

УДК 536.24: 536.46

Д. А. Ягодников, А. Н. Бобров,  
В. М. Анিকেев, Л. А. Филимонов

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Проведено исследование электрофизических характеристик рабочего процесса модельного жидкостного ракетного двигателя на газообразном кислороде и этиловом спирте. Получена линейная зависимость напряженности магнитного поля от давления в камере сгорания. Показана возможность разработки бесконтактных электрофизических методов диагностики и управления процессами горения в энергосиловых установках.*

**Ключевые слова:** электрофизика, жидкостной ракетный двигатель, бесконтактная диагностика.

Одно из основных направлений создания перспективных двигательных установок (ДУ) в изделиях ракетно-космической техники связано с разработкой надежных и высокоэффективных методов и средств диагностики, необходимых для реализации наилучших технических характеристик ДУ при наименьших экономических затратах. Традиционные методы исследования характеристик рабочего процесса в камерах сгорания (КС) ДУ не всегда эффективны, особенно в случае необходимости диагностики физико-химических процессов в объеме КС, и практически не пригодны для создания системы управления, мгновенно реагирующей на изменения рабочего процесса. В целях устранения указанных недостатков разрабатываются нетрадиционные методы диагностики ДУ, основанные, например, на регистрации электрофизических и электромагнитных характеристик рабочего процесса [1]. Предпосылкой данного метода диагностики является то, что процессы горения большинства встречающихся на практике топливных композиций жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) протекают при достаточно высокой температуре (2000...4000 К) и в продуктах сгорания (ПС) присутствуют как положительно, так и отрицательно заряженные частицы — ионы.

Так, например, в соответствии с результатами термодинамических расчетов в ПС спиртокислородной смеси содержатся следующие основные носители зарядов: свободные электроны и ионы  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ , концентрации которых практически не зависят от давления, а определяются только температурой ПС.

Например, при изменении давления в КС от 2,5 до 3,5 МПа, т.е. на 40%, концентрации электронов и ионов  $\text{H}_3\text{O}^+$  и  $\text{OH}^-$  на срезе

сопла увеличиваются на 1,9, 0,7 и 1,2 % соответственно. Обработка расчетных данных позволила получить следующие аппроксимационные зависимости концентраций заряженных частиц от температуры ПС  $T$  и коэффициента избытка окислителя  $\alpha$ :

$$g_{\text{H}_3\text{O}^+} = 1 \cdot 10^{-19} (8,633 \ln \alpha + 6,976) \left( \frac{T}{1000} \right)^{1,249\alpha + 23,749};$$

$$g_{\text{OH}^-} = 1 \cdot 10^{-22} (15,833\alpha - 7,436) \left( \frac{T}{1000} \right)^{-2,101\alpha^2 + 5,633\alpha + 29,972};$$

$$g_e = 1 \cdot 10^{-19} (-9,769\alpha^2 + 30,974\alpha - 4,810) \left( \frac{T}{1000} \right)^{0,379\alpha + 24,656}.$$

Наличие ионов в истекающей струе ПС обуславливает образование электромагнитного поля. Напряженности электрического ( $\vec{E}$ ) и магнитного ( $\vec{H}$ ) полей связаны с концентрациями ионов  $n_i$  и электронов  $n_e$  следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{E} &= \frac{4\pi e}{\varepsilon_0} (n_i - n_e); \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \frac{4\rho\sigma}{c} \vec{E}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $c$  — плотность, коэффициент электропроводности ПС и скорость звука соответственно;  $e$  — заряд электрона.

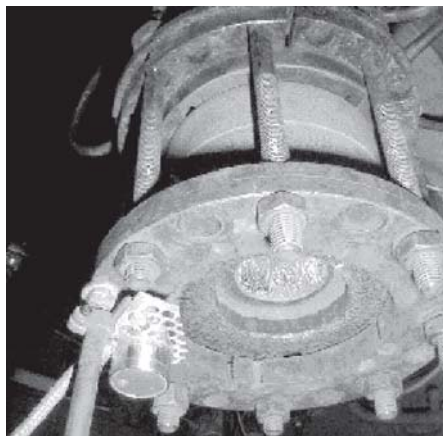
На основе изложенного цель настоящей работы можно сформулировать следующим образом: экспериментальное исследование параметров собственного электромагнитного поля ПС углеводородного топлива для создания бесконтактной системы диагностики ЖРД.

