

УДК 533.9.07

А. Н. ХАУСТОВА, А.В. ЛОЯН, О.П. РЫБАЛОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ЭРОЗИИ ОТДЕЛЬНО НАРУЖНОЙ И ВНУТРЕННЕЙ КЕРАМИЧЕСКИХ ВСТАВОК ГАЗОРАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье описана типичная схема измерений спектра стационарного плазменного двигателя методом оптической эмиссионной спектроскопии. Рассмотрены основные недостатки данной схемы. Обоснована необходимость применения коллиматора и описана его конструкция. Представлены результаты предварительных экспериментов с двигателем СПД-20М8. Описана методика измерения угла расходимости коллиматора и приведены результаты измерений. Описана разработанная методика ОЭССК для измерений скорости эрозии керамических вставок по отдельности. Представлены результаты предварительных экспериментов с двигателем СПД-70.

Ключевые слова: стационарный плазменный двигатель, скорость эрозии, оптическая эмиссионная спектроскопия, коллиматор.

Введение

В настоящее время, в условиях стремительного развития космической отрасли, увеличивается количество задач выполняемых космическими аппаратами [1] (КА). Стационарный плазменный двигатель (СПД) является наиболее применяемым и перспективным типом двигателя для коррекции орбиты, ориентации и стабилизации КА [2]. Несмотря на значительный прогресс в понимании физических процессов, надежности конструкции, высоким коэффициентом полезного действия и достигнутом ресурсе [3], вопрос о ресурсоограничивающих факторах и методах «мгновенной оценки» скорости эрозии остается открытым.

Основным фактором, ограничивающим ресурс двигателя, является износ стенок газоразрядной камеры (ГРК) [3]. Данный вопрос является актуальной задачей, чему свидетельствует большое количество исследований [4 - 6].

На сегодняшний день разработано несколько методов контроля скорости эрозии [3]. Наиболее удачным, по мнению авторов статьи, является метод оптической эмиссионной спектроскопии (ОЭС).

Суть метода состоит в измерении интенсивностей (одной или нескольких) спектральных линий одного или нескольких элементов, входящих в материал конструкции СПД, с последующим пересчетом в скорость эрозии. Основными преимуществами ОЭС являются:

1. Возможность производить измерения во время работы двигателя, т.е. оценка массоуноса

материала конструкции может быть проведена на любом этапе выработки ресурса СПД.

2. Относительная простота и дешевизна измерительного комплекса [7].

3. Достаточно простая методика расчета скорости эрозии [8].

В то же время, одним из основных недостатков метода является интегральный характер измерений. Как правило, в приемник излучения направляется полный спектр свечения со всего двигателя, т.е. отсутствует возможность локальных измерений.

Ранее [3], в отделении ЭРД МНТЦ КЭД ХАИ были проведены сравнительные испытания скорости эрозии прямым весовым методом и ОЭС, реализованном по схеме рис. 1. Было показано, что метод ОЭС адекватно отображает скорость эрозии не только качественно, но и количественно.

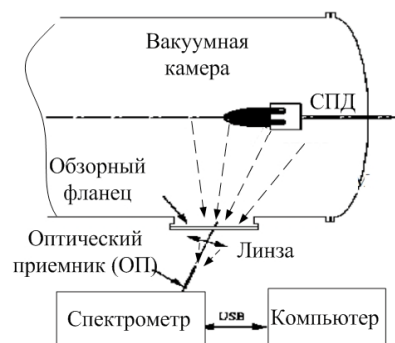


Рис. 1. Схема эксперимента методом ОЭС

В то же время было замечено, что эрозия наружных кромок внешнего и внутреннего изоляторов различается как между собой, так и в азимутальном направлении, рис. 2. Этот факт был идентифицирован при визуальном контроле и не мог быть обнаружен методом ОЭС в силу указанных ранее причин. Поэтому разработка модифицированного метода ОЭС, для получения возможности локальных измерений, является актуальной задачей.

