

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ЖИДКОЙ СРЕДЕ

А.Р. Мухутдинов, В.Е. Леонтьев (Казанский государственный энергетический университет)

Представлен метод компьютерного изучения картины процесса горения с использованием современных аппаратных и программных средств. По полученным картинам установлены особенности процесса горения твердого топлива в жидкой среде при различных давлениях¹.

Ключевые слова: компьютерная обработка, горение, твердое топливо, жидкая среда, косвенные измерения.

Известно, что процесс горения является основой многих ТП и производств. Твердые топлива (ТТ) на основе окислителя и горючего находят широкое применение в различных технических системах и технологиях повышения производительности нефтяных скважин в условиях жидкой среды при высоком давлении. Характеристики и закономерности горения ТТ в таких условиях играют важную роль, так как они определяют параметры и, в конечном итоге, эффективность применения технических систем. Механизм процесса горения ТТ и его закономерности в условиях газовой среды при высоком давлении в научной литературе достаточно широко представлены [1-6]. При исследовании картины и закономерностей процесса горения ТТ наиболее объективным является метод непосредственного фотографирования (фоторегистрации) процесса. Несмотря на значительное число работ [1-4], задача получения качественной картины процесса горения регистрацией перемещения светящего фронта и зоны горения является в значительной мере нерешенной. Основной причиной низкого качества фотографий процесса горения в газовой среде конденсированных систем является не только неоднородность факела и поверхности горения, но и весьма малая прозрачность наблюдаемой картины, вызванная дымо-газовыми продуктами горения. Как показали результаты [6] существующие способы повышения прозрачности при регистрации картины горения конденсированных систем путем обдува продуктов горения в манометрической бомбе потоком инертного газа снизу образца заряда не привели к заметному повышению качества фотоснимков. Также незначительно повышает их качество помещение сжигаемого образца топлива в плексигласовую трубку, прилегающую к защитному стеклу оптического окошка манометрической бомбы из этого же материала, так как плексиглас легко обгорает и, взаимодействуя с фронтом горения, затемняет и искажает картину.

Современное развитие вычислительной техники и программных средств открывает новые возможности для исследования процесса горения ТТ. Производительность ПК позволяет подвергать собранные ими данные обработке практически любой сложности, а в дальнейшем проводить разнообразные виды анализа данных, расчета и прогнозирования.

Существуют различные методы определения температуры пламени горения ТТ [7, 8]. Однако есть возможность определения температуры и с помощью ви-

зуальных и графических средств. К первым относятся пирометры, позволяющие измерить температуру непрозрачных тел по их излучению в оптическом диапазоне спектра. Ко вторым относится метод определения температуры по изображениям, полученным в ходе изучения процесса горения. Математические алгоритмы обработки и анализа изображений позволяют с высокой точностью получать данные из их графического представления. Это позволяет максимально автоматизировать длительные и трудоемкие процессы по обработке информации.

Высокий уровень информационных технологий позволяет широко применять их для решения сложных задач: оптического распознавания текстов, профессиональной обработки изображений и др. В связи с этим интересным является создание программного средства для определения температуры горения ТТ по графическому изображению данного процесса.

Таким образом, модернизация установки и разработка метода компьютерного изучения картины процесса горения ТТ в направлении повышения качества фотоснимков, их обработки и анализа является актуальной задачей, имеющей научный и практический интерес.

Компьютерное изучение картины процесса горения ТТ в жидкой среде при высоком давлении проводилось в бомбе переменного давления с регистрацией процесса методом фотографической съемки с помощью цифровой техники. Стендовая установка (рис. 1), основой которой является манометрическая бомба переменного давления внутренним объемом 0,3 л, состоящая из корпуса (2) и двух оптических

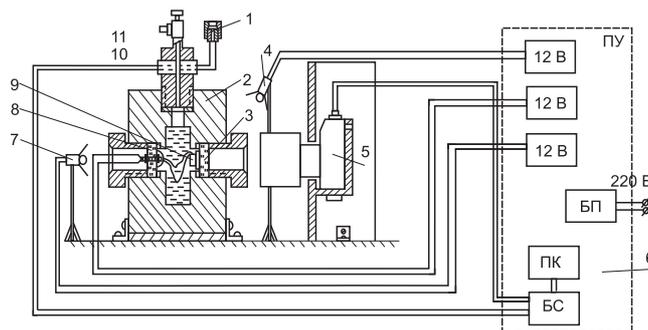


Рис. 1. Схема стендовой установки, где 1 – предохранительный клапан; 2 – корпус манометрической бомбы; 3, 8 – оптическое окошко; 4, 7 – лампа осветительная; 5 – фотокамера; 6 – регистрирующая аппаратура; 9 – образец, закрепленный на кварцевом стекле; 10 – датчик давления; 11 – крышка

¹Часть работы выполнена по гранту "Президента РФ" № МК - 2156.2004.8.

