

УДК 533.9.07

**А. Н. ХАУСТОВА, О.П. РЫБАЛОВ***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,  
Украина*

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МЕТОДА ОЭССК И МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ИЗНОСА КРОМОК ИЗОЛЯТОРА СТАЦИОНАРНОГО ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*В статье описано оборудование для проведения измерений относительной эрозии наружной и внутренней керамических вставок стационарного плазменного двигателя по отдельности. Представлена конструкция измерительного блока спектрального комплекса, состоящего из двух частей. Измерительная часть, включает малогабаритные спектрометры высокого разрешения, оптический кабель, коллиматор и систему защиты от напыления. Механическая часть - двухкоординатный механизм перемещения, который обеспечивает позиционирование измерительной части комплекса относительно каждого из изоляторов двигателя. Приведены результаты анализа химического состава покрытия на оптическое волокно. На основании результатов испытаний оборудования показано, что за счет проведенных доработок измерительной части удалось увеличить время «жизни» защитного кварцевого экрана оптического приемника. Описаны методики: юстировка оптического приемника относительно двигателя, измерение областей излучения изоляторов РК, а также последовательность проведения измерений методом ОЭССК.*

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

### **Введение**

Совершенствование диагностических систем является одной из основополагающих развития техники и технологий. Поэтому, с каждым годом появляются новые методы и технологии диагностики и совершенствуются уже известные.

Одним из таких методов является метод оптической эмиссионной спектроскопии со сканированием плазмы через коллиматор (ОЭССК), разработанный в лаборатории ЭРД ХАИ. В отличие от ОЭС, метод ОЭССК предполагает установку коллиматора, который уменьшает угол раскрытия оптического волокна с  $24,5^\circ$  до  $5,9^\circ$ . Это позволяет измерять спектр из узкой области излучения. Оптоволокну с коллиматором устанавливаются на механизм перемещения (МП) и проводится пошаговое сканирование излучения со всей поверхности изоляторов разрядной камеры (РК) [1-3], что позволяет провести дифференциальную диагностику спектра излучения наружной и внутренней стенок РК стационарного плазменного двигателя (СПД).

После первых пробных испытаний метода ОЭССК было отмечено постепенное снижение величины регистрируемого сигнала (интенсивностей линий) во времени. Это становится визуаль-

но заметно уже в течение первых 30 минут после начала эксперимента. Через 1,5 часа интенсивности линий ультрафиолетового диапазона падают на 40 % [1]. На основании полученных данных была выдвинута гипотеза о том, что происходит загрязнение оптического волокна продуктами распыления материалов конструкции двигателя и измерительного комплекса. Покрытие, осаждаемое на экран, имеет высокую адгезию. Пропускная способность защитного стекла восстанавливается только после механического удаления осажденного покрытия.

При проведении ресурсных испытаний, длительность одного этапа эксперимента составляет как минимум 100...200 часов. Измерение спектра проводится через каждые 10 часов работы двигателя. Для однократного сканирования каждого из изоляторов РК требуется 1,5 часа. Легко вычислить, что за 100 часов ресурсных испытаний спектральные измерения будут длиться 15 часов. При падении коэффициента чувствительности оптоволокну со скоростью 26,6 % в час, длительные спектральные измерения провести не удастся, так как во время работы двигателя нет возможности вскрыть вакуумную камеру и почистить или заменить оптоволокну. Следовательно, необходима доработка измерительного блока

оборудования метода ОЭССК таким образом, чтобы максимально увеличить время «жизни» защитного экрана, т.е. времени, за которое нанесенное покрытие загрязнений не вносило бы погрешностей в измерения.

Достичь увеличения длительности «жизни» защитного экрана возможно несколькими способами.

1. Установить подвижный защитный экран (по типу предложенной в СССР схемы «Феникс» для увеличения ресурса СПД). В этом методе при диагностике запыления защитного экрана, он передвигается на заранее известную линейную величину, при этом излучение попадает в оптический приемник уже через чистый участок экрана.

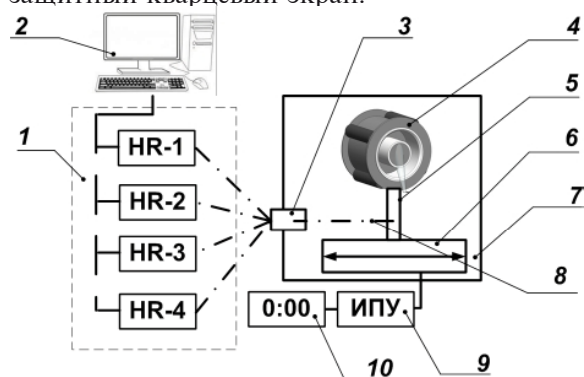
2. Ограничить время экспозиции защитного экрана только на время проведения измерений путем установки затвора.