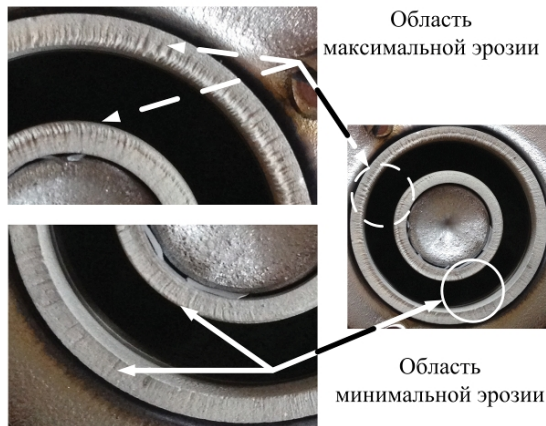


Рис. 2. Области эрозии СПД-20М8

В работе [9] показано, что изменяя ток подмагничивания во внутренней и наружной катушках, можно увеличивать (или уменьшать) скорость эрозии каждой из них в широком диапазоне. При этом отмечается, что интегральные характеристики СПД остаются практически без изменений. Отмечается слабая зависимость основных характеристик (коэффициента полезного действия, коэффициента использования массы, удельного импульса), в оптимальном диапазоне, и весьма существенная зависимость скорости эрозии от топологии магнитного поля. Этот факт стал заметен, только после 10530 часов испытаний PPS-1350 [10], что привело к существенному удорожанию разработки и удлинению ее сроков. В случае наличия методов (типа модифицированного метода ОЭС) экспресс-анализа, увеличение затрат можно было бы избежать. Таким образом, еще раз подтверждается необходимость модернизации метода ОЭС, с целью преодоления барьера его интегральности и возможности оценки скорости эрозии каждой из вставок в отдельности.

1 Разработка измерительного оборудования

В общем виде измерительный комплекс метода ОЭС, рис. 1, состоит из:

- оптического приемника;
- блока разложения полного электромагнитного излучения по длине волны - спектрометра;

- компьютера с программным обеспечением поддержки спектрометра;
- оптических и электрических кабелей и соединений.

Для схемы измерений, представленной на рис. 1, характерно наличие также обзорного фланца, через который излучение плазмы выводится из вакуумной камеры на собирающую линзу. Такая схема определяет специальные требования к этим дополнительным элементам. Они должны быть изготовлены из материалов оптически прозрачных во всем диапазоне от ультрафиолетового (УФ) до инфракрасного (ИК), где возможно наличие спектральных линий исследуемых элементов. В качестве такого материала, может быть выбрано кварцевое стекло марки КУ-1. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны представлен на рис. 3.

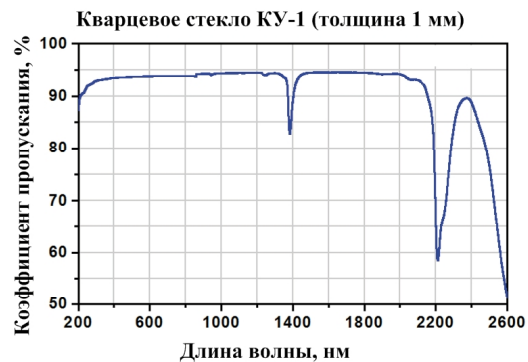


Рис. 3. Коэффициент пропускания кварцевого стекла марки КУ-1

С другой стороны, относительно низкая чувствительность спектрометра и весьма большое расстояние до исследуемого объема, заставляет применять собирающую линзу. При этом, как уже отмечалось ранее, в оптический приемник собирается излучение со всего объема плазменного факела, т. е. ни о какой «локальности» измерений речи идти не может.

В данной ситуации логичным представляется существенное уменьшение расстояния между источником и приемником излучения. Рассмотрим более детально такое предложение.

Известно, что одной из характеристик оптического приемника является телесный угол расходимости, т. е. угол все излучение из которого попадает в оптический приемник. Любые процессы излучения, происходящие вне угла расходимости, в оптический приемник не попадают.

Для имеющегося стандартного оптического приемника угол расходимости равен $25,4^\circ$. Таким образом, даже при приближении оптиче-

ского приемника на минимальное расстояние (к срезу двигателя), поперечные размеры зоны излучения, из которой будет производиться регистрация, будут составлять 5,5 мм; 7,2 мм; 14 мм; 15,8 мм, рис. 4а, соответственно, для наружной нижней, внутренней нижней, внутренней верхней, наружной верхней керамических вставок.