окошек из органического стекла (3, 8). При этом одно окошко (8) имеет электроввод для подачи электрического тока к спирали узла воспламенения сжигаемого образца (9), который устанавливается в бомбе таким образом, что его неорганическое стекло оптически плотно прилегает к другому окошку (3). Повышение прозрачности наблюдаемой картины достигается путем замены в манометрической бомбе защитного органического стекла из плексигласа на неорганическое, в частности, термостойкое кварцевое стекло. Это предохраняет поверхность основного плексигласового оптического окошка от высокотемпературного воздействия при сгорании образца, непосредственно прилегающего к кварцевому стеклу, и дает возможность получения более четкой картины процесса горения. Кварцевое стекло является инертным материалом, которое не взаимодействует с нагретыми продуктами горения и обладает высокой оптической прозрачностью.

Использование разработанного метода позволяет исключить воздействие газообразных продуктов горения на четкость изображения пламени и поверхности горения образца твердого топлива. Вследствие сравнительно низкой температуры горения образца ТТ особенно в водной среде пламя имеет очень малую яркость. Поэтому применяется дополнительная подсветка (4, 7), что значительно повышает качество фотоснимков и видеосъемки. Фотографирование процесса горения осуществлялось цифровой фотокамерой Canon EOS 350D. Фотокамера размещалась по оси оптических окошек за предохранительным щитом. Съемка производится в ручном режиме с расстояния 36 мм с выдержкой 1/30 секунды при полностью открытой диафрагме. Фиксирование картины и изменения давления во времени процесса горения ТТ осуществляется на регистрирующей аппаратуре (6), состоящей из блока сопряжения (БС) и ПК.

Компьютерное изучение процесса горения осуществляется на опытных образцах ТТ (рис. 2) рецептурой, % (мас.): аммиачная селитра (АС) – 72; бихромат калия (БК) – 3; эпоксидный компаунд (ЭК) – 25. Исследуемый образец прилегает непосредственно к оптическому окошку бомбы (рис. 1), что предопределяет

его форму в виде прямоугольного сечения с ограниченными размерами проходного сечения оптического окошка. В опытах использовалось кварцевое стекло диаметром 30 мм и толщиной 3 мм, на котором в специальной оправе-формочке прессовался образец ТТ. Герметичное покрытие, состоящее из слоя ЭК, обеспечивает надежную защиту от влияния жидкой среды и давления, а также прочное крепление исследуемого образца к кварцевому стеклу. Воспламенение и сжигание образцов ТТ осуществляется с верхнего торца заряда при давлениях от атмосферного (0,1 МПа) до

10 МПа. Результаты компьютерного изучения представлены на цифровых фотоснимках рис. 3.

В первой серии опытов проводилась оценка условий воспламенения, сгорания и качества получаемых снимков процесса горения образца без подсветки при различных расстояниях (100, 150 и 200 мм) от объекта и выдержках фотографирования (1/60, 1/30 с и др.). Во всех опытах качество получаемых снимков было неудовлетворительным из-за низкой яркости зоны и фронта

горения. С целью дальнейшего повышения качества получаемых фотоснимков в следующей серии опытов фотографирование процесса горения проводилось с подсветкой переднего окошка лампой 6 Вт. Кроме того, для увеличения светового отражения по краям сжигаемого образца на кварцевое стекло наносится слой герметика. Как показали опыты в указанных условиях оптимальной выдержкой является 1/30 с, при которой получается четкая картина горения с более выраженными зонами (рис. 3).

