

ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗРЯДА СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (ГТД)

Н.С. Кюрегян, Д.А. Голенцов, В.С. Фланден (ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова»)

Актуальность и необходимость решения поставленной задачи обуславливаются отсутствием в отечественной промышленности разработанных методов и средств диагностики параметров электрических разрядов непосредственно на свечах зажигания, что препятствует рациональному выбору параметров систем зажигания, оптимизации процессов воспламенения в камерах сгорания и обеспечению надежного запуска воздушно-реактивного двигателя (ВРД). Такая аппаратура необходима как отраслевым НИИ, так и агрегатным и моторным ОКБ и заводам в исследовательских целях, при разработке систем зажигания, их контроле, испытаниях и оснащении ими разрабатываемых ВРД.

Ключевые слова: свеча зажигания ГТД, параметры разряда, диагностика систем зажигания ГТД.

Для обеспечения надежного воспламенения в камерах сгорания при запуске авиационных ГТД актуальной остается задача диагностики разрядных импульсов на свечах зажигания. Так, полезная энергия, выделяемая в разрядном промежутке свечи, которая может составлять до 30% от накопленной энергии в конденсаторе агрегата зажигания, определяется параметрическим и эксплуатационным состоянием элементов системы зажигания, составом и физическим состоянием среды в зоне разряда. Существенную роль в обеспечении воспламенения топливно-воздушной смеси играет также и сама форма разрядного импульса, определяемая характерными амплитудами тока и напряжения, частотой и длительностью импульса.

Зачастую выбор параметров и режимов систем зажигания происходит априорно, и выбор оказывается далеко не оптимальным с позиций энергетической эффективности. Таким образом, встает задача разработки системы измерений параметров разрядных импульсов, которая должна обеспечивать вычисление комплексных диагностических показателей энергетической эффективности разряда, таких как значения энергии, выделяемые в элементах разрядного контура, эффективное значение тока разрядного импульса, К. П.Д. разряда и ряда других показателей [1,2].

Один из основных диагностических показателей — энергия разряда $Q_{св}$, вычисляется по формуле $Q_{св} = \int_0^{\tau} U_p I_p dt$, где U_p , I_p — регистрируемые значения напряжения и тока разряда. Диагностическая система состоит из измерительного модуля, который объединяет собой датчики тока и напряжения разряда, измерительный адаптер и подключается к разрядному контуру системы зажигания между агрегатом зажигания и свечой зажигания, а также из линии передачи сигналов тока и напряжения в систему сбора и обработки. Блок-схема такой системы представлена на рис. 1.

Одним из главных требований к элементам диагностической системы является обеспечение минимальных искажений уровней и формы сигналов в процессе их преобразований и передачи от исходных точек к местам регистрации, что определяется выбором оптимальной конструкции датчиков и согласованием элементов измерительного канала для достижения максимальной точности отображения импульсов.

Важным аспектом является грамотная регистрация полученных сигналов. Регистрация должна проходить без искажений, пропусков сигналов, при этом желательна обработка данных в темпе эксперимента.

Грамотный выбор характеристик регистратора-анализатора сигналов является первой задачей, которую приходится решать при автоматизации процесса измерений.

Для организации корректной записи данных необходимо определить такой важный элемент, как частоту дискретизации, с которой будет проводиться запись. На рис. 2 приведены сигналы, полученные на тестовой свече зажигания, от одного разряда с помощью платы АЦП с частотой дискретизации 0,5 МГц/канал (слева) и с частотой дискретизации 10 МГц/канал (справа). На рисунке коричневая кривая — сигнал с датчика тока, черная — с датчика напряжения. Значения тока и напряжения на данных рисунках приведены в вольтах — это те сигналы, которые регистрируются датчиками. При дальнейшей обработке для получения реальных значений тока и напряжения, зарегистрированные значения сигналов должны быть умножены на коэффициенты, определенные, исходя из конструктивных особенностей датчиков.

