

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Е. В. Халдеев, Л. А. Андреевских, Н. Н. Жбанова, А. В. Пахомов, Ю. В. Шейков

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В докладе представлена разработка автоматизированного комплекса (АК) для исследований взрывчатых веществ (ВВ) при тепловых воздействиях, являющихся важнейшим направлением изучения ВВ с точки зрения безопасности обращения на всех этапах их жизненного цикла.

Основные требования к АК для исследований свойств ВВ при тепловых воздействиях состояли в следующем:

- управление нагревом экспериментальных образцов (сборок) с ВВ в динамическом (от 0,1 до 10 °С в минуту) и изотермическом режимах от 0 до 360 °С с отклонением температуры от требуемой не более на $\pm 1\%$ (мощность усилителя от 4 до 10 кВА);
- измерение температуры не менее чем по четырем точкам с погрешностью не более $\pm 2,0$ °С;
- создание архивов полученных экспериментальных данных;
- минимальный период опроса измерительных каналов не более 500 мс;
- мобильность (возможность быстрого монтажа (демонтажа) аппаратуры для проведения экспериментов на разных рабочих местах (внутренние полигоны ВНИИЭФ), отсутствие дополнительных устройств преобразования и питания, общая масса комплекса не более 20 кг).

В результате анализа технических характеристик средств автоматического регулирования и измерения температуры выбран комплект приборов, объединенный в автоматизированный комплекс в виде двух систем: системы нагрева и системы измерения и регистрации температуры (СИРТ) (см. рис. 1).

Система нагрева состоит из следующих подсистем (см. рис. 1):

- 1) микропроцессорный программный регулятор «IMAGO 500»;
- 2) тиристорный регулятор мощности ТУА-110/3 (мощность 5,5 кВА);
- 3) объект регулирования (тепловая камера для нагрева ВВ);
- 4) хромель-алюмелевая термопара для регулирования с диаметром электродов 0,1 мм, рабочего спая 0,2 мм;
- 5) хромель-алюмелевый удлинительный провод поэлектродной компенсации термоЭДС.

Система измерения и регистрации температуры состоит из следующих подсистем (см. рис. 1):

- 6) управляющий компьютер с программными средствами обработки данных;
- 7) мультиметр Keithley 2001 с девятиканальной сканирующей платой TCSCAN 2001 (период опроса измерительных каналов 500 мс);
- 8) хромель-алюмелевый удлинительный провод поэлектродной компенсации термоЭДС;
- 9) хромель-алюмелевые термопары для измерения с диаметром электродов 0,1 мм, рабочего спая 0,2 мм.

Для управления СИРТ разработано программное обеспечение (ПО) на базе пакета TestPoint [1]. Основной ПО является программа для управления мультиметром Keithley 2001, состоящая из следующих основных элементов: предварительного сценария, основной задачи, экранной формы отображения процесса измерения.

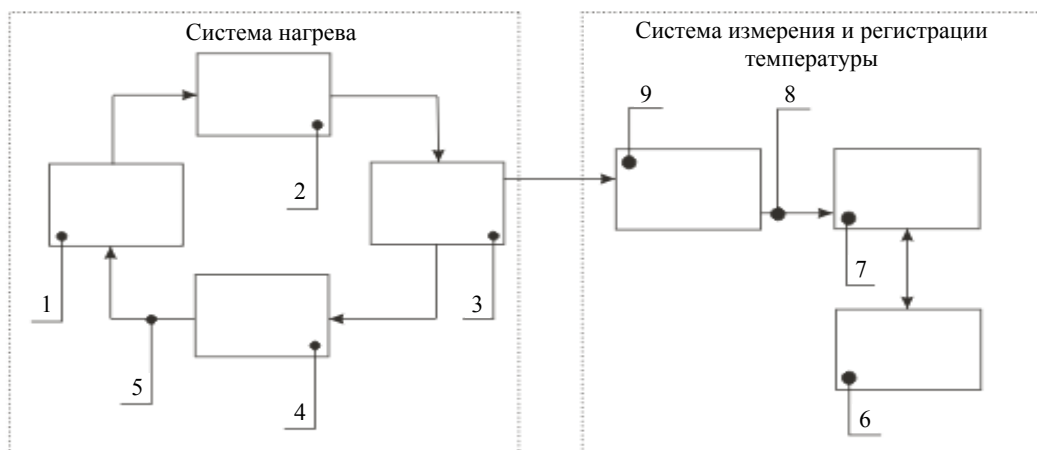


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного комплекса для исследований свойств ВВ при тепловых воздействиях