3. Обеспечить химический состав загрязняющей поверхности таковым, чтобы его характеристики слабо или совсем не влияли на коэффициент пропускания, например, из того же материала, что и изготовлен защитный экран.

Все три рассмотренных метода были реализованы и описаны в настоящей статье.

### 1. Измерительный комплекс метода ОЭССК

Измерительный комплекс состоит из двух частей: измерительной и механической, рис. 1. Измерительная часть включает в себя: блок малогабаритных спектрометров высокого разрешения (1) со спектральным диапазоном 240...850 нм, которые посредством USB кабелей присоединены к компьютеру (2). Через адаптер (3) 4 оптических волокна собираются в один кабель и вводятся в вакуумную камеру (7). Внутрикамерный оптический кабель (8) присоединен к оптическому приемнику (ОП) (5), который включает в себя коллиматор и защитный кварцевый экран.



**Рис.1.** Схема измерительного комплекса метода ОЭССК: 1 – блок спектрометров HR; 2 – компьютер; 3 – адаптер; 4 – СПД; 5 – оптический приемник; 6 – механизм перемещения; 7 – вакуумная камера; 8 – внутрикамерный оптический кабель; 9 – источник питания и управления МП; 10 – индикатор МП

Механическая часть состоит из МП (6), который обеспечивает позиционирование ОП (5) относительно двигателя (4). Управление МП (6) осуществляется при помощи источника питания, и управления (9), позиция ОП отслеживается на индикаторе МП (10).

#### 1.1 Измерительная часть комплекса

Как было указано выше, измерительная часть комплекса включает четыре малогабаритных спектрометра высокого разрешения [3]. В таблице 1 приведены характеристики каждого из спектрометров, которые подбирались исходя из следующих соображений.

1. Спектральные диапазоны выбирались из условия наличия в них линий качественного и количественного анализа, по которым производится оценка процессов в СПД.

2. Разрешающая способность спектрометров позволяет регистрировать контур интересующей линии не менее чем по 10 пикселям.

3. Спектрометры УФ диапазона оснащены блоками температурной стабилизации, для поддержания температуры детектора в диапазоне 20...25 °С.

4. Для снижения поглощения интенсивностей линий УФ диапазона атмосферой воздуха, блок спектрометров дополнительно оснащен системой подачи азота.

Таблица 1  
Технические характеристики блока спектрометров высокого разрешения

Характеристики	Имя спектрометра			
	HR-1, HR-2		HR-3	HR-4
	Диапазон, нм			
	240...270	270...300	380...830	780...850
	Постоянная дифракционной решетки, штрихов/мм			
	4200	4200	600	1800
	Разрешающая способность, нм			
	0,025	0,025	0,2	0,07
	Блок температурной стабилизации			
	+	+	-	-

Программный интерфейс спектрометров показан на рисунке 2. Интерфейс содержит окно, на которое выводится зависимость длины волны от интенсивности и панель управления измерениями. Она содержит 4 закладки: I – команда включения/остановки спектрометра; II – время экспозиции (Exposure), мс.; III – задание процедуры осреднений (Average), а также количество усредняемых спектров (Scans); IV – команда измерения (Get background) и вычитания (Subtract background) темнового спектра.

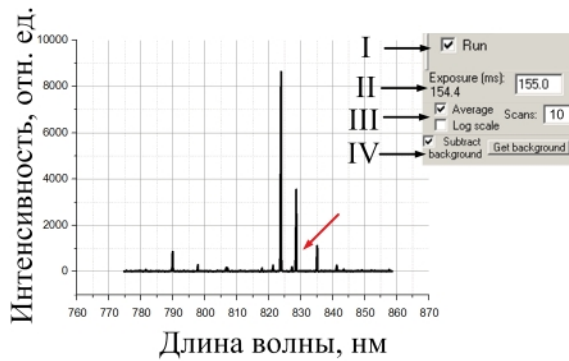


Рис. 2. Программный интерфейс спектрометров

Время экспозиции (II) для каждого из спектрометров подбирается в зависимости от величины интенсивности интересующей линии отдельно для каждого эксперимента. Количество осреднений (III) определяется расчетным путем [5].

### 1.2 Механизм перемещения защитного экрана оптического кабеля

Как было указано выше, увеличение времени «жизни» подвижного защитного экрана оптического кабеля реализовано за счет реорганизации измерительной части спектрального комплекса [1]. Было предложено установить экран из кварцевого стекла КУ-1 между коллиматором и оптоволоком. В тот момент, когда коэффициент пропускания экрана начинает падать, он перемещается в «чистое» положение при помощи МП. Разработанная модель МП (в дальнейшем - маленький механизм перемещения (ММП)) показана на рисунке 3.

