



Лабораторная проверка характеристик УФ-камер

Р.С. Арбузов, В.М. Толчин

А.Г. Овсянников

17 февраля 2016 г., Пермь, Димрус

Цели



1. Понять, количество чего измеряется УФ-камерами или что скрывается под странными названиями: «УФ-пятна» (UV spots), они же «Световые импульсы» (lightning pulses), они же «события» (events), они же «Электроразрядные процессы» .
2. Предложить разумные альтернативы технических решений для экспресс-проверки чувствительности УФ-камер.



Введение

В целом успешный опыт эксплуатации мобильных УФ систем диагностики в РЖД [1-2] и в МОЭСК [3], поставил и проблему, казалось бы очевидную: проверку дорогостоящих УФ-камер зарубежного производства [4].

Дело в том, что электронно-оптические преобразователи, которые входят в состав камер очень чувствительны к технологии изготовления и режимам питания и, соответственно, имеют большой разброс. Обычно разработчики оптимизируют питание по отношению «сигнал-шум», иногда в ущерб чувствительности. В своё время мы решали эту же проблему применительно к дефектоскопам «Филин».

1. Хананов В.В., Мизинцев А.В. [и др.]. Мобильная система диагностики изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению // Железные дороги мира. – 2006. – № 9. – С. 54 – 62.
2. Плотников Ю.И., Федоришин Ю.М., Демидов С.В. Ультрафиолетовая диагностика изоляции контактной сети: модернизация мобильной системы // Железные дороги мира. – 2009. – № 5. – С.53 – 60.
3. Ильина Е.В., Д. Растегняев Д.Ю. Опыт применения проборов ультрафиолетового контроля в электросетевой компании (на примере МОЭСК) // ЭнергоЭксперт. – 2014. – 4. – С.70 – 71.
4. Железнов Ф.Д., Акулов В.А. [и др.]. Методы и средства повышения достоверности ультрафиолетовой диагностики изоляции контактной сети. – Ч 1. // Железные дороги мира. – 2011. – № 5.



Введение (продолжение)

В своё время мы решали эту же проблему для дефектоскопов «Филин».

1. Для этой цели на завод-изготовитель «Филин-3» в 1985 г. была поставлена малогабаритная установка высокого напряжения 20 кВ, с помощью которой покупателю демонстрировали изображение разрядных процессов на тарельчатом изоляторе. А для экспресс-проверки в ТУ был введён соответствующий пункт о наблюдении с расстояния 10 м светодиода АЛ 102 А (красного цвета, потому что тогда других не было) с током 3 мА.
2. Поныне при опробовании новых технических решений мы проверяем дефектоскопы в лаборатории на контрольном изоляторе и в полевых условиях на примере коронирующего электрода искрового промежутка на входной опоре ВЛ 220 кВ подстанции «Восточная».

Между прочим, в рекомендациях концерна «Энергоатом» есть такой пункт «6.4. Проверка технических параметров систем УФ-контроля выполняется в соответствии с инструкцией по эксплуатации на используемый тип приборных средств».

Введение (продолжение)



Проверку чувствительности производители УФ –камер детально оценивают **только для головных образцов (выделено нами)** той или иной модели.

Так, например, в лаборатории компании RWE EUROTTEST (Германия) для этого используется специальный высоковольтный стенд , где формируется «искусственный кажущийся заряд между металлическим шаром, заполненный элегазом, и электродом. Появление короны на электроде фиксируется УФ-камерой с определённого расстояния. Заряд количественно оценивается по уровню сопутствующих радиопомех, которые фиксируются специальным измерителем. В 2003 г. при испытаниях камеры DayCor компании OFIL (Израиль) при кажущемся заряде 1,5 пКл (что соответствует уровню радиопомех 6 дБ/мкВ) при расстоянии до камеры 8 м, нижний порог чувствительности составляет $3 \times (E-18) \text{ Вт/см}^2$ ».

Эту цитату мы взяли из [4]. Сразу понятно, что написано не специалистом, но догадаться можно. Неясно только, как они перешли от электрической (пКл) к световой энергетической характеристике (Вт/см^2). Это непросто.

Введение (продолжение)



Продолжим цитирование [4].

«Наряду с этим при регистрации УФ камер в агентстве по техническому регулированию и метрологии РФ, выдвигаются требования по ежегодной метрологической поверке. Создание и использование для этого специального высоковольтного стенда связано с существенными финансовыми затратами и сложностями организационно-технического характера.

В 2005 г. в метрологической лаборатории ВНИИМ им. Д.И. Менделеева (г. СПб) была разработана временная методика калибровки УФ камер. Однако в силу перечисленных выше сложностей, она предусматривала только проверку величины геометрического рассогласования изображений (контрольной ртутной лампы) в видео и УФ каналах (1,5-2 см на дистанции 50 м. По своему содержанию методика поверки не отвечала принципу действия УФ-приёмника.

В 2010 г. фирмой UViRCO Technologies был разработан способ метрологической поверки, не требующий сложного громоздкого и дорогостоящего высоковольтного оборудования».