Подробные описания стенда для испытания модельного ЖРД и его конструкции приведены в работе [2]. Отметим только, что КС ЖРД состоит из нескольких секций, закрепленных вертикально на стапеле (рис. 1). В качестве горючего используется этиловый спирт с объемной концентрацией 75 %, а в качестве окислителя — газообразный кислород. Выбор такой пары компонентов топлива продиктован требованиями безопасности работы стенда, значительным опытом эксплуатации кислородно-спиртовых ЖРД. Кроме того, высокая температура горения указанной топливной композиции обуславливает достаточную ионизацию ПС для проведения электрофизических исследований.

Регистрация электромагнитного поля выхлопной струи ПС ЖРД осуществлялась с помощью датчиков магнитного (ДМП) и электрического (ДЭП) полей, расположение которых показано на рис. 2. Используемые датчики, разработанные в НПО измерительной техники, позволяют в процессе эксперимента регистрировать переменные составляющие магнитного и электрического полей в частотных диапазонах от 10 Гц до 100 000 Гц. Кроме того, оба датчика регистрируют



**Рис. 1. Общий вид камеры сгорания**



**Рис. 2. Расположение датчика электрического поля на КС**

электромагнитные колебания в частотных диапазонах 20...2000 Гц и 2...100 кГц по огибающей 100 Гц.

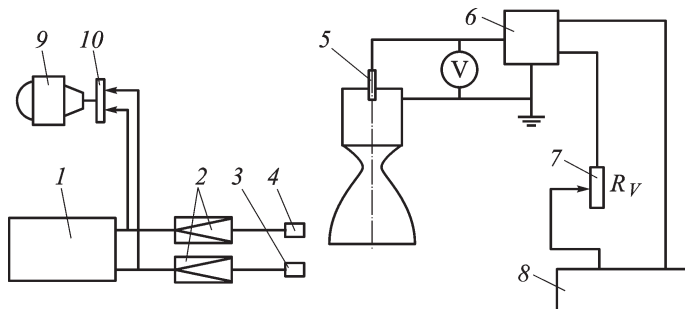
Пространственное положение ДМП и ДЭП по отношению к потоку ПС выбиралось таким, чтобы регистрируемый ими сигнал был наибольшим. Это достигалось с учетом данных предварительных градуировок датчиков, а также на основе электрофизической картины истечения ПС из сопла. Поскольку известно, что линии напряженности электрического поля (ЭП)  $\vec{E}$  находятся в меридиональной плоскости, то ДЭП расположен таким образом, чтобы вектор  $\vec{E}$  пересекал чувствительный элемент датчика. Линии напряженности магнитного поля (МП)  $\vec{H}$  расположены в радиальной плоскости и представляют собой окружности, соосные потоку ПС. В связи с этим ДМП крепится снаружи КС в районе критического сечения сопла таким образом, чтобы вектор  $\vec{H}$  оказался соосным цилиндрической обмотке датчика.

Для удобства представления, обработки и анализа информации введем условные обозначения каналов измерения.

*Датчик электрического поля:* ЭП2П — переменная составляющая сигнала напряженности ЭП; ЭП3П — огибающая по 100 Гц сигнала напряженности ЭП в диапазоне 20 Гц...2 кГц; ЭП4П — огибающая по 100 Гц сигнала напряженности ЭП в диапазоне 2...100 кГц.

*Датчик магнитного поля:* МП2П — переменная составляющая сигнала напряженности МП; МП4П — огибающая по 100 Гц сигнала напряженности МП в диапазоне 2...100 кГц.

Регистрация информации происходит следующим образом. Сигнал с первичных преобразователей 3 и 4 (рис. 3) поступает на промежуточные усилители 2. Далее сигналы разделяются на два потока. Первый поступает на избиратели пределов РО9, РО10 и шлейфовый осциллограф 1 типа Н-117.