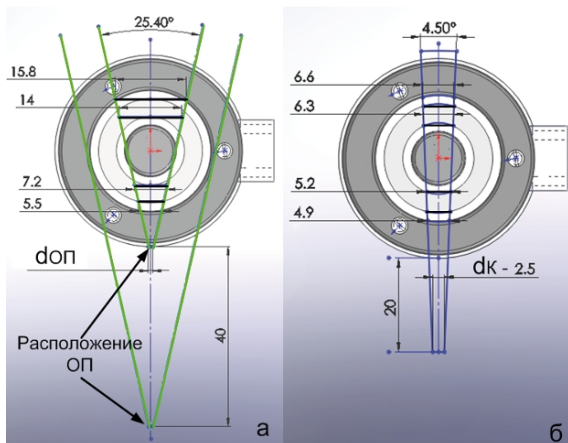


Рис. 4. Поперечные размеры зон приема излучения при измерении:

- а – оптическим приемником с углом расходимости 25,4°;
- б – коллиматором с углом расходимости 4,5°

Такое геометрическое различие линейных размерам зон регистрации приведет к существенному усложнению математического аппарата обработки полученных спектров. И, как следствие, к увеличению погрешности расчета скорости эрозии.

Очевидно, что для снижения геометрических различий измерений, по различным частям керамических изоляторов, надо увеличивать расстояние между оптическим датчиком и источником излучения. Однако, уже на расстоянии 40 см, линейный размер исследуемой области будет равен линейному размеру двигателя. И, следовательно, возможность локальных измерений отсутствует.

Выходом из создавшейся ситуации может быть установка на оптический приемник коллиматора – устройства геометрически уменьшающего угол расходимости оптического приемника.

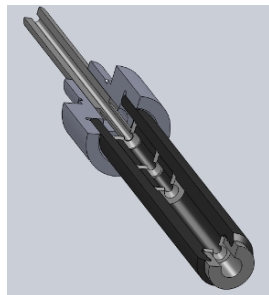


Рис. 5. Конструкция коллиматора

Коллиматор представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого установлены графитовые шайбы, рис. 5. Диаметры отверстий шайб равны диаметру кабеля – 2,5 мм. Длина коллиматора составила 62 мм.

Измерение угла расходимости было произведено следующим образом, рис. 6.

На пластинах были отмечены диаметры световых пятен dn_1-dn_5 . Размеры диаметров измерялись большим инструментальным микроскопом (БМИ-1), погрешность измерения линейных размеров составляет – 0,002 мм.

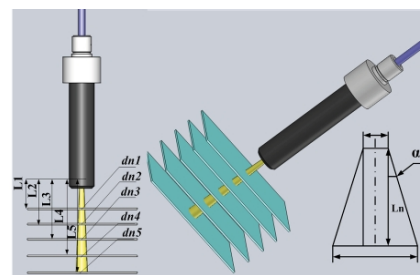


Рис. 6. Схема измерения угла расходимости коллиматора

Угол расходимости определялся по формуле (1).

$$\alpha = \arctg\left(\frac{dn_1 - d_K}{L_1}\right), \quad (1)$$

где α – угол расходимости коллиматора;
 dn_1 – диаметр светового пятна на пластине 1;
 L_1 – расстояние от коллиматора до пластины 1;
 d_K – внутренний диаметр коллиматора.

Погрешность расчета угла расходимости рассчитывалась по формуле (2 - 3).

$$\varepsilon = \frac{S}{\alpha} \cdot 100\%, \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\partial f^2}{\partial (dn)} \cdot \Delta_{\text{БМИ-1}}^2 + \frac{\partial f^2}{\partial (d_K)} \cdot \Delta_{\text{БМИ-1}}^2 + \frac{\partial f^2}{\partial (L)} \cdot \Delta_{\text{ШЦ-1}}^2}, \quad (3)$$

где ε – погрешность;
 S – среднее квадратичное отклонение;
 $\Delta_{\text{БМИ-1}}$ – паспортная погрешность БМИ-1;
 $\Delta_{\text{ШЦ-1}}$ – погрешность штангенциркуля - ШЦ-1;

Результаты расчета, для различных L , представлены в таблице 1.