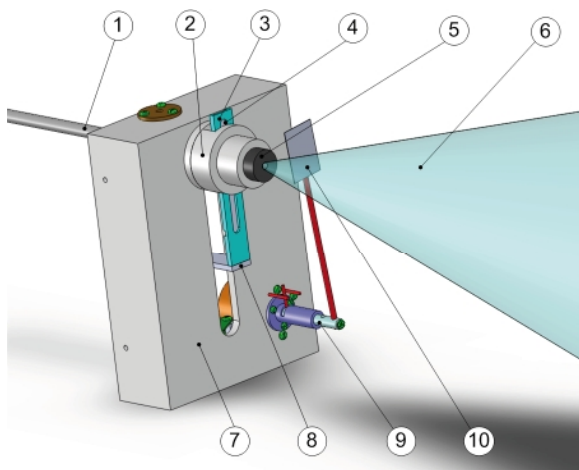


Рис. 3. Механизм перемещения защитного экрана оптического приемника:

- 1 – оптический кабель; 2 – кронштейн; 3 – опора;
- 4 – подвижный защитный экран; 5 – коллиматор;
- 6 – область приема излучения коллиматора;
- 7 – корпус; 8 – ползунок; 9 – поворотный механизм;
- 10 – шторка.

Оптический кабель 1 устанавливается в кронштейн 2, жестко закрепленный на корпусе механизма 7. Между ними находится опора 3 с защитным экраном 4. Оптический кабель 1, защитный экран 4 и коллиматор 5 составляют один блок, принимающий излучение. Вертикальное перемещение ползунка 8 обеспечивает ход защитного экрана 4 между оптическим кабелем 1 и коллиматором 5. Ход выбирался равным 2,5 мм, из того условия, чтобы при каждом перемещении защитный экран находился в «чистом» положении относительно оси оптического кабеля 1. Кронштейн 2 обеспечивает совпадение осей коллиматора 5 и оптического кабеля 1.

Для защиты ОП во время, когда измерения не проводятся, конструкция оснащена поворотным механизмом 9, со шторкой 10. При проведении измерений шторка 10 открывается, по окончании измерений – закрывается. Для обеспечения электроизоляции, высокой износостойкости и твердости все детали механизма были защищены покрытием методом анодного оксидирования. Дополнительно все щели конструкции были закрыты алюминиевой фольгой, рис. 7. Для отслеживания текущего местоположения защитного экрана на ММП установлен датчик положения, сигнал с которого подается на экран блока питания, рис. 1 поз. 9. Управление шаговым двигателем ММП осуществляется при помощи блока питания на базе аппаратной платформы Arduino. Это позволяет легко управлять МП при помощи компьютера.

Был проведен анализ состава загрязнения защитного экрана. Как показано на рисунке 4, в его составе присутствует большое количество материалов элементов конструкции двигателя и ОП, а также ксенон (Xe), использующийся в качестве рабочего тела.

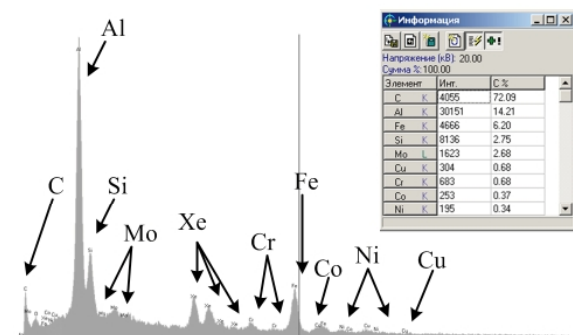


Рис. 4. Химический состав покрытия ОП

На рисунке 4 дополнительно приведена таблица элементов, обнаруженных в загрязнении защитного экрана, в порядке убывания их концентрации. Наибольшая концентрация

принадлежит углероду (С), из которого изготовлен коллиматор, далее по таблице рисунка 4, следует алюминий (Al), который используется в качестве материала защитных экранов ОП, рис. 7. По полученным данным был сделан вывод, что в качестве защиты ОП необходимо использовать материалы более стойкие к распылению. Для этого были заказаны и установлены экраны из кварцевых стекол рис. 5. Оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) имеет значительно меньший коэффициент распыления чем алюминий [7]; помимо этого в процессе распыления на поверхность защитного экрана ОП будет осаждаться загрязнение из того же материала, что и сам экран. Поэтому применение защитных поверхностей, изготовленных из  $\text{SiO}_2$ , более чем оправдано.

