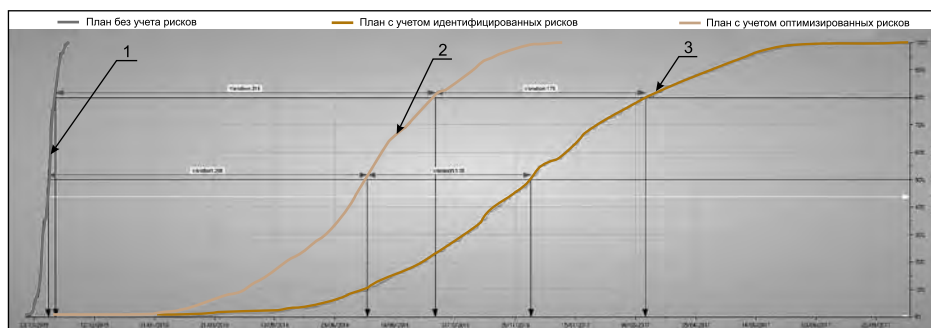


- кривая 1 — функция без учета влияния рисков;
- кривая 2 — функция с учетом идентифицированных рисков и планом их оптимизации.
- кривая 3 — функция с учетом идентифицированных рисков с различной степенью вероятности.



Заключение

Рис. 4. Оценка сроков выполнения проекта с/без учета управления рисками

Предложенный алгоритм и программное обеспечение управления рисками позволили сократить сроки проекта по аттестации методик измерений при летных испытаниях на 175 дней, а также сократить стоимость выполнения работ. Разработанное метрологическое программное обеспечение по оценке технических рисков (динамических погрешностей и автоматизации обработки результатов испытаний) позволит также повысить точность и качество измерений при летных испытаниях авиационной техники.

Список литературы

1. Lynn Crawford, J. Brian Hobbs, J. Rodney Turner. Project Categorization Systems. PMI. 2005.
2. Бондарцев В.В., Бордуков А.А., Токмакова Т.Г. Принципы построения автоматизированной системы управления рисками при проведении летного эксперимента //Промышленные АСУ и контроллеры. 2016. № 1.
3. Vasilie Dumbravă. Using Probability – Impact Matrix in Analysis and Risk Assessment Projects // Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technolog. December. 2013.
4. Aaron J. Shenhar, Dov Dvir. Project Management Evolution: Past History and Future Research Directions. Innovations. Project Management Research. 2004. PMI.
5. Фатрелл Р.Т., Шафер Д.Ф., Шафер Л.И. Управление программными проектами. Достижение оптимального качества при минимуме затрат. Изд. Вильямс. 2003. 1064 с.
6. Куржановский А.В. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. М.: Наука. 1997. 326 с.
7. Ермаков С.М., Жигляевский А.А. Математическая теория оптимального эксперимента. М.: Наука. 1987. 296 с.
8. Башуев С.Д. Автоматика и автоматизация производственными процессами. М.: Высш. шк., 1992. 256 с.
9. Бондарцев В.В., Бордуков А.А., Абрамов А.М и др. Алгоритм оптимизации динамической погрешности цифровых преобразователей, применяемых в системах бортовых измерений для анализа полетной информации//Вестник РГРТУ. 2015. № 4.

Бордуков Андрей Алексеевич — начальник сектора лаборатории МОИИИС АО «ЛИИ им. М.М. Громова». Контактный телефон +7(926) 416-13-68. E-mail: mp.job@icloud.com

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ

В.С. Куренков, А.В. Чушкин, В.Д. Макаренко (ФГУП «ФЦДТ «Союз»)

Проанализирована работа технологического участка определения скорости горения полимерных материалов на предприятии ФГУП «ФЦДТ «Союз». Определены основные недостатки в технологическом процессе, одним из которых является ручное регулирование давления в установке постоянного давления, которое зачастую приводит к отбраковке результатов испытаний из-за нестабильного поддержания давления. Для решения данной проблемы разработана система автоматического поддержания давления с применением современных быстродействующих клапанов.

Ключевые слова: полимерные материалы, скорость горения, установка постоянного давления, клапан автоматического регулирования, автоматизированное рабочее место.

