспериментов. Их проводят не менее 10, с навеской, не дающей воспламенения. В случае одного воспламенения в серии контрольных опытов, величину навески понижают на  $10^{-2}$  г, и так до тех пор пока не получают всю серию не воспламенения аэровзвеси. После проведения каждого опыта источник зажигания отключают, снимают нижний фланец и очищают реакционную камеру от осевшей пыли и продуктов сгорания, продувают ее сжатым воздухом.

Определяя область горения пылевой взвеси при изменении температуры инициирующего источника зажигания, эксперимент проводят по вышеизложенной методике. Температуру источника зажигания понижают на 50 °С. Определив при этой температуре все критические характеристики, ее вновь понижают на ту же величину 50 °С. Так поступают до тех пор, пока пылевая взвесь не перестанет воспламеняться, а горение распространяться по всему объему реакционной камеры.

Экспериментальная проверка распределения концентрации по сечению пылевого облака проводилась по методу Уилтона путем отбора проб из потока [6]. Данный метод позволяет получить достаточно точные результаты о величине концентрации пыли в любой точке потока.

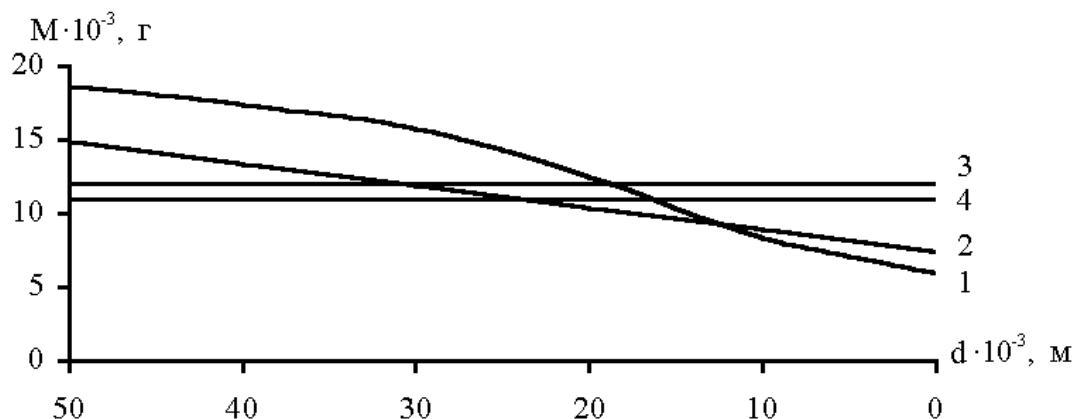


Рис. 3. Зависимость изменения величины концентрации аэровзвеси по сечению потока для диаметра камеры 0,1 м; и высоты отбора проб:  
1 – 0,2 м; 2 – 0,3 м; 3 – 0,4 м; 4 – 0,5 м; 5 – 0,6 м

В результате проведенных исследований был сделан вывод о геометрии реакционного объема, высота которого составляет не менее 0,5 м, а его оптимальный диаметр – 0,1 м.

Так же было установлено, что разработанные метод и установка позволяют проводить исследования, как бедных, так и богатых топливных составов. Устойчиво формируя аэродисперсные угольные облака с различной плотностью дисперсной фазы, что позволяет поэтапно изучать процесс горения, который разбивается на два этапа. Первый этап горения аэровзвеси проходит в газовой фазе. Следующий этап горения проходит после распада тяжелых жидкофазных молекул и углеродного остатка.

Это говорит о том, что разработанный метод и прибор создания аэродисперсных облаков с целью контроля и диагностики процессов горения, позволяет изучать процесс инициирования зажигания и горения аэровзвеси угольного топлива, который является определяющим в процессе развития фронта горения в газодисперсном облаке.

### Список литературы

1. Fischer Ch., Li J., Wu J., Erhler Ch., Jiang W., Guo Sh., Yang B. Detection, analysis and risk assessment of coal fires in northern China // Proc. 'Dragon 2 Final Results & Dragon 3 KickOff Symposium' Beijing, P.R. China (ESA SP-704, January 2013) [Электронный ресурс]. – URL: Fischer\_et\_al\_Coalfires.pdf (дата обращения: 01.11.2024).
2. ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Дата введения: 1991-01.01 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004802> (дата обращения: 01.11.2024).
3. Сечин, А.А. Разработка интенсивного и взрывобезопасного процесса сушки лекарственных препаратов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.А. Сечин; Томский политехнический университет; науч. рук. С.А. Бабенко Томск: [б. и.], 2002. – 1 файл (451 Kb). – URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/a/2002/35.pdf> (дата обращения: 01.11.2024).
4. Сечин А.И., Патраков Ю.Ф., Сечин А.А. Методика экспериментального определения пределов распространения пламени по пылевоздушным смесям // Горный журнал, 2017. № 12. С. 87–90.
5. Patrakov Y.F., Sechin A.I., Sechin A.A. Experimental range test of flame spread in dust-air mixtures. J. Min. Sci. 55 (2019). – 494–498.
6. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. – Л.: Химия, 1969. – 427 с.