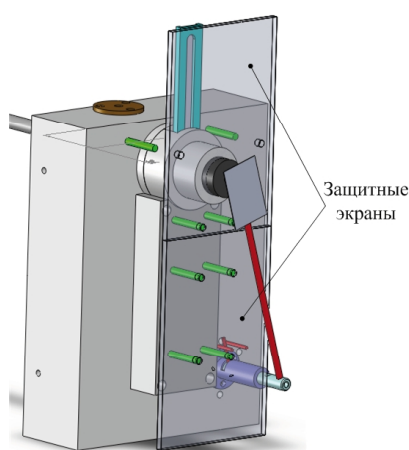


Рис. 5. Маленький механизм перемещения с защитными экранами

### 1.3 Механизм перемещения оптического приемника

Для проведения испытаний двигателей различных типоразмеров был разработан механизм перемещения оптического приемника - большой механизм перемещения (БМП), рис. 6. Полный ход БМП составляет 60 см. ММП 5 устанавливается на опоры 4. БМП оснащен датчиком положения 1, который посредством редуктора 2 соединен с осью механизма. Сигнал с датчика 1 передается на индикатор, установленный на блоке питания за вакуумной камерой. Перемещение задается сигналом управления, поступающим с компьютера, посредством шагового двигателя 7.

Изначально БМП разрабатывался с возможностью перемещения по одной координате параллельной срезу двигателя с установкой ОП перпендикулярно области излучения струи [1]. Однако, в процессе опытной эксплуатации выяснилось, что при таком расположении ОП от-

носительно двигателя, ОП принимает сигнал с обеих керамических вставок одновременно. Это значительно усложняет процесс обработки данных и математическую модель расчета эрозии. Следовательно, БМП был дополнен еще одной осью перпендикулярной срезу двигателя.

При проведении экспериментов стало очевидным, что требуется исключительно тщательная юстировка положения ОП. С учетом малого угла расходимости коллиматора, даже при незначительном отклонении ОП от области излучения элементов материалов изолятора (бора, кремния и т.д.), их спектральные линии уже не регистрируются. Следовательно, были сделаны выводы о необходимости установки СПД непосредственно на БМП, для обеспечения идентичности положения двигателя во время юстировки положения ОП и эксперимента.

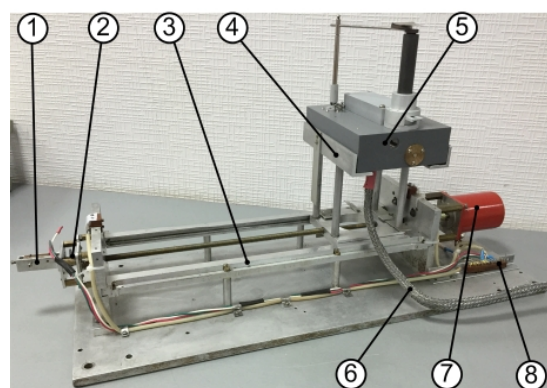
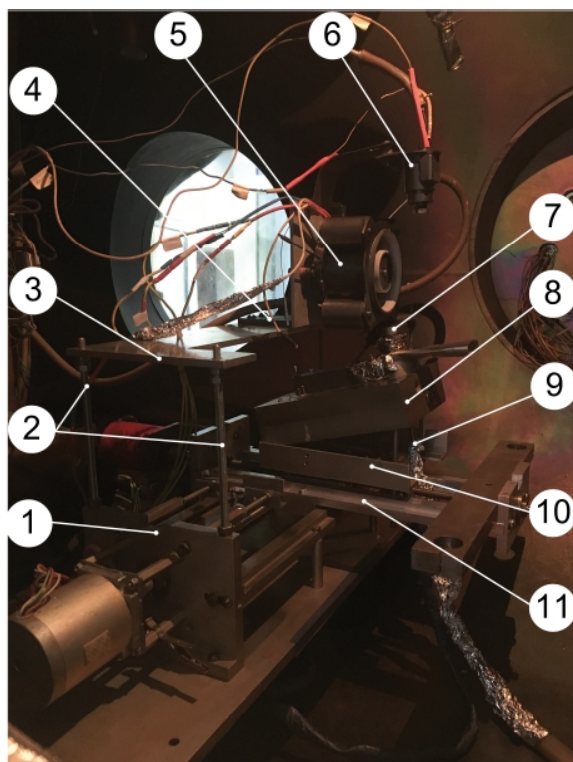


Рис. 6. Механизм перемещения оптического приемника: 1 – датчик положения; 2 – редуктор; 3 – механизм перемещения; 4 – опора ММП; 5 – ММП; 6 – кабель управления ММП; 7 – шаговый двигатель; 8 – кабель управления БМП.

Окончательный вид конструкции БМП представлен на рис. 7. Двигатель 5 и катод 6 устанавливаются на опоре 4, которая может перемещаться в зависимости от положения ОП. Опора 4 установлена на пластину 3. Высота установки двигателя над ОП регулируется при помощи перемещения пластины 3 по шпилькам 2, закрепленным на продольной оси механизма перемещения 1. На поперечной оси БМП 11 установлена регулируемая опора 10 и ММП 8. Конструкция опоры 10 позволяет выставить необходимый угол наклона ОП относительно среза двигателя.