Очевидно, что с увеличением расстояния L , погрешность измерений падает. Соответственно угол расходимости составляет $4,5^\circ$; так как данное значение имеет минимальную погрешность - $0,074\%$. Таким образом, при расположении оптического приемника с коллиматором на расстоянии 20 см от источника излучения, линейные размеры исследуемых областей керамических вставок будут составлять 4,9 мм; 5,2 мм; 6,3 мм; 6,6 мм, соответственно, и будут различаться не более чем на 26% по кромке наружной керамики и 18% по внутренней.

Таблица 1
 Параметры расчета угла расходимости коллиматора

L_n , мм	d_n , мм	α , °	$\Delta\alpha$, °	ε , %
10	3,280	4,579	$2,838 \cdot 10^{-4}$	0,365
20	4,010	4,433	$1,419 \cdot 10^{-4}$	0,188
30	4,775	4,452	$9,458 \cdot 10^{-5}$	0,125
40	5,570	4,506	$7,094 \cdot 10^{-5}$	0,093
50	6,330	4,497	$5,675 \cdot 10^{-5}$	0,074

Рассмотрим детально алгоритм эксперимента измерения интенсивности спектральной линии методом ОЭС с применением коллиматора. В испытаниях применялся спектральный комплекс, описание которого приведено в работе [Хаустова А. Н. Разработка спектрального комплекса высокого разрешения для исследования спектра СПД // Авиационно-космическая техника и технология. - 2015 г., статья находится в печати] Схема эксперимента представлена на рисунке 7.

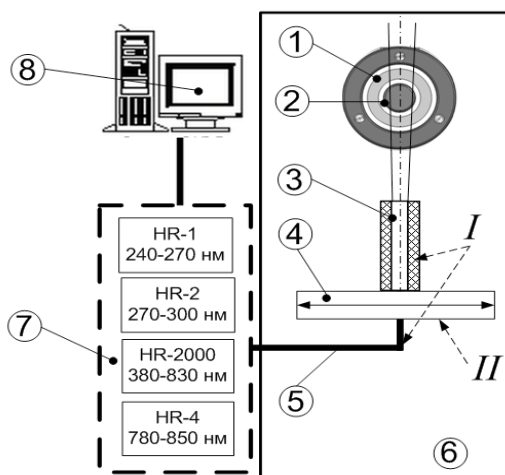


Рис. 7. Схема ОЭССК:

1 – наружная керамическая вставка; 2 – внутренняя керамическая вставка; 3 – коллиматор; 4 – механизм перемещения; 5 – оптический кабель; 6 – камера; 7 – спектральный комплекс; 8 – компьютер

Отличительной чертой данной схемы, от представленной на рис. 1, является наличие

коллиматора и механизма перемещения коллиматора с оптическим приемником. Первый узел (I) позволяет вырезать достаточно узкий угол и обеспечивает линейную локальность измерений, а второй (II) сканирование по всему факелу СПД. Таким образом, можно назвать предлагаемый метод - как метод ОЭС со сканированием плазмы через коллиматор (ОЭССК).

Уже сейчас можно выделить несколько характерных областей при применении метода ОЭССК, рис. 8.

Область I характеризуется тем, что в угол расходимости попадает только доля излучения из двигателя и только с наружной керамической вставки.

Область II будет регистрировать излучение из ГРК, а также максимальную эрозию наружной вставки;

Область III захватывает кромки как наружной, так и внутренней керамики;

Область IV захватывает область как наружной, так и внутренней керамики.

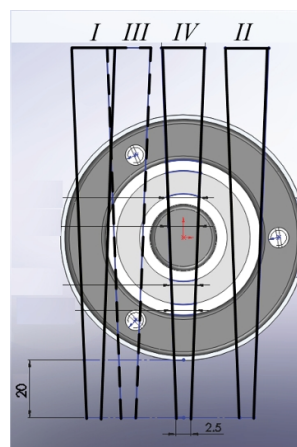


Рис. 8. Положение характерных областей метода ОЭССК относительно СПД-20М8

Следует ожидать необходимости применения различного математического аппарата для обработки полученных экспериментальных данных. Однако конкретная реализация этого положения будет рассматриваться авторами в наших последующих работах.