Введение

Для определения скорости горения полимерных материалов (ПМ) на испытательной станции ФЦДТ «Союз» применяется универсальный метод, основанный на сжигании типовых образцов ПМ торцевого горения, бронированных по боковой поверхности с квадратным (10x10 мм) или круглым (диаметрами 18 или 36 мм) сечением [1]. Испытания проводят в специальных установках постоянного давления (УПД) при постоянном давлении и температуре. На основании результатов испытаний образцов при разных значениях давления выводится закон горения ПМ.

Скорость горения определяется следующим способом. В полимерном образце на определенном расстоянии (L) сверлят два отверстия, в которые вставляют проволочные сигнализаторы, по перегоранию которых фиксируют момент начала t_1 и окончания t_2 горения. Затем образец устанавливают на контактную крышку по специальной схеме подключения и помещают в УПД. В момент перегорания сигнализаторов по резкому изменению их сопротивления в цепи фиксируется начало и окончание горения (рис. 1). Скорость горения определяется по соотношению $U=L/(t_2-t_1)$.

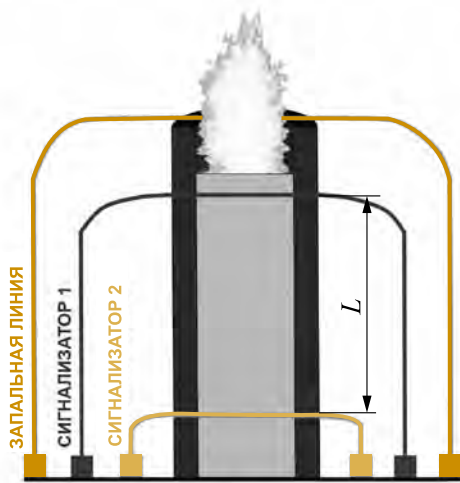


Рис. 1. Метод перегорающих сигнализаторов

Описание проблемы

В технологическом процессе определения скорости горения существует ряд проблем. Одна из проблем заключается в том, что поддержание давления в УПД при испытании производится вручную оператором через дроссельные краны. Ранее из-за испытаний однотипных ПМ со схожими свойствами вопрос регулирования давления не являлся критическим. Однако в настоящее время разработаны новые типы ПМ, обладающие рядом специфических свойств, и система ручного регулирования давления не обеспечивает выполнение более «жестких» требований к точности экспериментального определения скорости горения.

При значительном отклонении давления от заданного значения во время испытания вносится ошибка, влияющая на результат скорости горения. Анализ результатов испытаний показывает, что при испытании некоторых образцов ПМ давление в процессе горения выходит за допустимый диапазон в 5% от заданного значения (рис. 2). Скорость горения прямо зависит от давления, поэтому при непостоянстве давления

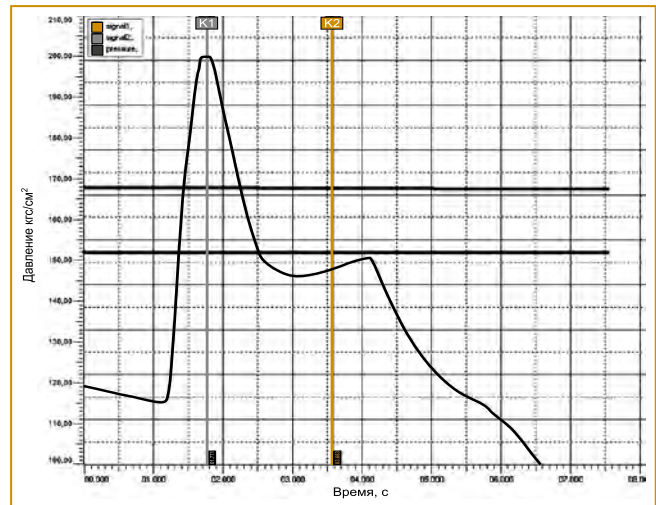


Рис. 2. Эксперимент по регистрации основных параметров горения

возникает дополнительная ошибка и в определении скорости горения.

На рис. 2 горизонтальными линиями показан допустимый диапазон отклонения давления от заданного (в данном случае 16 МПа). Курсоры K1 и K2 показывают моменты перегорания сигнализаторов (время горения контрольного участка). Давление на протяжении горения контрольного участка должно находиться в требуемом диапазоне, однако оно постоянно изменяется.