Разработанная конструкция измерительного оборудования позволила производить юстировку положения ОП с необходимой точностью. На основании результатов экспериментов получено, что за счет модернизации оборудования удалось увеличить длительность «жизни» защитного кварцевого экрана приблизительно в 12 раз.

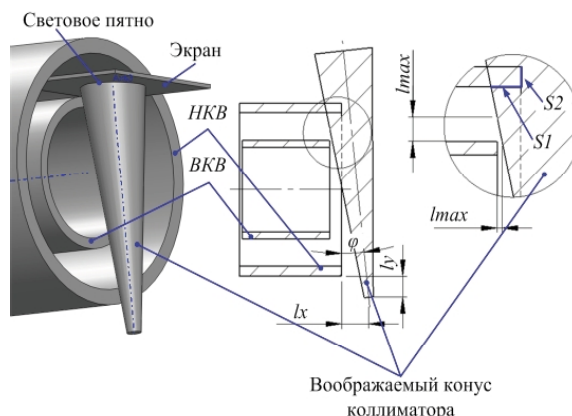


**Рис. 7.** Большой механизм перемещения:  
 1 – продольная ось БМП; 2 – шпильки;  
 3 – пластина; 4 – опора двигателя; 5 – СПД;  
 6 – катод-компенсатор; 7 – коллиматор; 8 – ММП;  
 9 – оптический кабель; 10 – регулируемая опора ММП;  
 11 – поперечная ось БМП.

## 2. Юстировка ОП относительно двигателя

Как было указано выше, при подготовке эксперимента необходима тщательная юстировка положения ОП относительно двигателя. Это необходимо для того, чтобы при сканировании проводились измерения исключительно с одной из керамических вставок РК. Юстировка производится следующим образом. Оптический кабель (рис.7, поз. 9), со стороны присоединения к спектрометру, подсвечивается источником света (лампочкой), для получения светового пятна на двигателе и для понимания какой элемент конструкции находится в области обзора. Важно, чтобы ОП был выставлен на минимальном расстоянии  $l_x$  и  $l_y$  от наружной керамической вставки, для получения максимальной величины сигнала, т.е. максимальной интенсивности линии. Угол между двигателем и осью ОП выбирается таким образом, чтобы воображаемый конус коллиматора не пересекал внутреннюю керамическую вставку (ВКВ). Для проверки установки на пути прохождения света устанавливается черный экран, рис. 8. Световое пятно на черном экране должно иметь форму эллипса. Если на эллипсе наблюдается усеченный участок, значит, на пути света нахо-

дится ВКВ, следовательно, требуется перевести ОП в другое положение.



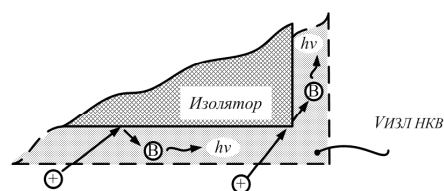
**Рис. 8.** Схема проверки установки ОП

Как показано, на рис. 8 справа, в области обзора находится наружная стенка ГРК, площадь обозначена  $S_1$  и торцевая поверхность наружной керамической вставки -  $S_2$ .

Для юстировки положения ОП относительно ВКВ, ОП перемещается параллельно оси двигателя, проверка положения производится тем же методом, что и для НКВ.

## 3. Измерение областей излучения изоляторов РК

После выбивания из стенки РК, возбужденные атомы обладают низкими уровнями энергии, порядка нескольких электрон-вольт [7], по сравнению с атомами и ионами ксенона. Время жизни этих атомов составляет несколько наносекунд [8], следовательно, дезактивация излучением этих атомов будет происходить в узком слое, находящемся в непосредственной близости к стенкам РК, рис. 9.



**Рис. 9.** Объем излучения продуктов распыления стенок ГРК

Основное уравнение интенсивности (светимости)  $I_\lambda$  излучающего объема плазмы  $V$  в спектр линии с длиной волны  $\lambda$ , который в рамках корональной модели имеет вид [4]:

$$I_\lambda = V \cdot n_{эл} \cdot n_e \cdot k_e^{эл}, \quad (1)$$

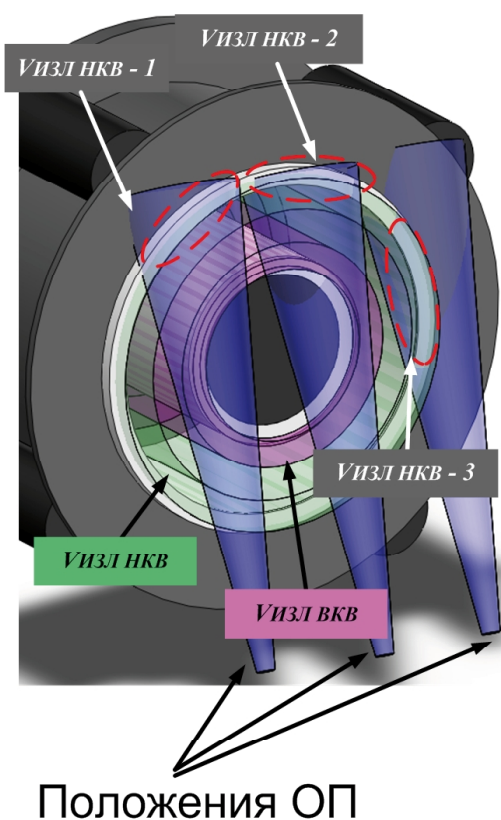
где:

$k_e^{эл}$  – коэффициент скорости возбуждения соответствующего перехода;

$n_{\text{эл}}$  – концентрация частиц, находящихся на возбужденном уровне;

$n_e$  – концентрация электронов.

Согласно сказанному выше и выражению (1) для расчетов необходимо определить объем излучения атомов продуктов изоляторов РК. Как показано на рисунке 10, объем излучения плазмы, который попадает в ОП, при сканировании поперек двигателя, изменяется при каждом положении:  $V_{\text{изл НКВ } 1} \neq V_{\text{изл НКВ } 2} \neq V_{\text{изл НКВ } 3}$ . Таким образом, для сопоставления эрозии НКВ и ВКВ, необходим расчет удельной эрозии, т.е. с единицы объема излучения. Расчет объемов излучения производится в программном пакете Solid Works, для чего необходимы измерения угла между оптической осью и двигателем, а также расстояние от НКВ до оси коллиматора.



### Положения ОП

Рис. 10. Объемы излучения продуктов распыления НКВ

Используется методика измерения расстояний по воображаемому конусу коллиматора. Для этого оптический кабель со стороны присоединения к спектрометру подсвечивается ярким источником света. Перпендикулярно срезу двигателя устанавливается экран. Одна из граней экрана опирается на коллиматор.

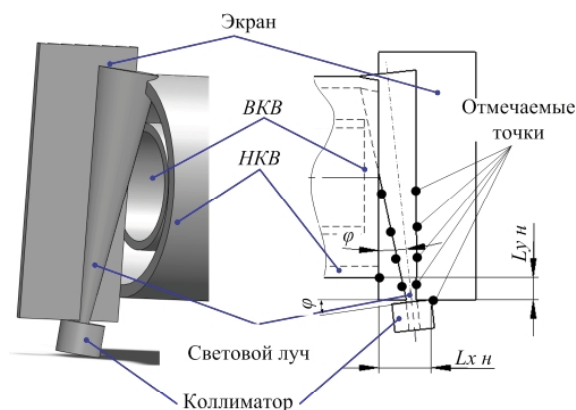


Рис. 11. Схема измерений положения ОП относительно двигателя

На экране будет отображаться световой луч, выходящий из коллиматора. Отмечаются несколько точек на образующих луча, как показано на рисунке 11, расстояние от наружного диаметра НКВ до коллиматора  $L_{yH}$  и  $L_{xH}$ , и точка соприкосновения коллиматора с экраном. По полученным размерам схема восстанавливается в графическом редакторе Solid Works, после чего производится вычисление размеров областей излучения при каждом положении ОП.

### 4. Методика проведения измерений методом ОЭССК

По окончании юстировки положения ОП, оборудование с двигателем устанавливается в вакуумную камеру. После запуска СПД, необходимо дождаться выхода двигателя на тепловой режим, для стабилизации параметров разряда, как по разрядному току и напряжению, так и по интенсивностям спектральных линий, что занимает от 30 до 60 мин, в зависимости от испытываемого двигателя. Далее, в программный интерфейс вводятся параметры измерений спектра. Время выдержки, для каждого из спектрометров, выбиралось таковым, чтобы регистрировалась максимальная интенсивность интересующих спектральных линий. По результатам расчетов было определено, что минимальное количество измерений спектра (осреднение) должно составлять не менее 12 [5]. Для спектрометров со временем выдержки до 500 мс, осреднение принято равным 12, однако, для спектрометров со временем выдержки  $40 \cdot 10^3$  мс – 1. Такой подход был выбран потому, что если установить число осреднений для HR-1 равным 12, измерение будет производиться в течение 8 мин. Столь длительное время одного измерения исключает возможность отслеживания динамики интенсивностей линий во времени. К примеру, при изменении

режима двигателя, часть из этих 12 спектров будет записана на одном режиме, а вторая часть на другом. Что заведомо приведет к ложному результату. С другой стороны, можно опустить запись промежуточного спектра, совмещающего данные по двум режимам. Легко просчитать, что если измеряется как минимум 20 точек, то суммарное время промежуточных спектров составит 80 мин. – 2,7 часа. Следовательно, увеличивается временная база эксперимента, что совершенно не желательно. С учетом выше обозначенных причин, для HR-1 и HR-2 последовательно производится запись 12 спектров подряд, затем полученные данные усредняются расчетным путем. В таблице 2 приведены параметры измерений спектра, которые были подобраны для двигателя СПД мощностью 650 Вт.