2 Результаты предварительных экспериментов

Для определения возможности линейных локальных измерений методом ОЭССК, были проведены предварительные эксперименты с двигателем СПД20М8. Измеренный спектр двигателя представлен на рис. 9. Шаг сканирования выбирался равным 2 мм, что обеспечивает отсутствие перекрытия областей. Спектр двигателя измерялся малогабаритным спектрометром высокого разрешения HR 2000, в диапазоне 380-830 нм.

В результате эксперимента было получено радиальное распределение интенсивностей всех присутствующих в измеренном спектре линий атомарного и ионизированного ксенона (Xe). На рисунке 10 показаны линии атомарного ксенона (XeI) 788 и 828 нм, и линия ионизированного (XeII) ксенона 541 нм.

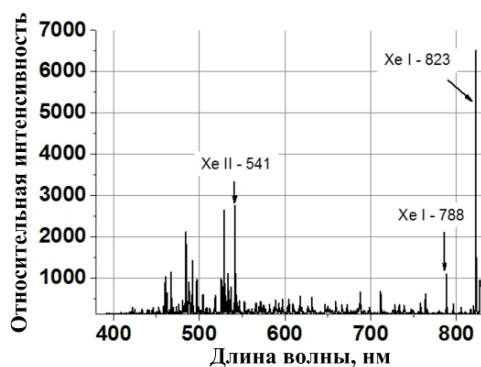


Рис. 9. Спектр СПД-20М8

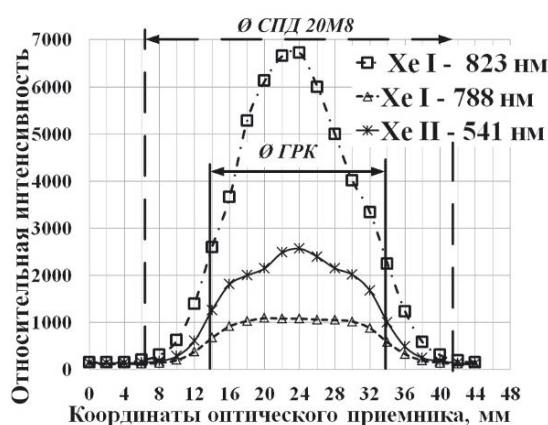


Рис. 10. Радиальное распределение интенсивности линий ксенона

Интенсивность линии 788 нм постоянна вдоль оси двигателя, линия иона ксенона 541 нм имеет ярко выраженный пик в области сердечника. Распределение интенсивности линии 823 нм постоянно возрастает, с приближением к оси двигателя, и симметрично относительно оси двигателя. Подобные результаты были получены при сканировании струи двигателя НЕТ и представлены в работе [10].

Кроме того, было замечено постоянное падение интенсивностей спектральных линий в течение первых 30 минут эксперимента, рис. 11. Причиной такого явления оказалось напыление продуктов эрозии двигателя на оптический приемник. Это запыление имеет высокую адгезию и удаляется только механическим путем. При этом чувствительность оптического приемника восстанавливается.

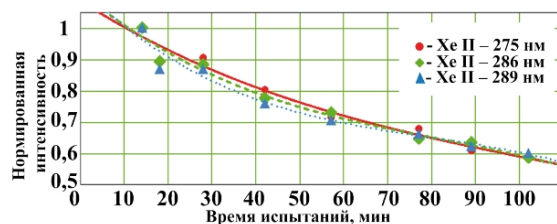


Рис. 11. Падение интенсивностей линий ксенона

В связи с этим была разработана рекомендация к модернизации схемы метода ОЭССК: необходима установка защитного стекла, с максимальным коэффициентом пропускания в спектральном диапазоне от УФ до ИК.

Следовательно, появляется новый этап – этап калибровки оптического комплекса.

3 Калибровка оптического комплекса

Калибровка была произведена с использованием эталонного источника – ртутной лампы, по следующей схеме, рис. 12.