Предварительный сценарий определяет параметры основной задачи программы и необходим для выбора элементов пакета TestPoint, обеспечивающих управление и контроль СИПТ.

Основная задача программы формирует настройку:

- выбранных элементов управления, контроля и установления связи между ними;
- параметров мультиметра Keithley 2001 и сканирующей платы TCSCAN 2001;
- приема и обработки информации с мультиметра Keithley 2001;
- отображения результатов измерения в цифровом и графическом виде и построения графической зависимости температуры от количества интервалов сканирования;
- сохранения данных на жестком диске компьютера.

Экранная форма отображения предназначена для контроля оператором за ходом процесса измерения. Внешний вид экранной формы отображения представлен на рис. 2.

Автоматизированный комплекс работает следующим образом:

1. Заданное оператором значение температуры в тепловой камере сопоставляется с текущим значением. Сигнал рассогласования подается с регулятора «IMAGO-500» на вход тиристорного усилителя ТУА-110/3, который непосредственно воздействует на объект регулирования. Регулятор «IMAGO-500» позволяет выполнять:

- управление процессом по стандартным законам регулирования [2, 3] с возможностью выдачи управляющих сигналов в аналоговой и/или дискретной форме;

– «самооптимизацию» параметров под особенности объекта регулирования (функция автоматической настройки параметров регулирования);

– хранение в энергонезависимой памяти настроек для двух разных объектов регулирования;

– одновременное управление тепловыми процессами в четырех объектах регулирования.

2. Компьютер выдает сигналы управления на мультиметр Keithley 2001. Мультиметр опрашивает измерительные каналы и при поступлении данных посылает их в компьютер для последующей записи и отображения на экране.

Общая масса АК 17 кг.

Тестирование системы нагрева проведено в области наиболее часто используемых режимов нагрева при исследованиях теплового взрыва с тепловой камерой (см. рис. 3).

1. Скорость нагрева 0,5 °С/мин, выдержка при заданной температуре не менее 30 мин, температура нагрева до 150 °С (кривая нагрева приведена на рис. 4).

2. Нагрев со скоростью 2 °С/мин до 100 °С, затем нагрев со скоростью 1 °С/мин до 200 °С и далее нагрев со скоростью 0,5 °С/мин (кривая нагрева приведена на рис. 5).

Из рис. 4 и 5 видно, что нагрев камеры с имитатором ВВ диаметром 50 мм и высотой 40 мм осуществляется в соответствии с заданным режимом. Отклонение значения температуры не превышает ±1 %, продолжительность переходного процесса составляет не более 4 минут (см. рис. 4). Термопара для регулирования была установлена на границе камера – имитатор ВВ.

Для нагрева ВВ в другой тепловой камере необходимо рассчитать параметры настройки для регулятора «IMAGO-500».