При начале горения возникают большие скачки давления из-за того, что в процессе воспламенения выделяется большое количество энергии, так как температура продуктов сгорания некоторых ПМ достигает 3500°C. Газ, находящийся в УПД, начинает расширяться, что приводит к быстрому росту давления. При ручном поддержании давления этот фактор невозможно исправить, поэтому существует необходимость в разработке автоматизированной системы.

Разработка проекта

Предлагается модернизировать систему и добавить в нее три клапана. Один будет отвечать за подачу давления из ресивера в УПД. Через второй будет производиться сброс излишнего давления. А третий предусмотрен для аварийного сброса давления в случае неисправности или выхода из строя второго клапана (рис. 3).

В первую очередь необходимо подобрать клапан для автоматической подачи давления в УПД, управление которым ведется через АРМ.

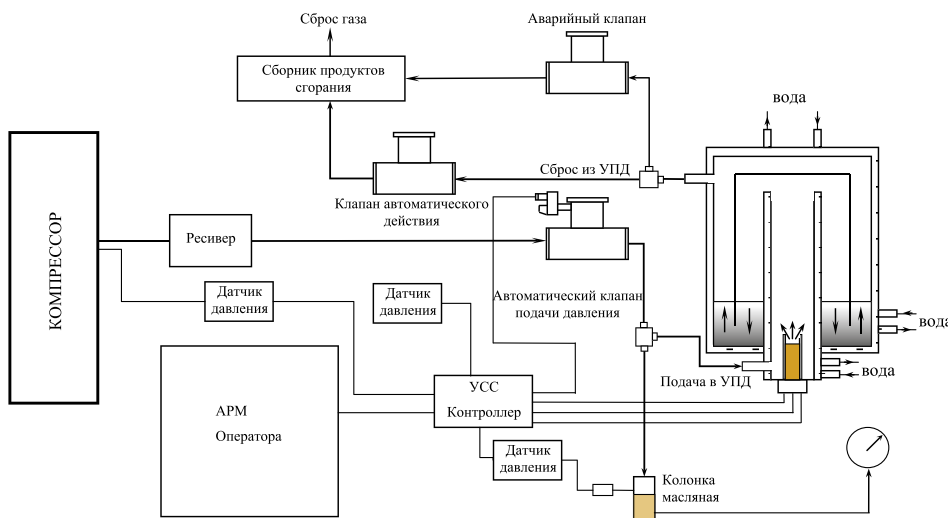


Рис. 3. Структурная схема системы автоматического регулирования давления в УПД

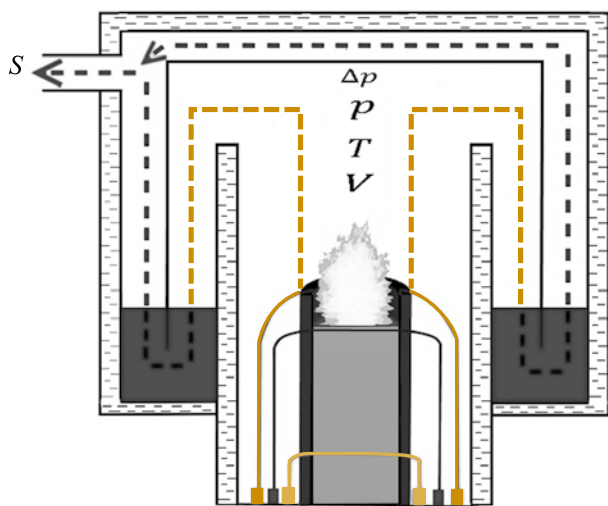


Рис. 4. Определение оптимального выходного сечения, где Δp - давление через секунду после поджига, p - давление в УПД, T - температура в УПД, V - объем УПД, S - площадь поперечного сечения

В результате анализа продукции, представленной на российском рынке, был выбран отсечной клапан КМО производства ПНФ «ЛГ автоматика», удовлетворяющий необходимым требованиям по скорости открытия, пропускной способности, диапазону давления и т. д.