В заключительном опыте по отработке методики компьютерного изучения процесса горения производилась съемка, когда воспламенение и горение образца осуществлялось снизу вверх (рис. 4). Подсветка производилась как спереди, так и сзади заряда лампами мощностью 6 и 100 Вт. Кварцевое стекло исследуемого образца закреплялось на плексигласовом окошке герметиком в двух точках для получения снимков, позволяющих фиксировать не только картину процесса горения образца топлива, но и наблюдать характер выделения газообразных продуктов горения за пределами образца на начальной стадии после воспламенения ТТ, когда давление в окружающей жидкой среде незначительно превышает атмосферное.

Применение в предлагаемой стендовой установке цифровой фотокамеры и ПК позволяет быстро (высокоскоростной интерфейс USB 2.0) выводить полученный снимок на экран монитора. Мощный процессор обработки изображений DIGIC II позволяет осуществлять скорость непрерывной съемки – 3 кадра в секунду в серии до 14 кадров. Предусмотрена возможность одновременной записи изображения в форматах

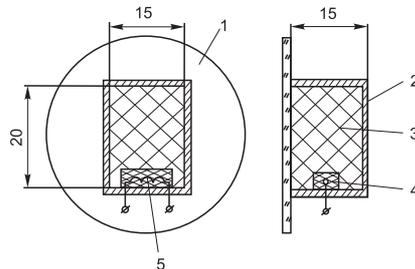


Рис. 2. Опытный образец ТТ, где 1 – кварцевое стекло; 2 – бронирующий слой; 3 – основной состав; 4 – воспламенятельный состав; 5 – спираль накаливания

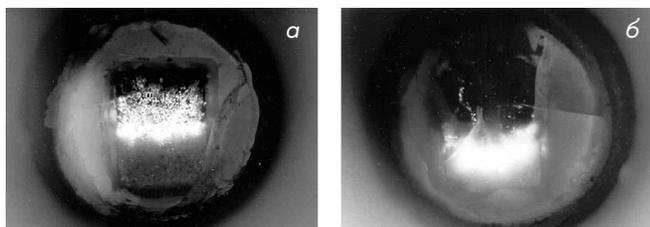


Рис. 3. Картина процесса горения образца ТТ в жидкой (а) и газовой (б) средах

RAW и JPEG высокого разрешения. Камера готова к работе уже через 0,2 секунды после включения.

Картина процесса горения образца ТТ с верхнего торца в жидкой и газовой средах представлена на рис. 3. Для образцов, горение которых протекает в жидкой среде, характерно равномерное распространение плоского фронта горения, сопровождающееся низкой яркостью и однородностью свечения, что подтверждает стабилизирующую, повышающую устойчивость процесса горения ТТ, роль окружающей жидкой среды. При горении образцов в газовой среде, наоборот, им присуща более вогнутая поверхность фронта горения, сопровождающаяся высокой яркостью и однородностью свечения, что свидетельствует о более высокой температуре в зоне горения. Толщина зоны горения образцов ТТ в жидкой среде, в пределах скоростей горения (0,6...0,8) 10-3 м/с, примерно в два раза меньше, чем в газовой.

Характерной особенностью картины процесса горения исследуемых образцов, особенно при воспламенении и сгорании их с нижнего торца заряда, является то, что на первой стадии при малых значениях давления (0,1...1 МПа) можно достаточно четко отметить выделение отдельных пузырьков газообразных продуктов горения (рис. 4), которые по мере всплытия образуют крупные пузырьки. С увеличением давления число и интенсивность выделяемых пузырьков увеличивается, но размеры их значительно уменьшаются. Это явление можно наблюдать визуально, однако на фотографиях оно, как правило, не всегда фиксируется. Выделение значительного числа небольших газовых пузырьков приводит к насыщению жидкости и образованию газожидкостной смеси.

В ходе работы было создано программное средство, способное анализировать изображения и определять по результатам анализа температуру горения топлива. В качестве входных данных приложение получает набор цифровых фотографий процесса горения, задаются критерии анализа и оценки изображений. Пример анализа изображения и получения на его основе гистограммы приведен ниже.

Гистограмма обеспечивает общее описание сущности изображения и помогает идентифицировать различные компоненты, такие как фон и объекты, показывает количественное распределение пикселей с определенным значением уровня (яркости). Распределение пикселей по их отражательным (излучающим) свойствам может быть изучено путем анализа гистограммы значений яркости как для целого изображения, так и для конкретного участка. Гистограмма позволяет выяснить, имеются ли пиксели, соответствующие различным областям температуры на исследуемом изображении, а также узнать, происходит ли

Картина процесса горения - посредник между явлением и мыслью.