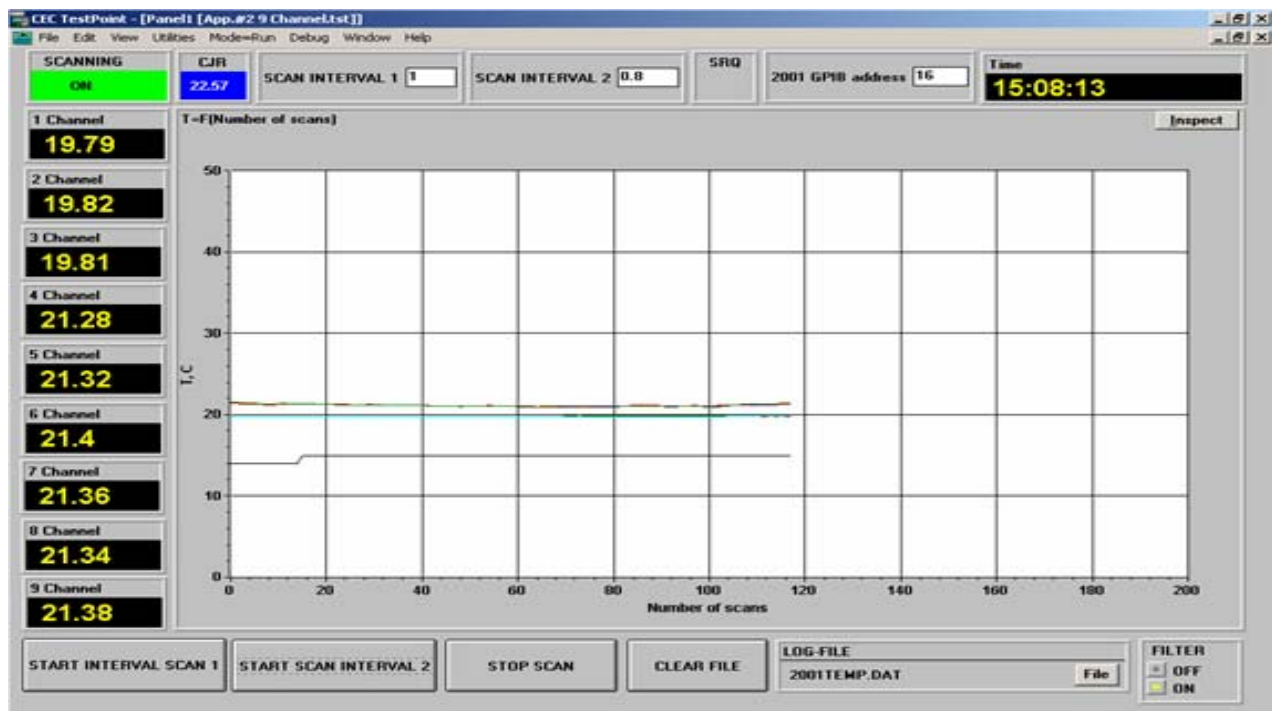


Рис. 2. Внешний вид экранной формы отображения

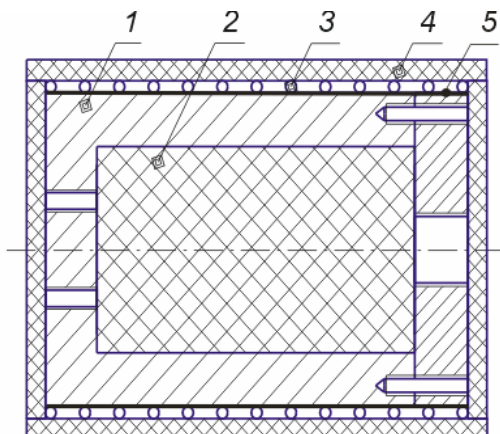


Рис. 3. Тепловая камера для нагрева ВВ: 1 – корпус камеры; 2 – инертный материал (имитатор ВВ) размерами $\text{Ø}50 \times 40$ мм; 3 – электронагреватель (нихромовый провод сечением $0,5 \text{ мм}^2$); 4 – асбестовая изоляция; 5 – теплостеклоткань ЛСК-150

