

УДК 62-791.2

Аппаратура оперативного контроля чистоты поверхности изделий ракетно-космической техники.

Сутырин А.А.

Аннотация. При создании различных элементов РКТ (топливных баков, двигательных установок и т.п.), контактирующих с компонентами криогенного ракетного топлива поверхностная плотность масляных загрязнений, образующихся после механической обработки, не должна превышать 100 мг/м². Существующая методика измерения плотности загрязнения заключается в снятии проб (смывок) с контролируемой поверхности и последующим анализом на флюориметре в лабораторных условиях. Недостатками методики являются: высокая продолжительность по времени, трудоёмкость и применение расходных материалов. Проведённые исследования показали возможность создания методики и аппаратуры свободной от указанных недостатков.

Ключевые слова: ракетное криогенное топливо; масляные загрязнения; флюоресценция; ракетная техника; контроль чистоты.

В процессе создания различных элементов ракетно-космической техники (РКТ) одним из обобщенных показателей, характеризующих качество подготовки элементов РКТ, особенно контактирующих с компонентами криогенного топлива является остаточное загрязнение продуктами нефтепереработки (маслами, смазками, смазочно-охлаждающими жидкостями, которые в дальнейшем будем называть маслами). Для поверхностей топливных баков предельно допустимая поверхностная плотность масел составляет 20 -100 мг/м², что соответствует толщинам от 20 до 100 нм для средней плотности масла 900 кг/ м³. Исходя из этого, к методу определения концентрации поверхностных загрязнений предъявляют требования по возможности измерения концентраций масла в диапазоне от 20 до 500 мг/м² при относительной погрешности измерения – от 20 до 40%.

Применяемая в настоящее время методика измерения плотности загрязнения основана на эффекте флуоресценции, возникающей в молекулах масла под действием возбуждающего излучения и однозначном соотношении между интенсивностью флуоресценции и поверхностной плотностью измеряемого вещества. Спектр флуоресцентного излучения всегда сдвинут в сторону больших длин волн относительно спектра поглощения, что облегчает анализ [1, 2].

Процесс контроля чистоты поверхности изделий РКТ заключается в снятии проб (смывок) с контролируемой поверхности и последующим анализом на флюориметре в лабораторных условиях. Недостатками методики являются: высокая продолжительность по времени (от 0,5 до 1 часа), трудоёмкость и применение расходных материалов (чистые салфетки, Хладон-113). Кроме того, применяемый во флюориметре фотоэлектронный умножитель не может быть использован в портативном приборе из-за необходимости высоковольтного источника напряжения, а так же высокой вероятности выхода ФЭУ из строя из-за засветки в условиях производства.

В целях устранения указанных недостатков была поставлена задача разработки оптико-электронного люминесцентного спектрометра, обладающего достаточной чувствительностью для выявления тонких масляных пленок, поверхностной плотности от 20мг/м^2 , на металлических поверхностях и имеющего свойства оперативности измерений, портативности и низкого энергопотребления.

Была рассмотрена возможность применения других методов контроля чистоты поверхности изделий РКТ. Анализ известных методов: гравиметрического, хроматографического, инфро-красной спектрометрии, метода измерения интенсивности отраженного излучения, методов использующих поляризацию и интерференцию показал их потенциальную сложность при компактной реализации прибора. Это позволило сделать вывод о необходимости совершенствования технических средств (излучателя и приемника) для уже указанного флуоресцентного метода.

По результатам анализа технических характеристик современных оптико-электронных приборов и экспериментальных исследований в качестве фотоприемного устройства были выбраны матричные лавинные фотодиоды. Лавинные фотодиоды обладают внутренним усилением до (10^6) . При не высоких обратных напряжениях смещения (порядка десятков вольт) в них образуется сильное ускоряющее поле, в котором происходит лавинное размножение носителей, то есть усиление фототока. Эти приборы характеризуются высокой чувствительностью, большим внутренним усилением и высоким быстродействием. Современные лавинные фотодиоды разработки Российского предприятия ООО «ЦПТА» [3] позволяют регистрировать свет сверхмалых интенсивностей (на уровне одиночных фотонов). Прибор получил название Микропиксельный (или матричный) Лавинный Фотодиод (МЛФД). Типичный размер каждой ячейки (пикселя) около 20 – 30 микрометров, а их количество составляет порядка 1000 штук на каждый квадратный миллиметр рабочей площади детектора. Таким образом, МЛФД, как целое, является прибором способным регистрировать интенсивность света (количество фотонов) с динамическим диапазоном, соответствующим числу пикселей фотодетектора.

Для реализации источников УФ излучения наиболее оптимальным является применение светодиодов повышенной светоотдачи японской компании “Nichia Corporation” допускающие прямой ток до 1А.