Журнал "Автоматизация в промышленности"

изменение яркости пикселей во всем диапазоне или же пределы их изменения невелики.

Температура процесса горения ТТ в жидкой и газовой средах (рис. 3) различна. Для образцов, горение которых протекает в жидкой среде, значение температуры по обработанному программой изображению лежит в интервале 610...1000 К, а при горении в газовой среде 680...1200 К. Между тем расчетное значение температуры горения ТТ данной рецептуры не превышает 1400 К. Следует также отметить, что по результатам проведенных экспериментальных исследований значение температуры составляет 950 К для жидкой среды и 1100 К для газовой среды.

Таким образом, во всех приведенных случаях температура ТТ лежит в пределах 600...1400 К и хорошо согласуется с расчетными и экспериментальными данными.

ПО разработана в бесплатной среде Microsoft Visual C# 2005 Express Edition. Полученный код компактен и хорошо оптимизирован, что сказывается на общем быстродействии программы. Процесс распознавания изображений вынесен в отдельный поток, что также повышает отклик приложения на действия пользователя.

Таким образом, в результате выполненных исследований проведена отработка метода компьютерного изучения процесса горения образца ТТ в жидкой среде при высоком давлении, позволяющая получать высококачественную картину (или видеоролик) процесса. Уста-

новлено, что в условиях жидкой среды и давления картина процесса горения ТТ существенно отличается от картины процесса горения в газовой среде. Фронт горения в жидкой среде имеет более низкую яркость и однородность свечения, а толщина зоны горения существенно ниже, чем в газовой.

Выводы

С использованием модернизированной стендовой установки и современных информационных технологий создан метод компьютерного изучения картины процесса горения ТТ и установлено:

- условия окружающей жидкой среды и давления по сравнению с газовой существенно влияют на картину процесса горения образца ТТ: толщина зоны горения существенно уменьшается, а фронт горения имеет сравнительно низкую яркость и однородность свечения;

- газообразные продукты горения при малой скорости горения выделяются в виде множества газовых пузырьков, при повышенной скорости горения образуют моногазовый пузырь;



Рис. 4. Картина процесса горения образца с выделением газообразных продуктов

- для образцов, горение которых протекает в жидкой среде, значение температуры по обработанному программой изображению лежит в интервале 610...1000 К, а при горении в газовой среде 680...1200 К.

Предлагаемый метод прошел проверку при изучении процесса горения ТТ в экстремальных условиях жидкой среды и давления, характерных для нефтяных скважин при интенсификации добычи нефти. Также его можно использовать и в других областях народного хозяйства, где горение является основой ТП.

Список литературы

1. Андреев К.К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М.: Наука, 1966.

2. Беляев А.Ф. Горение, детонация и работа взрыва конденсированных систем. М.: Наука, 1968.
3. Бахман Н.Н., Беляев А.Ф. Горение гетерогенных конденсированных систем. М.: Наука, 1967.
4. Похил П.Ф., Рысакова О.П., Ромоданова Л.Д. // Журнал физической химии. — 1962. Т.34, № 6.
5. Мальцев В.М., Мальцев М.И., Кашипов Л.Я. Основные характеристики горения. М.: Химия, 1977.
6. Шелухин Г.Г., Булдаков В.Ф., Белов В.Г. Экспериментальные исследования процесса горения гетерогенных конденсированных систем // Физика горения и взрыва. — 1969. Т.5, № 1.
7. Гейдон А.Г., Вольфгард Х.Г. Пламя, его структура, излучение и температура. М.: Металлургия, 1959.
8. Ксандонупо Г.И. Химия пламени. М.: Химия. 1980.

Мухутдинов Аглям Рашидович — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Леонтьев Вячеслав Евгеньевич — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры "Информатика и информационно-управляющие системы" Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Контактный телефон (432) 519-43-27. E-mail: muhutdinov@rambler.ru leonetx@yandex.ru

Система ЭнергоГород позволяет увеличить собираемость платежей

В декабре 2010 г. специалистами НПФ "КРУГ" по заказу ОАО "Пензаэнергосбыт" успешно проведены приемосдаточные испытания автоматизированной системы коммерческого учета и управления потреблением энергоресурсов (АСКУПЭ) жилого дома в г. Пензе по адресу: ул. Мира, 47. Базой системы служит программная платформа ЭнергоКруг.