Далее требовалось интегрировать управление клапаном подачи газа в существующую программу проведения испытаний на определение скорости горения. В программе задается необходимое давление и после проведения текущих проверок сигналов системы измерения клапан подачи должен открыться, подать давление до требуемого уровня и после этого закрыться. В случае снижения давления в процессе испытания ниже заданного уровня клапан мгновенно открывается, нагнетая давление до необходимого уровня. Возможности такого клапана нивелируют человеческий фактор при эксперименте.

Следующим этапом разработки системы является выработка требований к клапану сброса избыточного давления. Основной задачей этого клапана является сброс излишнего давления в УПД при горении образца ПМ. При испытании давление должно находиться в строгом интервале $\pm 5\%$ от заданного. В случае превышения допустимого давления должен открыться клапан сброса и вернуть давление к необходимому уровню.

При использовании в системе клапана сброса давления возникает ряд проблем:

- клапан используется в агрессивной среде продуктов сгорания;
- при горении высокотемпературных ПМ происходит резкий рост давления в УПД;
- процесс горения быстрогорящих ПМ занимает порядка нескольких секунд.

Применение в системе клапана с автоматическим регулятором могло бы решить данные проблемы, од-

нако сложность заключается в том, что ежедневно испытываются десятки ПМ различного состава, имеющие различные скорости горения. При испытании каждого из них давление меняется уникальным образом. Учитывая многообразие ПМ и особенности каждого из них, настроить ПИД-компоненты регулятора не представляется возможным. Выходом из ситуации мог бы стать двухпозиционный регулятор, который бы открывал заслонку, перекрывающую сброс газа из УПД в отборник продуктов сгорания, как только давление превысит заданное на 5%. Затем, после нормализации давления сброс снова перекрывался бы. Но при испытании быстрогорящих ПМ давление возрастает настолько стремительно, что даже если время срабатывания будет минимальным, то постоянные циклы открытия/закрытия заслонки быстро приведут к износу механизма.

В связи с вышеописанным принято решение разработать перепускной клапан автоматического сброса давления. За основу взят клапан автоматического действия, используемый в подобных огневых испытаниях при медленноменяющемся низком давлении (до 1 МПа). Клапан после модификации при должном времени срабатывания будет успевать регулировать давление в течение всего процесса горения. Прежде всего, необходимо подобрать оптимальное выходное сечение клапана. Для этого необходимо знать перепад давления в момент поджига образца.

Зная характеристики определенного ПМ и начальное давление при огневом испытании, можно определить величину Δp - рост давления в УПД через 1 секунду после воспламенения образца. Получив Δp , можно рассчитать оптимальное сечение клапана сброса, чтобы он успевал стравливать излишнее давление с необходимой скоростью, используя следующее выражение:

$$S = \frac{\Delta p}{p} * \frac{V}{\sqrt{2C_p T \left(1 - \left(\frac{p_\infty}{p}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)}},$$

где S - площадь сечения клапана, Δp - изменение давления за единицу времени, p - начальное давление, V - объем УПД, C_p - теплоемкость газа, T - температура газа, p_∞ - давление на выходе клапана, γ - показатель адиабаты.

Далее проводится расчет пропускной способности клапана. Коэффициент пропускной способности для газов рассчитывается в зависимости от перепада давления и проводится в соответствии с [2].

С помощью полученных результатов в ФЦДТ «Союз» модернизирован перепускной клапан с оптимальным выходным сечением и пропускной способностью, позволяющий с требуемым быстродействием проводить качественное регулирование давления в процессе испытания любых ПМ в допустимом диапазоне.

Клапан состоит из корпуса, внутренний объем которого является емкостью для создания контрольного

давления. В верхней части корпуса шпильками крепится гибкая мембрана и крышка. В центре крышки расположен ряд отверстий, через которые передается давление на мембрану через штуцер от установки в течение опыта. Если давление в камере испытаний превышает контрольное значение в корпусе клапана, то гибкая мембрана прогибается, открывая наклонные отверстия крышки, через которые производится сброс избыточного давления.

Основные результаты

Оператор посредством АРМ вводит необходимые данные для проведения испытаний образцов ПМ, в том числе и заданное давление и запускает испытание. После успешной проверки целостности измерительных каналов, запальной линии, блокировки двери испытательной кабины автоматически открывается клапан подачи давления и нагнетает в УПД давление, заданное в программе испытаний. После сигнала от АРМ о готовности к проведению испытания испытатель дает команду на поджиг образца, и процесс регулирования давления ведется в автоматическом режиме посредством срабатывания клапана сброса давления в случае превышения заданного значения давления более чем на 5% от заданного и срабатывания клапана подачи давления в случае снижения давления ниже заданного уровня.