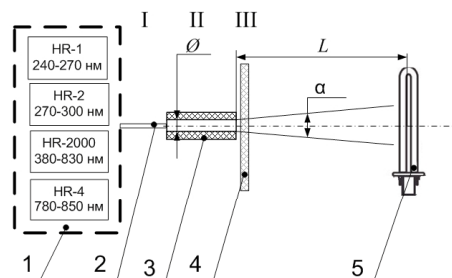


Рис. 12. Схема калибровки спектрального комплекса HR

Спектральный комплекс (1) с оптическим волокном (2) устанавливался на расстоянии L от лампы (5), произведено первое измерение (I). Затем на оптическое волокно одевался коллиматор (3), произведено измерение (II). При третьем измерении (III) перед коллиматором было установлено кварцевое стекло (4).

На рисунке 13, показано падение интенсивностей линий ртути, в первом диапазоне 230–270 нм, при измерении оптическим кабелем (I), коллиматором (II) и коллиматором с кварцевым стеклом (III).

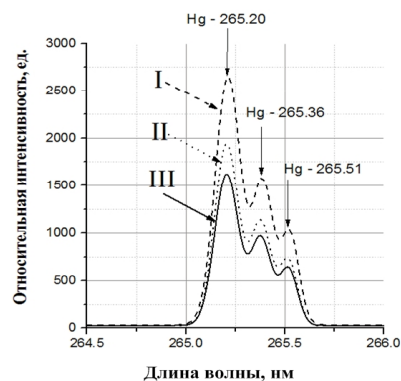


Рис. 13. Спектр ртутной лампы в зависимости от комплектации оптического приемника, диапазон HR-1

Угол расходимости оптического кабеля в 5,5 раз больше угла расходимости коллиматора. Соответственно объем, с которого собирается излучение коллиматором, в несколько раз меньше, что и было получено, падение интенсивностей линий ртути составило 30%. Как было отмечено ранее, коэффициент поглощения стекла составляет 10%, эти данные подтвердились при проведении калибровки.

На рис. 14 показан спектр ртутной лампы, измеренный в диапазоне 240-270 нм, спектрометром HR-2.

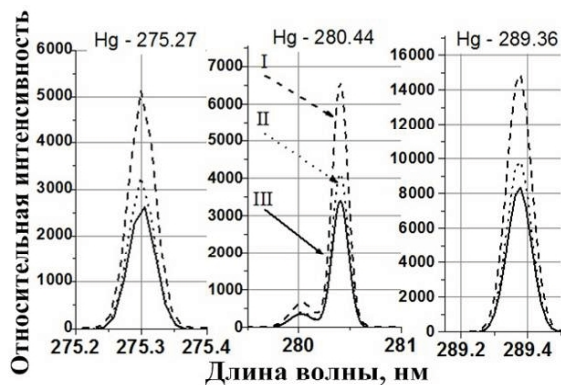


Рис. 14. Спектр ртутной лампы в зависимости от комплектации оптического приемника, диапазон HR-2

Значения коэффициентов поглощения, полученные при проведении измерений в диапазоне HR-1, подтвердились. Следовательно, на основании результатов калибровки можно сделать вывод, что при использовании оптического комплекса, установленного на расстоянии L от источника излучения, оснащенного коллиматором, с внутренним диаметром 2,5 мм и длиной 62 мм, и защитным стеклом марки КУ-1 – коэффициент поглощения равен 40%. Соответственно, для компенсации потери чувствительности оптического комплекса, следует уменьшить расстояние между источником и приемником излучения.

4 Испытания оптического приемника с двигателем

После подготовки эксперимента были проведены испытания оптического комплекса с двигателем СПД-70, на номинальном режиме его работы. Схема эксперимента была аналогичной, как и при измерениях с двигателем СПД-20М8, рис. 7. Оптический комплекс устанавливался на расстоянии 60 мм от среза двигателя. Оптическая ось была направлена на внутреннюю керамическую вставку ГРК. Результаты представлены на рисунке 15.