Таблица 2  
Параметры измерений спектра

Имя спектрометра	HR-1	HR-2	HR-3	HR-4
Диапазон	УФ		ВИЗ	ИК
Время выдержки, мс	$40 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	350	150
Осреднение	1	1	12	12

По окончании подготовки измерительного комплекса к работе, проводятся измерения в следующей последовательности.

1. ОП переводится в положение –  $k \cdot n$  (где:  $k$  - шаг перемещения,  $n$  – номер позиции).

2. Запись 12 спектров для HR-1 и HR-2, и по одному спектру, с осреднением 12, для HR-3 и HR-4.

4. Перемещение ОП в положение –  $k \cdot (n+1)$ .

5. Во время перевода ОП измерения не проводятся. Это связано с тем, что перемещение ОП из одного положения в другое занимает от 1 до 2 с. Время экспозиции для HR-1 и HR-2, таблица 2, составляет 40 с. Очевидно, что когда ОП перемещается, спектрометры УФ диапазона за одно измерение регистрируют данные частично с предыдущей и частично с последующей областей излучения. В результате получаем суммарный спектр совместно из двух областей излучения. Математически обработать эти данные не представляется возможным, по причине того, что каждая из областей излучения имеет свои геометрические размеры. Следовательно, в момент перемещения ОП спектр не регистрируется.

6. Повторение процедуры для каждого из положений ОП.

7. Регистрация темнового спектра, при выключенном двигателе или при закрытом затворе ОП, при тех же параметрах, что и проводились измерения спектра СПД.

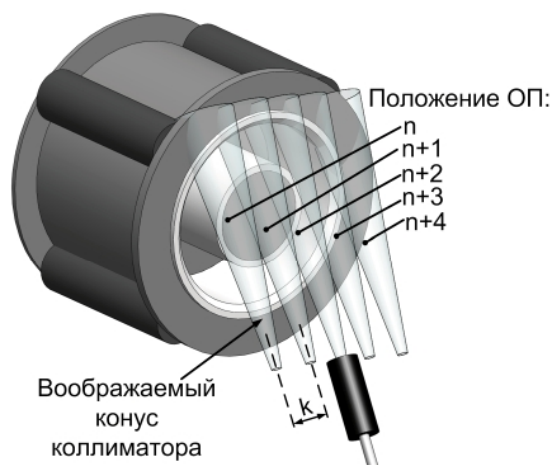


Рис. 12. Схема проведения измерений методом ОЭССК

До начала эксперимента программное обеспечение спектрометров позволяет автоматически исключать темновой спектр из регистрируемого. Однако, согласно [6] и по полученным ранее результатам стало ясно, что со временем вместе с температурой двигателя растет и температура детектора (это отмечается для спектрометров УФ диапазона), следовательно, вычитание темного спектра необходимо производить как в начале, так и в конце каждого замера.

Как было указано выше, для одноразового сканирования обоих изоляторов требуется около 1,5 часа. В течение данного времени необходимо контролировать стабильность режима работы СПД. Контроль режима производится по интенсивности линии Хе с длиной волны 823 нм. Данная линия выбрана из-за того, что она имеет максимальную интенсивность во всем регистрируемом диапазоне и высокую чувствительность к параметрам разряда, а, следовательно, к режиму работы двигателя. Как было получено, рис. 13, при увеличении разрядного напряжения  $U_d$  на 5 В, интенсивность линии 823 нм падает на 4 % или на 200 единиц. При увеличении разрядного тока  $I_d$  на 5 мА, интенсивность линии 823 нм падает на 5 % или на 700 единиц.

Изменение интенсивности линии 823 нм показывает то, что произошли изменения в режиме работы двигателя, таким образом, необходимо останавливать сканирование изолятора и восстановить режим работы двигателя.

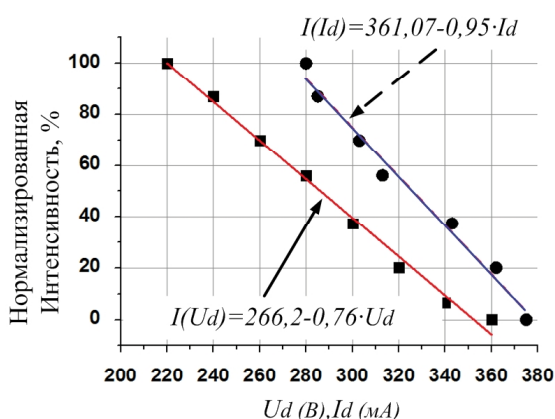


Рис. 13 Залежність нормалізованої інтенсивності лінії від розрядного тока і напруги

### Заклучение

В результаті проведеної роботи показана поетапна розробка конструкції вимірального комплексу метода ОЕССК. Отмечено, що розробані, виготовлені і введені в експлуатацію 3 механізми переміщення, два із яких служать для позиціонування ОП відносно двигателя і один для переміщення захисного екрана оптичного кабелю.