**Рис. 3. Схема регистрации параметров электромагнитного поля:**

1 — осциллограф Н-117; 2 — усилители; 3 и 4 — ДЭП и ДЭМ; 5 — свеча зажигания; 6 — высоковольтный генератор; 7 — реостат; 8 — источник питания; 9 — персональный компьютер; 10 — плата сопряжения

Второй поток информации регистрируется и обрабатывается с помощью средств микропроцессорной и вычислительной техники. Практическая реализация аппаратно-программного комплекса для регистрации и обработки электрофизических характеристик рабочего процесса и режимных параметров ЖРД осуществлена при помощи компьютера типа Pentium и платы устройства сопряжения с объектом L-305. Это обеспечивает совместно со специально разработанным программным комплексом “LABORA” [3] непрерывную запись сигналов с датчиков при частоте опроса 20 кГц. Частота опроса определена временем преобразования платы L-305 и временными затратами на обращение к последней и пересылку данных. Суммарное время регистрации ограничено только емкостью накопителя на жестком диске.

В созданном программном комплексе применен принцип разделения программ регистрации и обработки сигналов. Данные фиксируются в бинарном виде, т.е. в кодах, получаемых от платы устройства сопряжения с объектом L-305. После проведения эксперимента записанные коды преобразуются с помощью специальной программы либо в значения напряжений, поступающих от датчиков, либо в соответствии с аппроксимирующими зависимостями для показаний датчиков в физические величины. При этом файл результатов имеет формат DOS и может быть импортирован в стандартные пакеты программ. Например, для визуализации регистрируемых сигналов без дополнительной обработки (фильтрации, сглаживания и т.д.) использовался редактор Excel. При выборе программ вторичной обработки в целях проведения спектрального анализа сигналов, их взаимной корреляции могут применяться пакеты, имеющие встроенные программы статистической обработки, например Matlab, LabView, Statistica.

Тарировка ДМП осуществлялась путем измерения МП внутри соленоида длиной 300 мм и диаметром 30 мм. Для прямого соленоида, длина которого значительно больше диаметра витков, напряженность поля внутри него составляет

$$H = ni,$$

где  $n$  — число витков на единицу длины (в нашем случае  $n = 700 \text{ м}^{-1}$ ),  $i$  — ток в катушке.

Поскольку соотношение длины и диаметра соленоида равно 10, то будем считать, что внутри соленоида поле однородно, т.е. имеет одинаковую напряженность и направление (вдоль оси соленоида) во всех точках. Датчик МП располагался внутри соленоида примерно на его середине перпендикулярно оси соленоида. Контроль перпендикулярности осуществлялся по максимуму снимаемого сигнала по каналу МП2П.

Предварительные исследования позволили установить, что наибольшей информативностью по амплитудным характеристикам обладает канал МП4П. Для исследования зависимости сигнала от напряженности поля была выбрана фиксированная частота 2 кГц, поскольку это значение соответствует нижней частотной границе чувствительности канала МП4П. Зависимость сигнала по каналу МП4П можно удовлетворительно аппроксимировать линейной функцией

$$U = 0,0023H + 0,0834,$$

где  $H$  — в амперах на метр (А/м);  $U$  — в вольтах (В).

Спектральный анализ колебаний напряженности ЭП может быть получен и выполнен в процессе вторичной обработки аналогового сигнала, регистрируемого соответствующими измерительными каналами МП2П и ЭП2П.

Основной задачей экспериментального исследования является моделирование возникновения аномальных режимов работы ЖРД, которые могут быть обусловлены разрушением элементов системы подачи топлива (прогар лопаток турбины, форсуночной головки), стенок КС, а также разгаром критического сечения и сверхзвуковой части сопла.

Рассмотрим результаты, полученные при моделировании разгара критического сечения сопла. Из уравнения неразрывности

$$p_k/p_k^0 = (d_{кр}^0/d_{кр})^2 \quad (2)$$

следует, что в процессе разгара критического сечения сопла должно происходить падение давления в КС. Здесь надстрочный индекс 0 соответствует начальным значениям давления  $p_k$  в КС и диаметра критического сечения сопла  $d_{кр}$ .