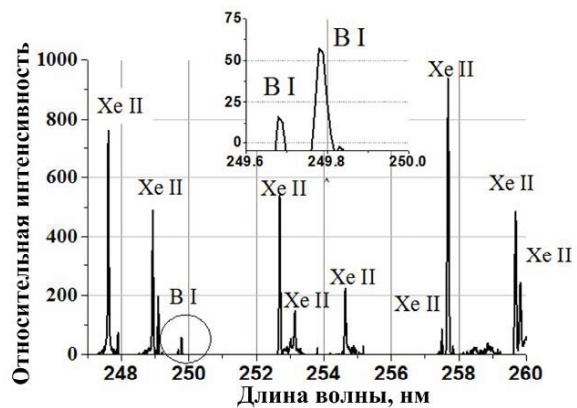


Рис. 15. Спектр СПД-70 в диапазоне 247-260 нм

В спектре присутствует большое количество линий ионов ксенона Хе II. Оптическая чувствительность ксенона в данном диапазоне очень слабая, но из-за большой концентрации атомов ксенона, линии регистрируются очень хорошо. Также присутствуют две линии продуктов эрозии керамики, это линии бора - 249,67 нм и 249,77 нм. Однако, из-за малой концентрации атомов бора, интенсивности этих линий очень малы и регистрируются очень плохо.

При расположении оптического приемника таким образом, чтобы оптическая ось была направлена во внутреннюю полость ГРК, для обеспечения обзора внутренней керамики; на протяжении первых 30 минут эксперимента, было отмечено запыление защитного кварцевого стекла продуктами эрозии керамики. Данный факт подтвердился при визуальном осмотре стекла и последующей калибровке, при тех же параметрах, что и до эксперимента, рис. 12. Падение интенсивностей линий составило 80% в УФ диапазоне и 60% в ИК. Следовательно, требуется доработка конструкции оптического комплекса и оснащение его элементами защиты от запыления, для предотвращения быстрой деградации его пропускной способности.

5 Выводы

В результате проведенной работы был разработан и изготовлен оптический комплекс для измерения скорости эрозии отдельно наружной и внутренней керамических вставок СПД.

Проведены предварительные эксперименты с двигателем СПД-20М8, в результате которых было получено радиальное распределение интенсивностей линий нейтрального и ионизированного ксенона. Распределение интенсивностей линий ионов ксенона имеют ярко выраженный пик, в области сердечника; в то время как интенсивности линий нейтрального ксенона либо постоянны в области газоразрядной камеры, либо постепенно возрастают, при приближении к оси двигателя.

На основании результатов предварительных экспериментов был разработан метод измерения скорости эрозии отдельно наружной и внутренней керамических вставок ГРК СПД – метод оптической эмиссионной спектроскопии со сканированием плазмы через коллиматор (ОЭССК).

Также было отмечено запыление оптического кабеля продуктами эрозии, при его близком расположении к срезу двигателя и, следовательно, падение его чувствительности.

Произведена доработка конструкции оптического приемника, посредством установки защитного кварцевого стекла КУ-1, с коэффициентом пропускания, в диапазоне 200 – 1400 нм, равным 90%, для предотвращения запыления оптического приемника и последующего падения его чувствительности. Было установлено, что при механической чистке приемника, его свойства восстанавливаются.

Посредством калибровки вычислен коэффициент поглощения оптического комплекса: коэффициент поглощения коллиматора, длиной 62 мм и внутренним диаметром 2,5 мм, составил 30%. Измерен коэффициент поглощения кварцевого стекла, который составил 10%.

Проведены испытания оптического комплекса с двигателем СПД-70, при номинальных параметрах его работы. Проведен качественный анализ измеренного спектра. В спектре зарегистрированы линии атомарного ксенона (диапазон 600–850 нм) и ионизированного (диапазон 240–600 нм). Оптическая чувствительность ксенона в УФ диапазоне очень слабая, но из-за большой концентрации атомов, линии регистрируются очень хорошо. Также зарегистрированы линии продуктов эрозии деталей конструкции (железо (Fe)) и керамики (бор (B)) ГРК.

Отмечено, запыление защитного кварцевого стекла на протяжении первых 30 минут измерений, что привело к падению чувствительности оптического комплекса, и, следовательно, падению интенсивностей линий при стабильных параметрах работы двигателя. Посредством калибровки было получено, что чувствительность оптического комплекса упала на 80 % в УФ диапазоне и на 60 % в ИК диапазоне. Сделаны выводы о необходимости доработки конструкции оптического комплекса: требуется разработка, и установка элементов защиты кварцевого стекла от запыления.

Литература

1. Ким В. П. Стационарные плазменные двигатели в России: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] / В. П. Ким // Труды МАИ – 2013. – № 60. – С. 1–12. Режим досту-

па: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=35374>. – 1.04.2015 г.