Розробані і описані методики: юстировка оптичного приймача відносно двигателя і вимірювання областей випромінювання ізоляторів РК. Представлена методика проведення вимірювань методом ОЕССК. Предложена методика контролю режиму роботи двигателя засобами спектроскопії.

На основі результатів експериментів отримано, що за рахунок модернізації обладнання вдалося збільшити тривалість «життя» захисного кварцевого екрана приблизно в 12 раз.

### А. Н. Хаустова, О.П.Рибалов. Обладнання та методика діагностики зношування ізоляторів стаціонарного плазмового двигуна

У статті описано обладнання для проведення вимірювань відносної ерозії окремо зовнішньої і внутрішньої керамічних вставок стаціонарного плазмового двигуна. Представлена конструкція вимірювального блоку спектрального комплексу, що складається з двох частин. Вимірювальна частина включає малогабаритні спектрометри з високою роздільною здатністю, оптичний кабель, коліматор і систему захисту від напilenня. Механічна частина — двохкоординатний механізм переміщення, який забезпечує позиціонування вимірювальної частини комплексу щодо кожного з ізоляторів двигуна. Наведено результати хімічного аналізу складу покриття на оптичне волокно. На підставі результатів випробувань обладнання показано, що за рахунок проведених доробок вимірювальної частини вдалося збільшити час «життя» захисного кварцевого екрану оптичного приймача. Описано методики: юстирування оптичного приймача щодо двигуна, вимір областей випромінювання ізоляторів РК, а також послідовність проведення вимірювань методом ОЕССК.

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

### Литература

1. Хаустова А. Н. Розробка оптичного приймача для вимірювання швидкості ерозії окремо зовнішньої і внутрішньої керамічних вставок газорозрядної камери стаціонарного плазмового двигателя [Текст] / А. Н. Хаустова, А. В. Лоян, О.П. Рыбалов // Вестник двигателестроения. — 2015. — № 2. — С. 29-36.
2. Хаустова А. Н. Исследование струи СПД-70 методом оптической эмиссионной спектроскопии со сканированием плазмы через коллиматор [Текст] / А. Н. Хаустова // Авиационно-космическая техника и технология. — 2015. — №10(127). — С. 102-105.
3. Хаустова А. Н. Розробка спектрального комплексу високого розрешення для дослідження спектра стаціонарного плазмового двигателя [Текст] / А. Н. Хаустова // Авиационно-космическая техника и технология. — 2015. — №9(126). — С. 113-118.
4. Сюняев Р. А. Физика космоса. Маленькая энциклопедия [Текст] / Р. А. Сюняев. — М.: Сов. энциклопедия, 1986. — 783 с.
5. Хаустова А. Н. Расчет погрешности измерений метода ОЕССК [Текст] / А. Н. Хаустова // Авиационно-космическая техника и технология. — 2016. — в печати.
6. Sommerville J. D. Emission cross-section for neutral xenon impacted by  $Xe^+$  and  $Xe^{2+}$  [Text] : dissertation of Master of Science in Mechanical Engineering / Jason D. Sommerville. - Michigan Technological University. — 2006. — 80 с.
7. Морозов А. И. Физические основы космических электро-реактивных двигателей [Текст] / А. И. Морозов. — М.: Атомиздат, 1978. — 325 с.
8. Информационная система «Электронная структура атомов»: по данным Новосибирского Государственного Университета [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://grotrian.nsu.ru/ru/>.

Поступила в редакцию 12.05.2016



**A. N. Khaustova, O. P. Ribalov. Oessk method instrumentation facility and diagnostics method of stationary plasma thruster edge insulator wear**

*This article describes the equipment for measuring of relative erosion of the stationary plasma thruster outer and inner ceramic separately. The design of the instrumentation facility the measuring unit that consists of two parts is presented. Measuring unit includes small-size high resolution spectrometers, optical cable, collimator and dust protective system. Mechanical part that has two coordinates motion mechanism, which ensures the positioning of instrumentation facility measuring unit with respect to each of the engine insulators. The results of chemical analysis of the coating composition on the optical fiber are presented. Based on the results of the equipment tests it is shown that due to the measuring unit modifications it was possible to increase the “life” of optical receiver protective quartz screen. The techniques: alignment of the optical receiver with respect to the thruster, the measurement of discharge chamber insulators radiation areas and also OESSK method measuring steps are described.*

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