Одним из ключевых моментов при проведении измерений является оптимальная фильтрация излучения возбуждения и флуоресцентного свечения. То есть, светофильтр излучателя должен иметь наибольшее поглощение в области флуоресцентного свечения загрязнений при максимальном пропускании излучения возбуждения. Соответственно светофильтр приёмника должен иметь полосу пропускания только для измеряемого свечения, что позволяет также уменьшить влияние паразитной фоновой засветки.

Для выбранных излучателей, приемников и светофильтров была получена зависимость сигнала от поверхностной плотности загрязнений (Рис. 1), которая обеспечивает возможность проведения измерений.

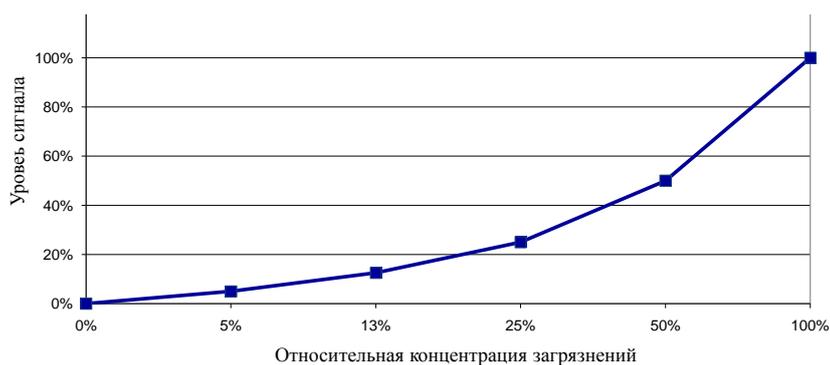


Рис. 1 Зависимость относительно уровня сигнала от изменения поверхностной плотности загрязнения.

В качестве устройства управления излучателя и обработки аналогового сигнала был применен микроконтроллер ATMEGA 128, имеющий в своем составе АЦП, цепи для коммутации сильноточных электронных ключей. Микроконтроллер установлен на специальной плате снабженной кнопками управления, разъемами для подключения дополнительных электронных узлов и жидкокристаллическим двухстрочным индикатором. Усиление сигнала было обеспечено операционным усилителем (рис. 2).

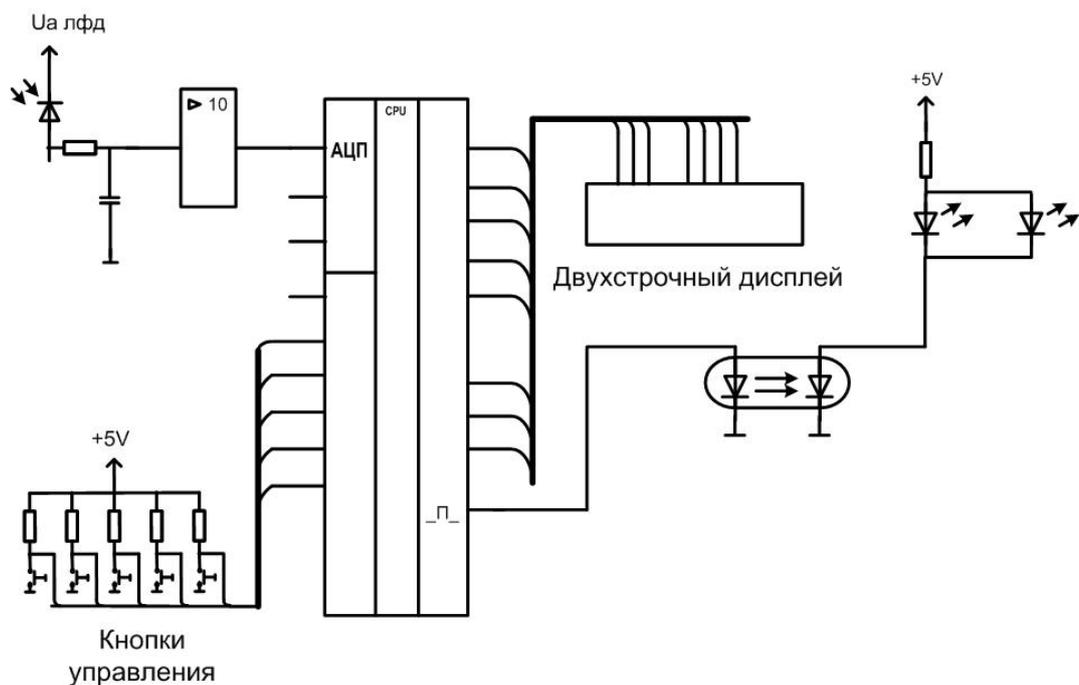


Рис. 2 Схема измерительного прибора.