Анализ показал, что хотя сами сигналы, представляющие собой разряды на свече, следуют с низкой

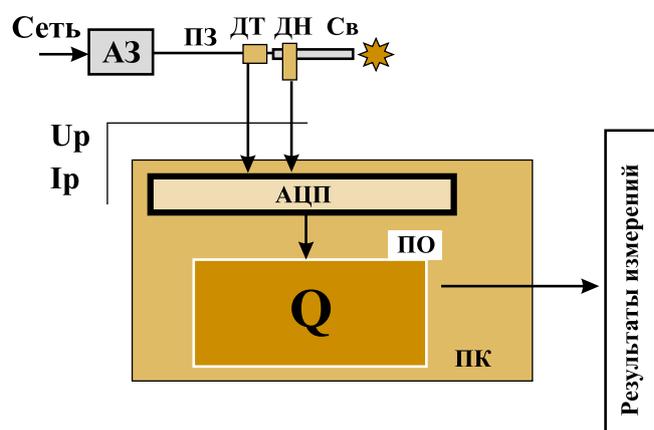


Рис. 1. Обобщенная блок-схема системы измерений и системы зажигания, где АЗ — агрегат зажигания, ПЗ — провод зажигания, Св — свеча зажигания, ДТ — датчик тока, ДН — датчик напряжения, АЦП — аналого-цифровой преобразователь

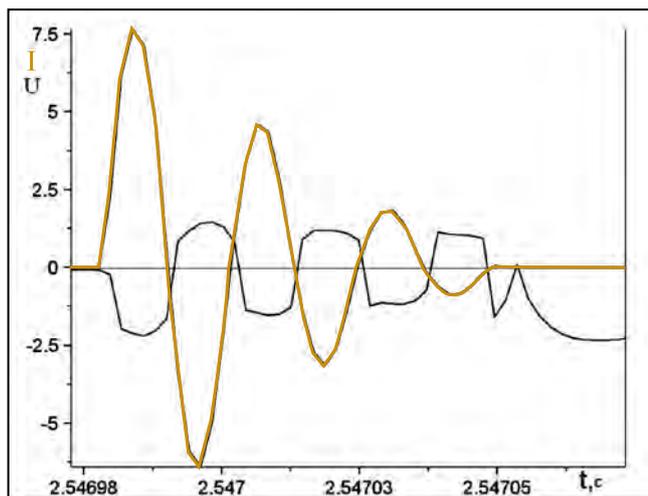
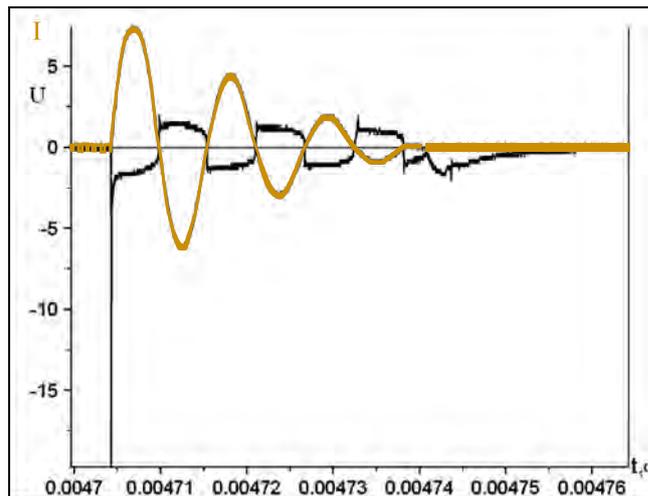


Рис. 2. Пример зарегистрированных сигналов



частотой (единицы Гц), но они имеют высокочастотную внутреннюю структуру, представляющую собой затухающую синусоиду. Для определения параметров разряда необходим анализ именно этой внутренней структуры. Поэтому для надежного анализа необходима частота опроса не ниже 10 МГц. Из рис. 2 (слева) видно, что при недостаточной частоте опроса сигнал получается не гладким, возникают пропуски точек, хорошо заметен сдвиг по фазе между сигналами тока и напряжения, который обусловлен низкой частотой дискретизации. Эта некорректность в регистрации сигнала приводит к ошибкам в определении параметров разряда. Поэтому грамотный выбор частоты дискретизации сигнала, а следовательно, АЦП является важнейшей задачей при построении автоматизированной диагностической системы параметров разряда.