В первой серии огневых стендовых испытаний этот процесс моделировался при помощи изменения массового расхода кислорода, подаваемого в КС, а диаметр критического сечения был постоянным (критическое сечение сопла выполнено из жаропрочной стали и охлаждалось проточной водой). Из осциллограммы пуска (рис. 4) следует, что по мере уменьшения давления в КС происходит монотонное уменьшение напряженности магнитного поля, регистрируемой каналом МП4П, с  $H = 40 \text{ А/м}$  ( $p_k = 2,9 \text{ МПа}$ ) до  $H = 25 \text{ А/м}$  ( $p_k = 2,5 \text{ МПа}$ ).

Данный результат можно объяснить следующим образом. Напомним, что значения тока уноса, определяющего характеристики ЭП

истекающей струи ПС, пропорциональны диаметру среза сопла  $d_a$ , скорости потока  $v_a$  в этом сечении и концентрации заряженных частиц [4, 5]:

$$I_y \sim d_a v_a n_{e,i}. \quad (3)$$

Тогда при постоянном диаметре критического сечения уменьшение давления в КС обуславливает уменьшение концентрации ионов.

Следующей задачей являлось экспериментальное исследование разгара критического сечения (вкладыш диаметром  $d_{кр}^0 = 18$  мм). Постоянство расходов газообразного кислорода и этилового спирта (и, следовательно, значения  $\alpha$ ) в течение пуска обеспечивается установкой на магистралях подачи компонентов сверхзвукового и кавитационного сопел соответственно. Все показания датчиков в период запуска, выхода на режим аналогичны рассмотренным выше. Отличия появляются в тот момент, когда материал критического сечения не выдерживает теплового и эрозионного воздействий потока. Например, в случае использования теплостойкого стеклопластика П5-7 существенный разгар вкладыша зарегистрирован на 16-й секунде пуска, когда, согласно уравнению неразрывности (2), начинается монотонное падение давления в КС (рис. 5). Одновременно с этим начинает уменьшаться абсолютное значение сигнала ДМП по каналу МП4П: на останове ЖРД значение сигнала составляет 0,15 В, что соответствует значению напряженности МП  $H = 20$  А/м.

Кроме того, осциллограмма пуска свидетельствует о появлении неупорядоченного сигнала с амплитудой  $\pm 1$  В на канале ЭП2П, что может быть объяснено выносом из КС заряженных конденсированных частиц, являющихся продуктами термохимического разложения стеклопластика П5-7.

При использовании менее теплостойкого материала П5-2 разгар критического сечения начинается практически одновременно с выходом модельного ЖРД на номинальный режим (рис. 6). Об этом свидетельствуют тот факт, что давление в КС не достигает расчетного значения ( $\sim 3$  МПа). Причем по падению давления по формуле (2) можно рассчитать, как увеличивается диаметр критического сечения (рис. 7). Общий вид вкладыша критического сечения после огневого стендового испытания показан на рис. 8.

Осциллограмма пуска (см. рис. 6) иллюстрирует практически постоянные значения массовых расходов горючего и окислителя и, следовательно, незначительное изменение коэффициента избытка окислителя в течение всего пуска. Поэтому можно утверждать, что изменение характеристик ЭП ПС непосредственно обусловлено падением давления в КС.

Анализ результатов серии огневых стендовых испытаний при различных давлениях в КС позволил установить зависимость амплитуды напряженности магнитного поля по каналу МП4П (рис. 9) от давления в КС, которая в диапазоне давлений 2,5... 3,5 МПа при аппроксимации