Принцип работы прибора заключается в генерации под управлением микроконтроллера импульсов ультрафиолетового излучения с периодом 107 мс и длительностью 7 мс. Под действием данного импульсного излучения происходит флюоресценция масляного загрязнения, которую детектирует МЛФД, с фотодиода аналоговый сигнал передается на АЦП микроконтроллера, в момент импульса включается АЦП, по истечении 10 циклов производится обработка накопленных данных и информация о количестве загрязнения выводится на ЖКИ (рис. 3, 4). По времени процесс измерения занимает 2 сек.

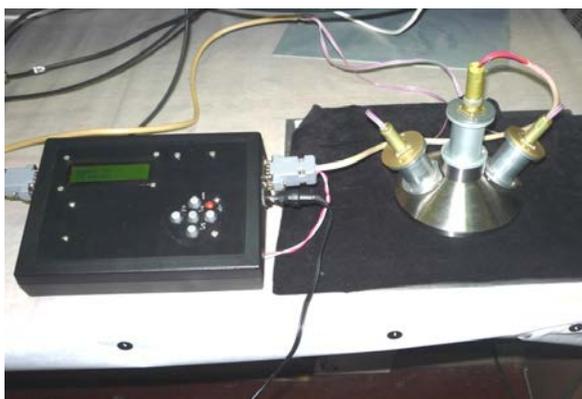


Рис. 3 Модуль и блок управления



Рис. 4 Информация на ЖКИ о количестве загрязнения.

В процессе экспериментальной отработки была выявлена зависимость уровня сигнала (усиления) от обратного напряжения на фотодиоде (рис. 5). Так же было выявлено уменьшение уровня полезного сигнала при засветке. Так при щели в 5 мм наблюдалось уменьшение уровня полезного сигнала при малых концентрациях масляных загрязнений от 70 мг/м² и ниже и практически полное отсутствие полезного сигнала при щели в 25 мм (рис. 6,7).

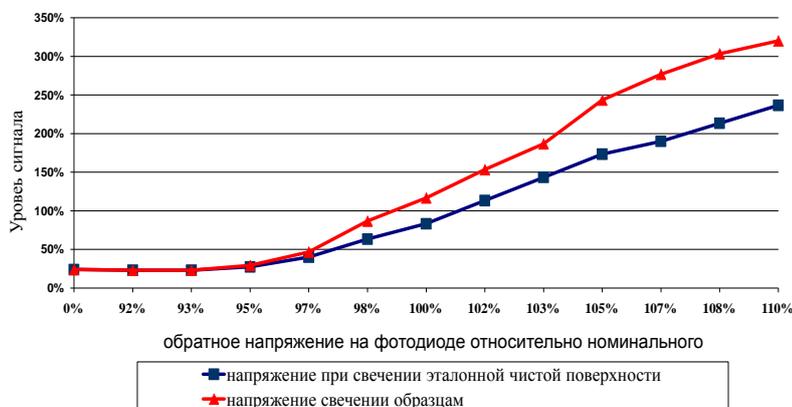


Рис. 5 Зависимость относительно уровня свечения от изменения обратного напряжения на фотодиоде

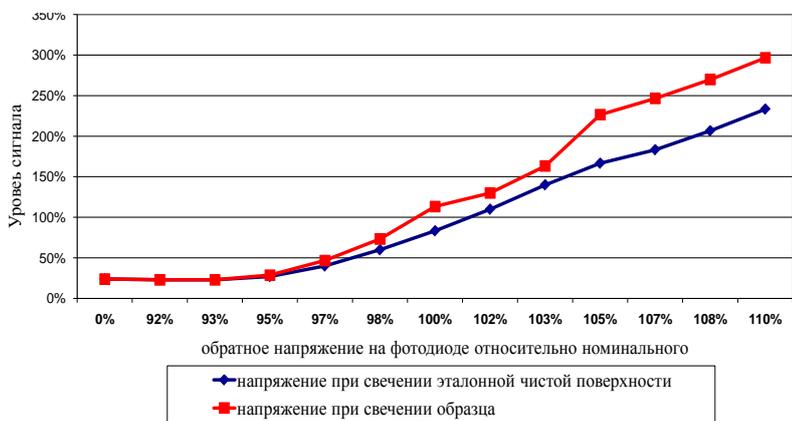


Рис. 6 Зависимость относительно уровня свечения от изменения обратного напряжения на фотодиоде при ширине зоны паразитного свечения 5 мм.