Следует отметить, что запись сигнала с высокой частотой дискретизации представляет собой непростую задачу. Размеры записанных файлов получаются очень большими, поэтому АЦП должен иметь внутренний буфер большой емкости для накопления данных с возможностью быстрого сброса данных на накопитель. Это позволит производить запись данных без запуска по триггеру, непрерывно в течение всего периода работы системы зажигания на двигателе. Это достижимо с использованием автономных систем регистрации, сформированных, например, на платформе РХИ.

Помимо характеристик самого регистратора, большую роль играет программа регистрации сигналов, их записи и последующей обработки.

Имеется два подхода к сбору данных: непрерывная регистрация сигналов с датчиков тока и напряжения или же регистрация по триггеру. Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки. В первом случае отсутствуют потери информации, и подход характеризуется простотой алгоритма сбора данных. Однако нужно учитывать, что регистрация сигналов выразится в большом расходе памяти ре-

гистрирующего устройства (компьютера). Во втором случае необходимо такое аппаратное обеспечение, которое позволяет регистрировать сигналы не только после срабатывания триггера, настроенного на момент начала разряда, но и в небольшой промежуток времени перед срабатыванием триггера во избежание пропуска данных в самом начале разряда.

Для данных целей ранее было разработано ПО, позволяющее наблюдать осциллограммы токов и напряжений с датчиков, сохранять полученные данные в текстовый файл, вычислять значения энергии разряда после записи сигналов и выводить их на экран в виде графика. Это ПО состояло из двух модулей. Первый модуль использовался для регистрации сигналов с датчиков. Он позволял:

- задавать максимальную разрешенную амплитуду по каналам тока и напряжения в виде одного и того же числа в амперах и вольтах соответственно;
- выбирать каналы АЦП;
- выбирать путь и файл для записи данных;
- задавать уровень напряжения срабатывания триггера;
- наблюдать как семейство всех зарегистрированных сигналов, так и один набор, состоящий из осциллограмм тока и напряжения одного разрядного импульса;
- задавать величину временного интервала записи до начала разряда;
- останавливать регистрацию сигналов по нажатию кнопки «Стоп».

Второй модуль предназначен для расчета энергии и графического отображения всех зафиксированных сигналов. Для данного расчета требуется с помощью первого модуля сохранить характеристики, остановить работу модуля регистрации, потом запустить второй модуль, загрузить данные из файла, задать параметры датчика, выбрать номера характеристик для расчета и после этого программа выведет результат.

В дальнейшем, это ПО было доработано, а его возможности расширены. Сегодня ПО позволяет:

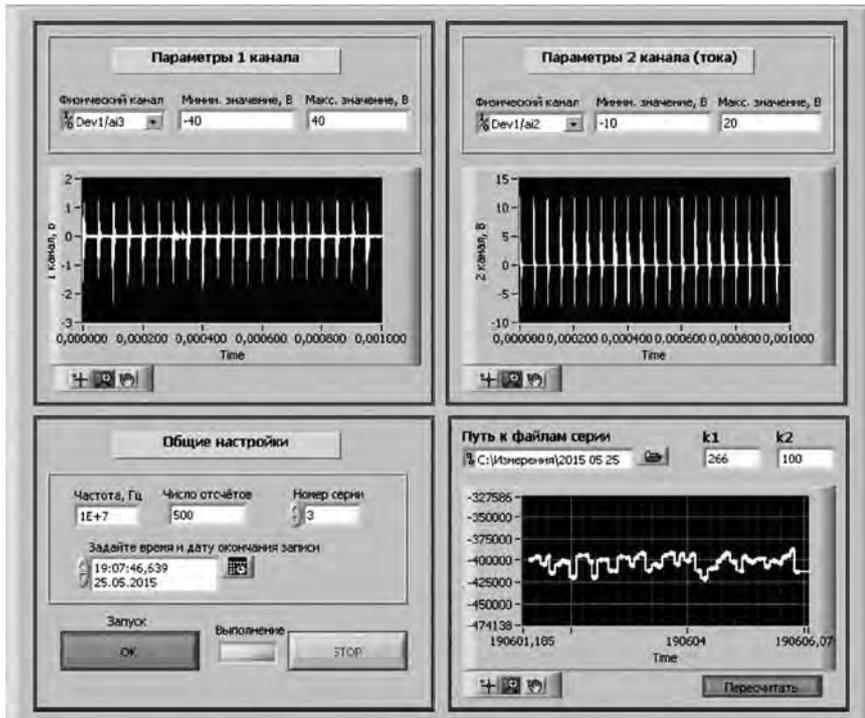


Рис.3. Интерфейс программы сбора и обработки данных

- задавать по отдельности максимальную разрешенную амплитуду для каждого канала тока и напряжения в амперах и вольтах соответственно;
- выбирать каналы АЦП;
- выбирать путь и файл для записи данных;
- задавать уровень напряжения срабатывания триггера;
- наблюдать последовательности зарегистрированных сигналов и один из выбранных наборов, состоящих из осциллограмм тока и напряжения одного разряда;
- регистрировать сигналы временным интервалом, то есть запись сигналов продолжается до указанного момента времени;
- исключать пропуск регистрации сигналов от отдельных разрядов;
- проводить расчет энергии для указанного набора осциллограмм тока и напряжения и его графического отображения сразу после окончания регистрации.

Интерфейс разработанной программы представлен на рис. 3.

В настоящее время идет формирование и экспериментальная отработка такой программы в стендовых условиях. При этом предполагается введение глобального времени, привязанного к моментам включения системы зажигания и ее разрядных импульсов. Последнее связано с преодолением определенных

трудностей, вызванных ограниченным объемом буферной памяти используемого АЦП.

Следует отметить, что данная диагностическая система является автономной и мобильной и может быть использована как на различных стендах (особенности конструкции различных систем зажигания могут быть учтены подбором адаптера для подключения датчиков тока и напряжения), так и для диагностики характеристик разрядов свечей зажигания в лабораторных условиях без привязки к конкретному двигателю.

Диагностическая система используется в ЦИАМ им. П.И. Баранова для определения параметров разряда находящихся в эксплуатации и экспериментальных свечей зажигания (емкостного, плазменного типа) в ходе работ по созданию новых камер сгорания и исследования особенностей запуска двигателя в различных условиях.

Диагностика происходит в лабораторных условиях до установки агрегата и свечи зажигания на камеру сгорания. В таких случаях вполне достаточно первого варианта программы регистрации, так как время работы свечи составляет несколько секунд и не нужно задействовать большие вычислительные мощности. При использовании системы в стендовых условиях будет применяться новый вариант программы, который проходит отработку именно в стендовых условиях.

Таким образом, грамотная регистрация и обработка данных, подбор элементов измерительного канала позволят получить корректную информацию о параметрах разрядных импульсов на свечах зажигания ГТД. Это предоставляет возможности выбора альтернатив при исследовании пусковых характеристик систем зажигания, оптимизации этих характеристик, рационального назначения параметров системы зажигания для конкретных камер сгорания.

Список литературы

1. Кюрегян Н.С., Голенцов Д.А. и др. Диагностика разрядов на свечах зажигания авиационных газотурбинных // Мир измерений. 2011. №12. с.21-25.
2. Кюрегян Н.С., Голенцов Д.А. и др. Метод и средства измерения параметров разряда свечей зажигания ГТД // Материалы научно-практического семинара "Проблемы авиационного двигателестроения". 2015. ЦИАМ, Москва.

Кюрегян Никита Сергеевич — начальник сектора,
Голенцов Дмитрий Анатольевич — канд. физ.-мат. наук, начальник сектора,
Фланден Вячеслав Сергеевич — инженер ФГУП "Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова".
 Контактный телефон (495)362-00-65.
 E-mail: golentsov@ciam.ru