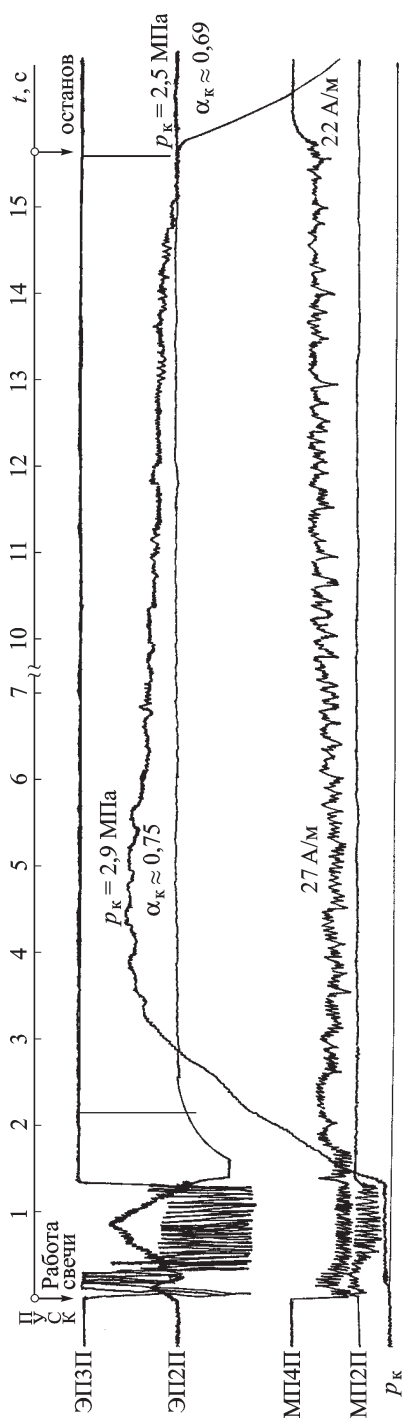


Рис. 4. Осциллограмма пуска (моделирование разгара критического сечения сопла)

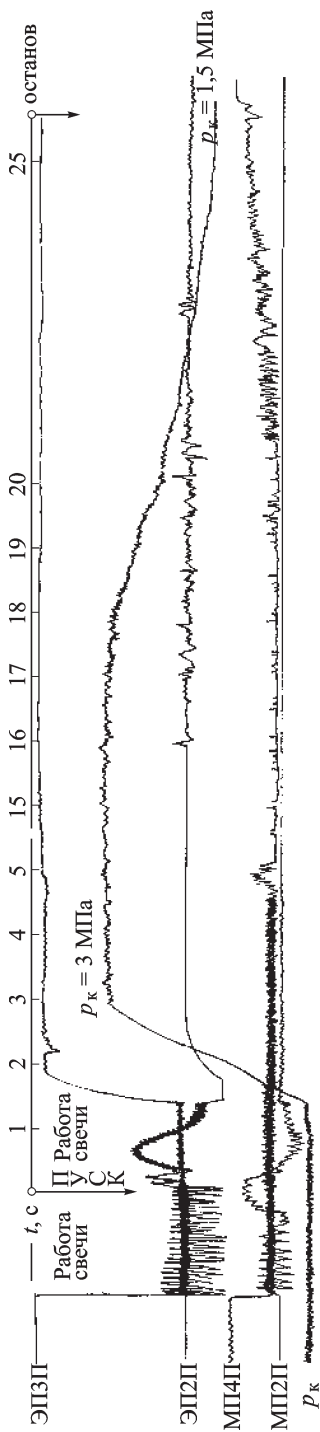
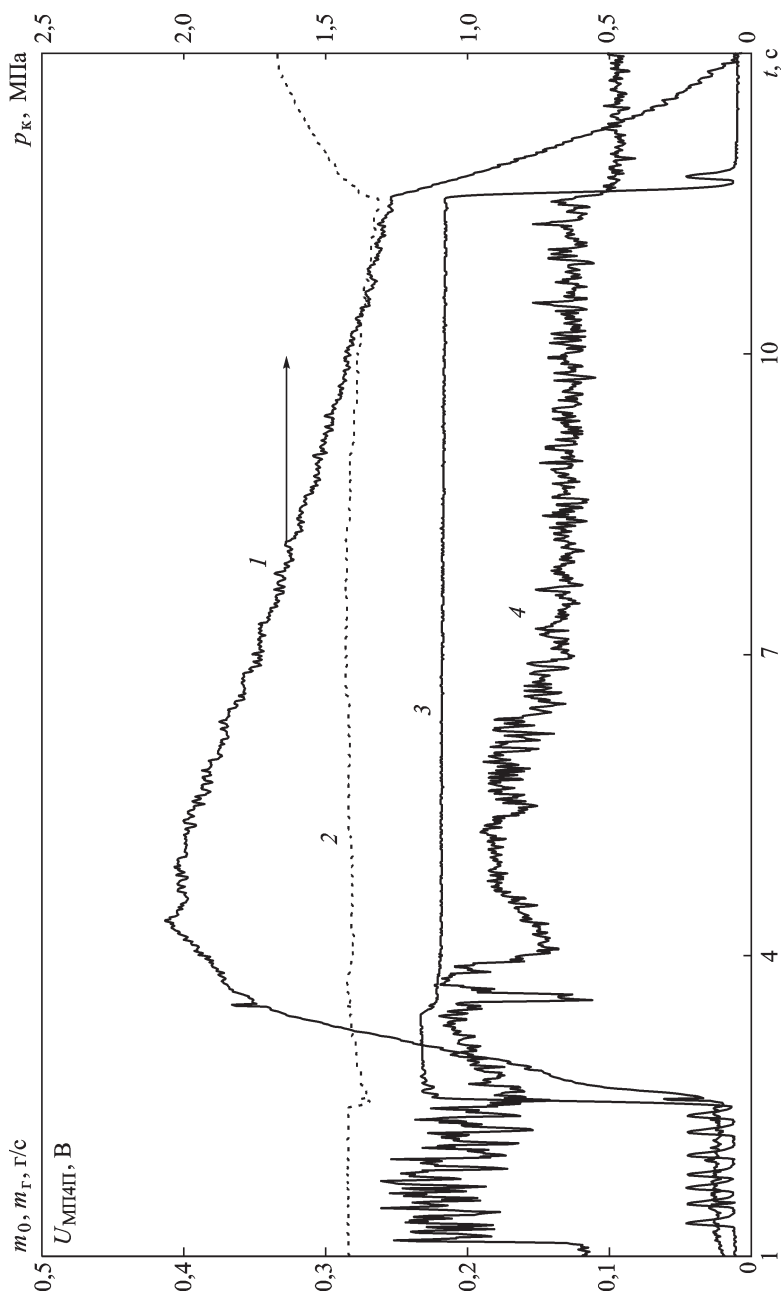