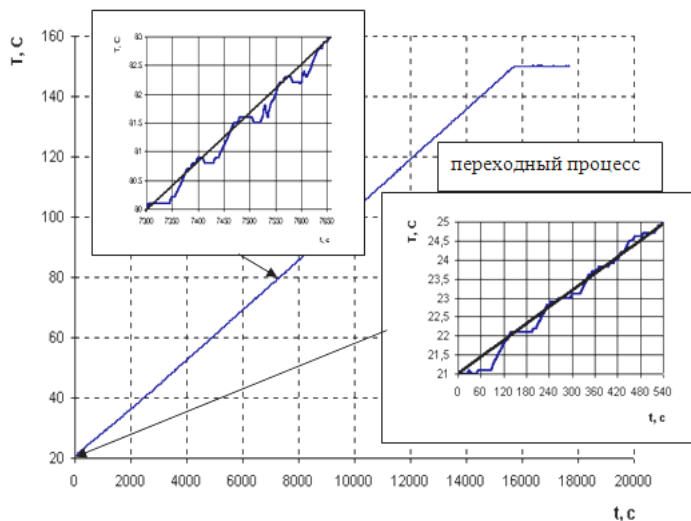


Рис. 4. Кривая нагрева образца $\text{Ø}50 \times 40$ мм из имитатора ВВ – 2 в тепловой камере со скоростью $0,5 \text{ °C/мин}$

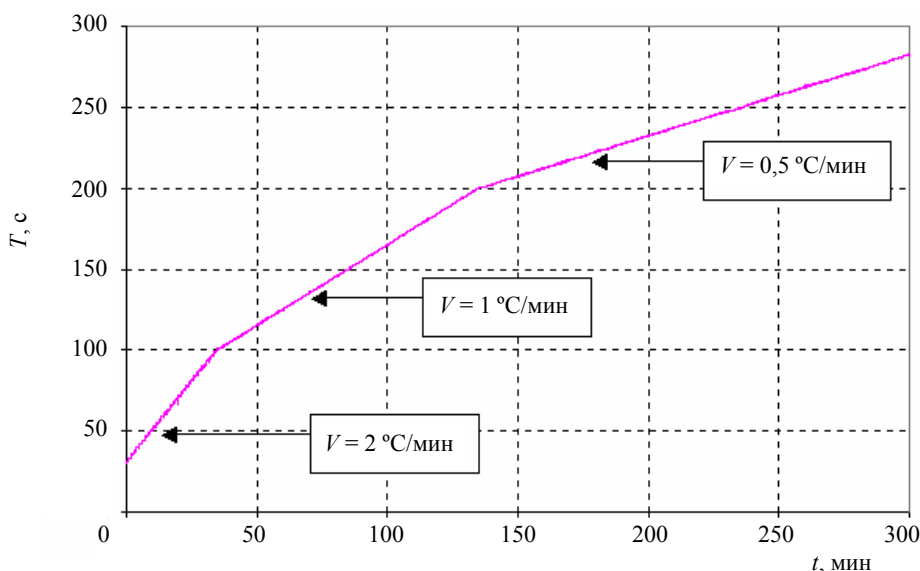


Рис. 5. Кривая нагрева образца $\text{Ø}50 \times 40$ мм из имитатора ВВ – 2 в тепловой камере с различными скоростями

При расчете параметров настройки регулятора «ИМАГО-500» предпочтительно использовать ПИ (пропорционально-интегральный) закон регулирования, который наиболее часто применяется при регулировании тепловых энергетических процессов. ПИ – регулирование направлено на устранение установившейся ошибки регулирования [1]. Параметрами настройки ПИ – регулятора являются «коэффициент передачи регулятора k_p » и «постоянная времени издромы $T_{из}$ », которые могут быть получены при исследовании кривой переходной характеристики объекта регулирования. По кривой переходной характеристики камеры рассчитываются параметры настройки регулятора с помощью формул [1, 2]. Данный метод является наиболее простым из имеющихся вариантов расчета параметров настройки регулятора.

Погрешность системы измерения и регистрации температуры равна $\pm 1,7 \text{ °C}$ (коэффициент Стьюдента $t = 2,000$ при вероятности $P = 0,95$).

С использованием разработанного АК проведено исследование теплового взрыва заряда ВВ, нагрев которого проводили в тепловой камере (см. рис. 4).

Заряд ВВ состоял из:

- детали из пластифицированного ВВ на основе ТАТБ, $\text{Ø}40 \times 15$ мм;
- детали из пластифицированного ВВ на основе октогена, $\text{Ø}60 \times 25$ мм.

Нагрев ВВ проводили до 215 °C со скоростью $0,5 \text{ °C/мин}$ с выдержкой при этой температуре в течение расчетного времени. На рис. 6 представлены графики нагрева ВВ в тепловой камере.