На рис. 5 представлен график испытания с применением разработанной системы, на котором видно насколько уменьшился рост давления в УПД в момент воспламенения. В процентном соотношении величина скачка уменьшилась в 5 раз, а кривая давления находится в доверительном интервале во время всего испытания.

Заключение

Таким образом проведен анализ технологического процесса определения скорости горения ПМ, выявлены проблемы, главной из которых является нестабильное поддержание постоянного давления в процессе испытания оператором, что ведет к отбраковке результатов испытаний. Для решения этой проблемы разработана автоматизированная система поддержания давления, основанная на применении регулирующего клапана подачи давления в установку и автоматического клапана поддержания давления. Для разработки перепускного клапана автоматического действия проведены расчеты по выбору оптимального выходного сечения и пропускной способности.

В результате проведенной работы процесс поддержания давления во время испытания ведется

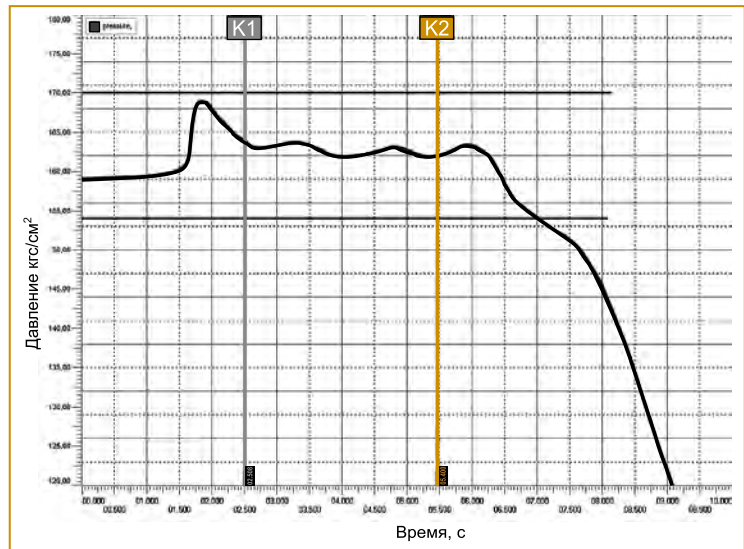


Рис. 5. График испытаний с клапаном автоматического действия

в автоматическом режиме без участия оператора. После ввода необходимой информации в программу испытаний и запуска испытания проводятся текущие проверки сигналов, и в случае успешной проверки в устройство согласования сигналов (УСС) подается команда на открытие клапана подачи давления из ресивера. Давление одновременно нагнетается в УПД и перепускной клапан автоматического действия. По достижении давления до заданного уровня клапан закрывается и на АРМ подается сигнал о готовности к поджигу образца ПМ. Оператор запускает испытание и при увеличении давления мгновенно срабатывает перепускной клапан, сбрасывая излишнее давление в сборник продуктов сгорания. Результаты отработки системы показывают, что величина резкого роста давления при поджиге уменьшилась в 5 раз и давление находится в доверительном интервале во время всего испытания.

В итоге внедрение автоматизированной системы регулирования давления решает ряд проблем. Во-первых, устранение человеческого фактора при регулировании давления. Во-вторых, повышение точности измерения давления, а следовательно, и скорости горения. В-третьих, повышение производительности труда.

Список литературы

1. Гамий В.А., Калашников В.И., Юрлов А.Ф. Методика использования проволочных сигнализаторов при измерении скорости горения РТГ// Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. Вып. №1. 2009. С.73-79.
2. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры: Расчет трубопроводной арматуры. Изд. 5-е. М.: Изд. ЛКИ. 2008. 480 с.

Куренков Валерий Сергеевич — начальник отделения автоматизации,

Чушкин Александр Викторович — ведущий инженер,

Макаренко Виталий Дмитриевич — инженер-электроник ФГУП «ФЦДТ «Союз».

Контактный телефон (495) 551-71-23.

E-mail: soyuz@fcdt.ru.