Рис. 5. Осциллограмма пуска (эксперимент)



**Рис. 6. Осциллограмма пуска:**  
 1 –  $p_k$ ; 2 –  $m_0$ ; 3 –  $m_r$ ; 4 –  $U_{MП4П}$



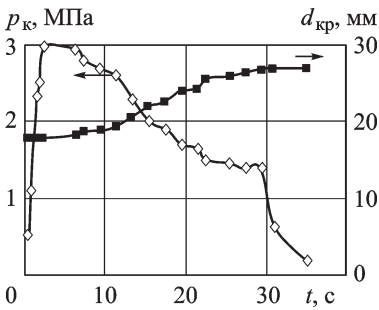


Рис. 7. Осциллограмма изменения давления в КС



Рис. 8. Вкладыш критического сечения после огневого стендового испытания

линейной функцией имеет вид

$$H = 23,814p_k - 37,626.$$

Данный результат может быть объяснен тем, что значение тока уноса, определяющего характеристики ЭП истекающей струи ПС, пропорционально произведению значений диаметра среза сопла, скорости потока и концентрации ионов в этом сечении (см. (3)). Уменьшение давления в КС и, следовательно, концентрации ионов и свободных электронов приводит к уменьшению амплитуды регистрируемого сигнала.

Таким образом, установлена корреляция между давлением в КС и показаниями ДМП, которая может быть использована в системе электрофизической диагностики и регулирования ЖРД.

Анализ показаний ДЭП свидетельствует, что каналы ЭПЗП и ЭП4П регистрируют параметры ЭП ПС только тогда, когда включена система воспламенения и работает электрическая свеча. Напряженность ЭП, регистрируемая каналом ЭП4П, в этот момент составляет 10 кВ/м. Измеренные по каналу ЭПЗП значения  $E$  оказались меньше (не превышают 7 кВ/м).