Разработка системы в качестве "пилотного" проекта проходила с соблюдением требований Федерального закона 261 "Об энергосбережении".

Цели проведенной работы:

- поквартирный и подомовой учет электроэнергии, в том числе по тарифам, дифференцированным в зависимости от времени суток;
 - подомовой учет тепла, холодного и горячего водоснабжения;
 - увеличение собираемости платежей за счет ограничения электрической нагрузки абонентам с большой просрочкой оплаты.
- Основные функции системы:
- сбор необходимой информации с объектов учета;
 - визуализация оперативной и исторической информации с объектов учета;
 - сигнализация отклонений параметров от заданных границ;
 - управление нагрузкой (отключение/включение по различным программируемым критериям или дистанционно);
 - построение графиков энергопотребления объектов учета;
 - генерация отчетных документов.

Особенности системы. Данные от общедомовых счетчиков передаются на контроллер сбора данных по цифровым каналам связи RS-485. Информация от поквартирных счетчиков до контроллера сбора данных DevLink-D500 передается по сети ~220В (PLC-технология). Для связи КСД с АРМ диспетчера используется канал GPRS оператора сотовой связи, но может быть использован проводной Ethernet оператора кабельного ТВ/Internet. АРМ подключено к проводному высокоскоростному Internet, за счет чего возможно наращивание системы новыми домами до уровней управляющих компаний и выше — районов и города без снижения скорости обновления данных. Возможность управления нагрузкой дистанционно с АРМ, возможность задания критериев ограничения подачи электроэнергии по заданным мощности и энергии за сутки.

Преимущества системы. Система легко масштабируется и конфигурируется под требования заказчика, то есть она универсальна и открыта за счет поддержки всевозможных аппаратных и программных интерфейсов и не привязана к конкретным моделям счетчиков. Подготовка отчетных документов с выборкой по времени и конкретной квартире (дому) занимает несколько секунд с возможностью сохранения их в универсальные форматы. Своевременное оповещение о нарушениях подачи энергоресурсов потребителям, в том числе об утечках и несанкционированных подключениях благодаря звуковой и цветовой сигнализации на АРМ и полной достоверной информации о потребляемой энергии.

[Http://www.krug2000.ru](http://www.krug2000.ru)

"Водочная Артель ЯТЬ" будет управлять вторичными продажами с Lawson e-Sales

В группе компаний "Водочная Артель ЯТЬ" вторичные продажи составляют существенную долю в общих продажах. Поэтому в декабре 2010 г. компания организовала закрытый конкурс по выбору системы управления продажами дистрибьюторов. Выбор был сделан в пользу системы Lawson e-Sales и компании BSC как партнера по выполнению проекта. Данное решение реализовано на базе Internet-технологий, что обеспечивает удаленный доступ к системе всех дистрибьюторов, а дистрибьюторам не потребуется устанавливать у себя какое-либо специализированное ПО, вся информация будет храниться централизованно на одной площадке.

В ходе пилотного проекта, завершение которого намечено на март 2011 г. к системе Lawson e-Sales будет подключен ограниченный перечень дистрибьюторов и реализован ежедневный сбор управленческих данных (приходы и остатки на складах дистрибьюторов, продажи дистрибьюторов в торговые точки).

Вся информация будет собираться в детальном виде (в разрезе SKU, складов, количества, стоимости, торгового представителя, торговой точки, № документа и пр.) и консолидироваться в централизованной БД Lawson e-Sales. Собранные данные будут приводиться к единым кодировкам, используемым для управленческого анализа (SKU, торговые точки, населенные пункты и пр.).

Одной из составных частей пилотного проекта является настройка многомерной управленческой отчетности на базе OLAP-технологий. В результате специалисты "Водочной Артели ЯТЬ" смогут самостоятельно (без программистов) формировать отчетность по работе дистрибьюторов: динамику изменения активной клиентской базы, остатки на складах дистрибьюторов, продажи в торговые точки. Для нужд отдела маркетинга будет реализована возможность анализа эффективности маркетинговых акций в разрезе продаж торговых точек (принимających/ не принимающих участие в проводимых мероприятиях) и др.

[Http://www.bsc-consulting.ru](http://www.bsc-consulting.ru)