Процесс нагрева ВВ завершился взрывом, который произошел вследствие возникновения теплового взрыва октогена (см. рис. 6). На рис. 6 указан фазовый переход в октогене из β - в δ -модификацию в диапазоне температур $165\text{--}180 \text{ °C}$ и критическая температура теплового взрыва октогена.

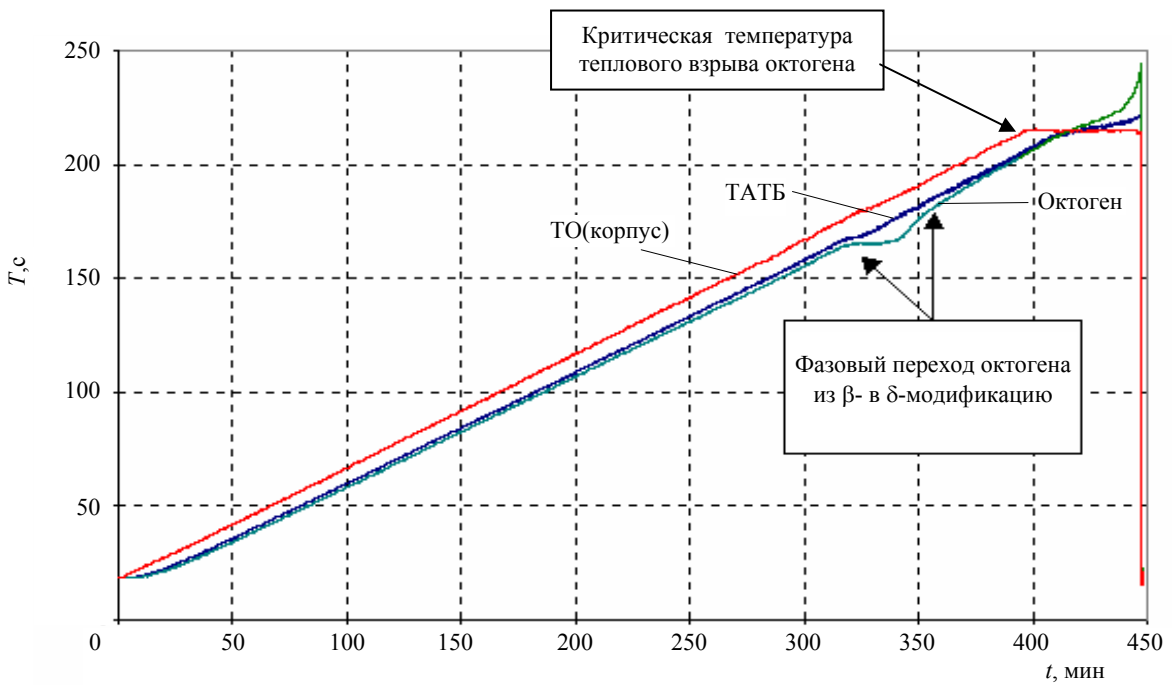


Рис. 6. Графики нагрева ВВ в тепловой камере

Как видно из графика, АК обладает достаточной чувствительностью, чтобы зарегистрировать процесс фазового перехода в октогене. С помощью АК также можно регистрировать такие переходные процессы, происходящие при нагреве ВВ, как, например, плавление ВВ. Полученные данные позволяют более точно представлять процессы, происходящие с ВВ при повышенных температурах.

Таким образом, разработанный АК удовлетворяет предъявленным требованиям и позволяет проводить следующие исследования ВВ:

- возникновение теплового взрыва ВВ;
- работоспособность ВВ при высокотемпературном нагреве;

– индукционный период до начала интенсивного разложения ВВ и др.

Литература

1. TestPoint (№ лиц. 11846). Techniques and reference. TestPoint users guide № 04000–901000. Vol. 2. Sixth edition. The USA, 1999.
2. Стефани Е. П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. 2-е изд. М.: Энергия, 1972.
3. Клюев А. С. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1989.