2. Липатов А.С. Экспериментальное исследование стационарного плазменного двигателя малой мощности [Текст] / А. И. Бугрова, Г. Э. Бугров, В. А. Давыдов [и др.] // Письма в ЖТФ – 2014. – том 40. – Вып. 31. – С. 68-74.

3. Лоян А. В. Экспериментальное исследование ресурсных характеристик МСПД [Текст] / А. В. Лоян, Т. А. Максименко, В. А. Подгорный // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2008. – Вып. 9(56). – С. 44-47.

4. Блинов Н. В. Спектроскопические исследования струи холловского двигателя с целью определения скорости эрозии ускорительного канала в ходе длительных ресурсных испытаний [Текст] / Н. В. Блинов, Ю. М. Головин, О. А. Горшков, Е. Н. Дышлок // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2005. – Вып. 9(25). – С. 152-156.

5. Pagnon D. Measurement and modeling of the inside channel depositions of the sputtered ceramics on HET PPSX000-ML. A tool to predict the erosion along the thruster lifetime [Текст] / D. Pagnon, S. Pellerin, P. Lasgorceix, C. Legentil // 30th International Electric Propulsion Conference. – Italy, 2007. – P. 1-10.

6. Celik M. Use of emission spectroscopy for real-time assessment of relative wall erosion rate of BHT-200 hall thruster for various regimes of operation [Текст] / M. Celik, O. Batishev, M. Martinez-Sanchez // Vacuum, 2010. - Vol. 84. - No. 9. - P. 1085–1091.

7. Ocean Optics Техническое описание и руководство по эксплуатации [Электронный ресурс].- USA.: Ocean Optics Inc, 2009.- 24 p. Режим доступа: <http://oceanoptics.com/wp-content/uploads/hr2000.pdf>.

8. Аналіз струменя плазмового двигуна, що буде встановлений на молодіжний супутник, за допомогою метода оптичної емісійної спектроскопії [Текст] : звіт о НДР (заключний.): М/100-2007 / М-во освіти і науки України, Нац. аэрокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»; кер. Лоян А. В. – Харьков, 2008. – Вып. 9(56). – 59 с.

9. Приданников С. Ю. Исследование характеристик стационарных плазменных двигателей при длительной работе [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.07.05М., / Приданников Сергей Юрьевич. – Калининград, 2003. – 203 с.

10. Sommerville J. D. Optical Diagnostic for Xenon Hall Thrusters Including Metastable Contributions [Текст] / J. D. Sommerville, L. B. King // 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2006. - P. 1-9.

Поступила в редакцию 12.05.2015

А. М. Хаустова, А. В. Лоян, О. П. Рибалов. Розробка оптичного приймача для вимірювання швидкості ерозії окремо наружної та внутрішньої керамічних вставок газоразрядної камери стаціонарного плазмового двигуна

У статті описана типова схема вимірювань спектру стаціонарного плазмового двигуна методом оптичної емісійної спектроскопії. Розглянуті основні недоліки даної схеми. Обґрунтована необхідність застосування коліматора та описана його конструкція. Представлені результати попередніх експериментів з двигуном СПД-20М8. Описана методика вимірювання кута розбіжності коліматора та приведені результати вимірювання. Описана розроблена методика ОЕССК для вимірювання швидкості ерозії керамічних вставок окремо. Представлені результати попередніх експериментів з двигуном СПД-70.

Ключові слова: стаціонарний плазмовий двигун, швидкість ерозії, оптична емісійна спектроскопія, коліматор.

A. N. Khaustova, A. V. Loyan, O. P. Ribalov. Development of optical receiver for erosion rate measurements of gas discharge chamber external and internal ceramics separately

Typical scheme of the stationary plasma thruster spectrum measurements is described in the paper. Main shortcomings of this scheme are considered. Necessity of usage collimator is proved and its construction is described. The results of preliminary experiments with SPT-20M8 are presented. The methodic of divergence angle measurement is described and angle measurements results are presented. Developed methodic of OESSC for the separately ceramic erosion rate measurement is described. Results of the preliminary experiments with SPT-70 are presented.

Key words: stationary plasma thruster, erosion rate, optical emission spectroscopy, collimator.