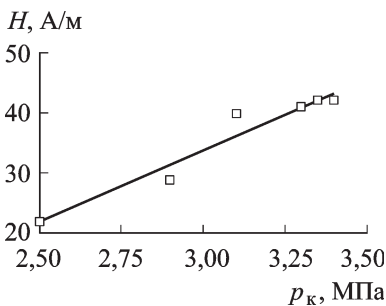


Рис. 9. Зависимость напряженности магнитного поля от давления в КС

Отметим также, что каналы ЭПЗП (огнивающая по 100 Гц сигнала напряженности ЭП в диапазоне 20 Гц... 2 кГц) и ЭП4П (огнивающая по 100 Гц сигнала напряженности ЭП в диапазоне 2... 100 кГц) регистрируют также моменты открытия и закрытия клапанов. Это может быть использовано для контроля открытия и закрытия клапанов, а также определения наличия опережения подачи горючего или окислителя в КС.

Определенный интерес представляет сравнение значений напряженности ЭП,

зарегистрированных при огневых испытаниях, с данными, полученными другими авторами. Так, например, в работе С.Н. Черепнина [6] проводились измерения электрического потенциала ПС внутри камеры модельного двигателя, использующего в качестве топлива предварительно перемешанную пропан-воздушную смесь. Наибольшее значение потенциала составило  $\sim 30$  мВ, что при радиусе КС 50 мм соответствует напряженности  $\sim 0,6$  В/м. Значительное количественное расхождение может быть связано с относительно невысокими значениями температуры ПС (не более 1000 К) и скорости потока ( $\sim 50$  м/с). В работе [7] проводились измерения электрофизических параметров ПС, истекающих из сопла воздушно-реактивного двигателя самолета Як-40. Наибольшее значение потенциала зарегистрировано на расстоянии 5 калибров струи при наибольшей мощности двигателя и составляет  $\sim 5$  кВ. Если принять, что характерный размер не превышает  $\sim 1$  м, то это значение потенциала соответствует напряженности ЭП  $\sim 5$  кВ/м. Отметим также, что экспериментальные данные по напряженности МП ПС для ракетного двигателя в настоящей работе получены впервые.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования и накопленный опыт по определению электрофизических параметров ПС позволяют разработать основные принципы и схемные решения систем электрофизической диагностики ДУ. Так, в работе [8] предлагается контролировать полноту сгорания углеводородных горючих в воздушно-реактивных двигателях по электропроводности и электрическому потенциалу ПС. Результаты исследования Р. Коуча [9] позволили разработать автоматизированную систему диагностики ГТД [10].

Резюмируя вышеизложенное, сформулируем основные практические рекомендации по использованию электрофизических методов контроля и диагностики ЖРД. При создании системы диагностики электрофизическими методами в качестве входных параметров могут использоваться следующие:

- напряженность собственного электрического поля пламени (для контроля соотношения компонентов топлива и полноты сгорания топлива);
- электрические импульсы, обусловленные электризованными частицами к-фазы (для контроля процесса эрозии элементов конструкции ДУ и ранней диагностики отказа);
- изменение спектральной и частотной диаграмм электромагнитных колебаний, генерируемых выхлопной струей ПС ЖРД;
- ток зарядки сопла и ток уноса (для контроля  $\alpha$  и полноты сгорания топлива);
- потенциал электризации элементов проточной части ЖРД, в частности соплового блока.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-08-00624.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гафуров Р. А., Соловьев В. В. Диагностика внутрикамерных процессов в энергетических установках. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
2. Гостев В. А. Параметры и характеристики камеры ЖРД. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 96 с.
3. Юдин Д. Ю., Ягодников Д. А. Система автоматического сбора и обработки электрофизических характеристик рабочего процесса ЖРД // Объединенная междунар. науч.-техн. конф., посвященная памяти Н.Д. Кузнецова. Самара, 1999. – С. 21–23.
4. Потапов Г. П., Дрегаллин А. Ф. Образование статического электричества при истечении из сопла ионизированного газа // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1977. – № 5. – С. 90–92.
5. Потапов Г. П. Электризация реактивных сопел // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1978. – № 4. – С. 112–116.
6. Черепнин С. Н. Исследование электрофизических явлений в камерах сгорания реактивных двигателей // Физика горения и взрыва. – 1990. – Т. 26. – № 2. – С. 58–59.
7. Исследовании электрических характеристик реактивных струй, истекающих из двигателей самолетов / А.Б. Ватажин, А.Ф. Казаков, В.А. Лихтер и др. – М.: ЦИАМ, 1974. – 4 с.
8. Елизаров И. А., Росляков А. Д., Шайкин А. П. Использование электропроводности пламени для контроля воспламенения и горения // Химическая физика процессов горения и взрыва. Горение гетерогенных и газовых систем. – Черноголовка, 1992. – С. 132.
9. Couch R. P. Detecting abnormal turbine engine deterioration using electrostatic methods // Journal of Aircraft. – 1978. – Vol. 15. No. 10. – P. 692–695.
10. Пат. 4584531 США, МКИ4 G 01 R 5/28. Noncontact electro-static loop probe for combustion engines / R.Couch (США); 22.04.86; НКИ 324-464.

Статья поступила в редакцию 28.04.2009

Дмитрий Алексеевич Ягодников родился в 1961 г. Д-р техн. наук, зав. кафедрой “Ракетные двигатели” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 130 научных работ в области экспериментально-теоретического исследования процессов воспламенения и горения порошкообразных металлов и бесконтактной диагностики ракетных двигателей.

D.A. Yagodnikov (b. 1961) – D. Sc. (Eng.), head of “Rocket Engines” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 130 publications in the field of experimental and theoretical studies of processes of ignition and burning of powdery metals and contactless diagnostics of rocket engines.

Александр Николаевич Бобров родился в 1961 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Ракетные двигатели” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 25 научных работ в области экспериментального исследования процессов воспламенения и горения порошкообразных металлов.

A.N. Bobrov (b. 1961) – Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Rocket Engines” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 25 publications in the field of experimental study of processes of ignition and burning of powdery metals.

Валентин Михайлович Аникеев родился в 1941 г. Научный сотрудник НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области экспериментальной стендовой отработки модельных ракетных двигателей.

V.M. Anikeev (b. 1941) — researcher of Power Engineering research institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of experimental bench try-out of processes of model rocket engines.

Лев Александрович Филимонов родился в 1962 г. Научный сотрудник НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 30 научных работ в области математического моделирования рабочих процессов в ракетных двигателях.

L.A. Filimonov (b. 1962) — researcher of Power Engineering research institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 30 publications in the field of mathematical simulation of working processes in rocket engines.

---

УДК 621.39

К. И. Волошиновский

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО КОРРЕКТОРА ОБЪЕМА ГАЗА SEVC-91 И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОКОЛА ОБМЕНА ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПЭВМ**

*Проведена модернизация электронного корректора учета газа SEVC-91 производства французской фирмы Schlumberger в целях обеспечения архивации данных об учете газа, поступающих с датчиков давления, температуры и объемного расхода. Отличительной особенностью проведенной модернизации является исследование и декодирование недокументированного протокола обмена SEVC-91.*

**Ключевые слова:** протоколы обмена, приборы учета газа.

Характерной особенностью модернизации микропроцессорной системы с недокументированным протоколом обмена является исследование данных, передаваемых по последовательным каналам связи и выявление протокола информационного обмена. В целях выявления структуры протокола связи проводится снятие осциллограмм линий связи и информационных дампов линий приемника и передатчика последовательного порта, а также последующее декодирование протокола. Процесс исследования недокументированного протокола включает в себя аналогичные методы исследований, такие же как и для любого другого прибора за исключением недокументированной дешифрации. Полученные результаты исследований могут быть использованы при исследовании любых других электронных приборов.

**Модернизация электронного корректора SEVC-91.** Электронный корректор объема природного газа SEVC-91 (рис. 1) позволяет