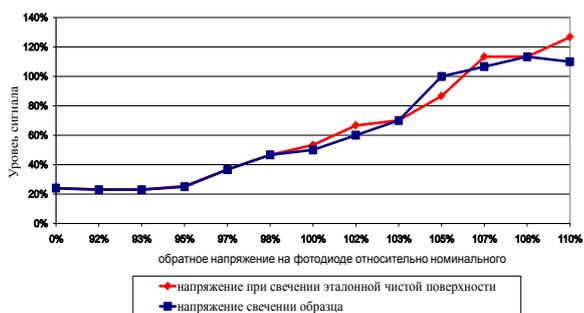


Рис. 7 Зависимость относительно уровня свечения от изменения обратного напряжения на фотодиоде при ширине зоны паразитного свечения 25 мм.

Для устранения влияния паразитной засветки была разработана специальная сменная насадка (бленда) (рис. 8, 9), которая обеспечивает плотное прилегание прибора к элементам изделий РКТ и практически полностью устраняет влияние внешней паразитной засветки, что повышает чувствительность прибора, которая, как показано на графиках (рис. 5, 6, 7) зависит от уровня внешней засветки. Так же применение сменной бленды позволяет использовать прибор на различных поверхностях изделий РКТ без потерь чувствительности.

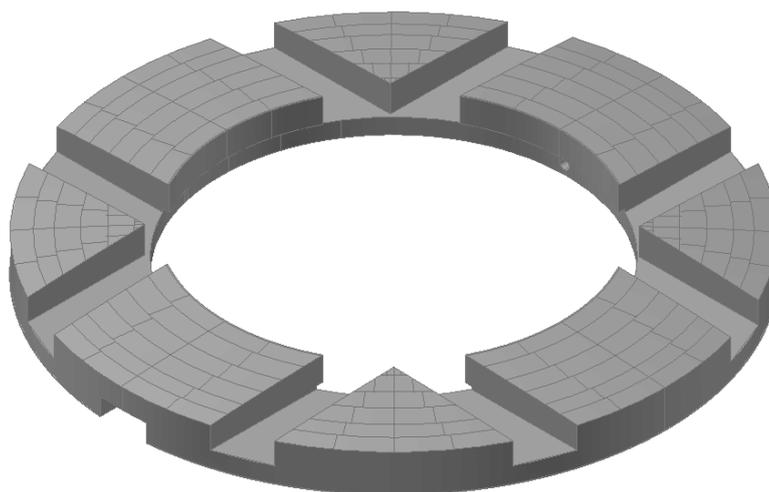


Рис 8. Сменная насадка (бленда).

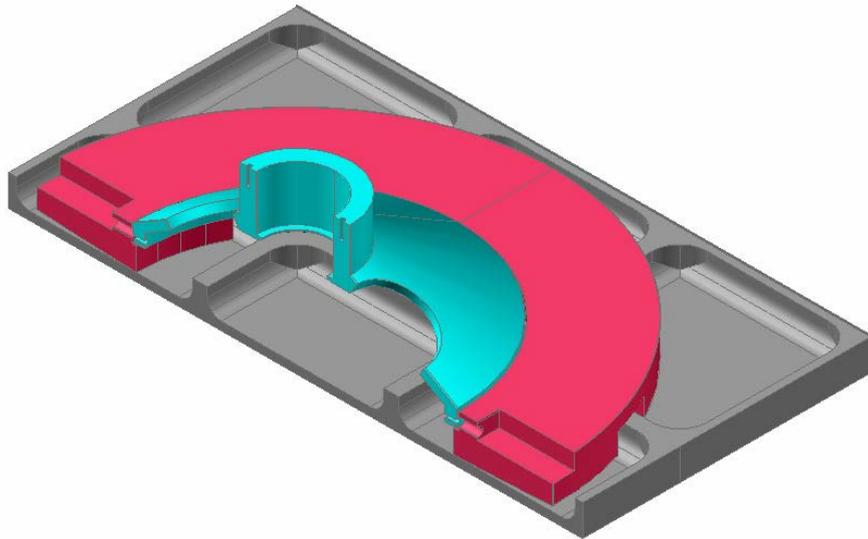


Рис. 9 Корпус модуля и бленда на стенке топливного бака.

Лабораторная отработка опытного образца прибора показала, что выбранная элементная база и применение экранирующих бленд обеспечивают заданные требования по точности и оперативности измерений, и позволяют перейти к отработке прибора в условиях производства.

Список литературы.

1. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М. 1986 г.
2. Гладилович Д.Б. Флуориметрический метод контроля нефтепродуктов в водах. Партнеры и конкуренты. № 12 2001 г
3. www.cpta-apd.ru

Сведения об авторах.

Сутырин Александр Александрович, инженер ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», аспирант аспирантуры ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», тел.: (499) 749-52-61; e-mail: asutirin@gmail.com