Разработка методики поверки

Проверку чувствительности УФ –камер предложено проводить по излучению абсолютно чёрного тела (АЧТ). В основе методики лежат законы Планка и Бугера-Бэра.

$$E_0 = \frac{f(T, \lambda) \cdot S}{L^2}, \text{ Вт/см}^2$$

где T, λ – абсолютная температура поверхности и длина волны; S, L – площадь поверхности АЧТ и расстояние до поверяемой УФ-камеры, соответственно.

На практике пользуются табулированными значениями функции E_0 в функции температуры для фиксированного спектрального диапазона. Расчётные величины для температуры АЧТ от 930 до 1250 С и диапазоне длин волн от 100 до 280 нм представлены в первом и втором столбцах таблицы.

Отсюда видно, что если постепенно нагревать АЧТ, то можно зафиксировать минимальное значение температуры, при которой УФ камера начнёт реагировать на излучение. Соответствующее значение E_0 для данной температуры и будет нижним порогом, определяющим минимальную чувствительность УФ камеры.

Темп. АЧТ, °С	Энергия излучения E_0 , Вт/см ² (при апертуре АЧТ 25 мм и дистанции $L=2$ м)	Ср. показания УФ счетчика, N, имп/с
930	1,33E-19	0,0
940	1,91E-18	2,5
970	5,46E-18	11
980	7,66E-18	16
990	1,07E-17	---
1000	1,48E-17	20
1010	2,05E-17	---
1090	2,30E-16	---
1100	3,04E-16	30

Разработка методики поверки



Используя эту методику в апреле 2011 г. ООО «Панатест», официального и эксклюзивного дистрибьютера камер CoroCAM, были проведены стендовые метрологические испытания для уточнения чувствительности камеры CoroCAM6D.



Заодно показано что камеры Uvolle фирмы Ofil имеют чувствительность на порядок хуже заявленной и на два порядка хуже, чем CoroCAM6D.

Кроме того, показано, что с ростом температуры АЧТ от 1100 С и выше, число импульсов счётчика резко (порой скачкообразно) возрастало, а разброс показаний составил от 100 до 150 % и выше (от ста до нескольких тысяч импульсов в секунду)

Метрологическая лаборатория "ПАНАТЕСТ"

Вопросы к методике поверки



Главное: чувствительность определялась не по яркости изображения на экране УФ-камеры относительно темнового фона, как принято при оценке чувствительности ЭОПов, а по показаниям УФ-счётчика!?

Наверное, для оценки порога это допустимо: камера как бы «оживает», начиная с E_0 .

Но с этого момента главная количественная характеристика явления – количество UV-spots – УФ-пятен, становится ещё более загадочной, чем это следует из описания камеры производителем.

- ✓ Что это за характеристика такая – УФ-пятна? Количество фотонов, вряд ли, чувствительность не такая уж высокая.
- ✓ Что идёт в расчёт, все-ли пятна: и мелкие, и крупные? Если есть, какой-то порог чувствительности, то, наверное, мелкие пятна не считаются?
- ✓ А как связаны пятна со вспышками отдельных разрядов?
- ✓ С их частотой повторения?
- ✓ С зарядом, мощностью или энергией?

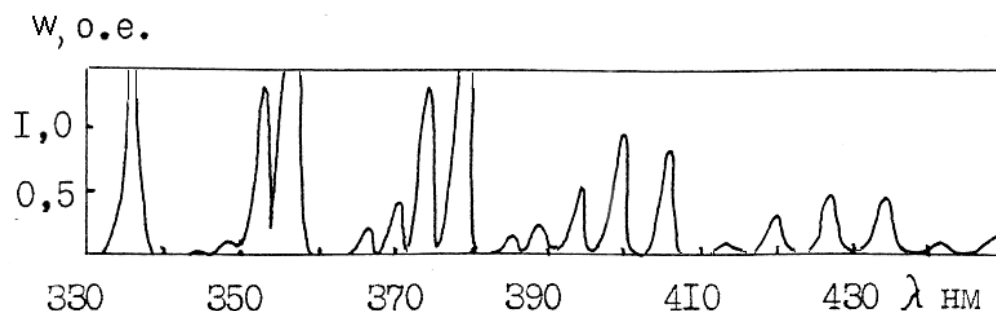
Недостатки методики поверки



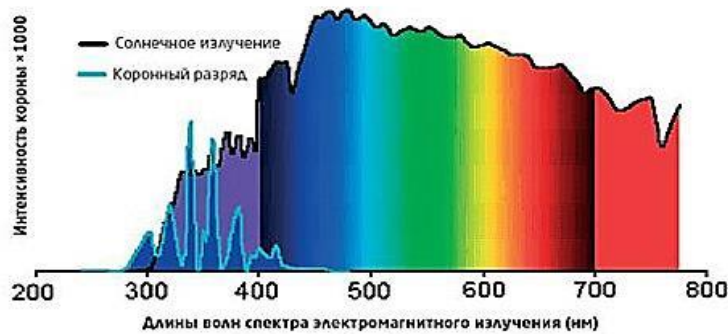
Даже принимая эту методику надо бы понимать, что с ростом температуры АЧТ меняется и сила света (энергия), и максимум в спектре его излучения. Как разделить одно от другого? И неужели показания УФ счётчика связаны с со средней силой света а не с частотой повторения разрядов?

Кроме этого, в использованной методике просматривается влияние двух факторов, которое, по нашему мнению, надо было бы как-то учитывать:

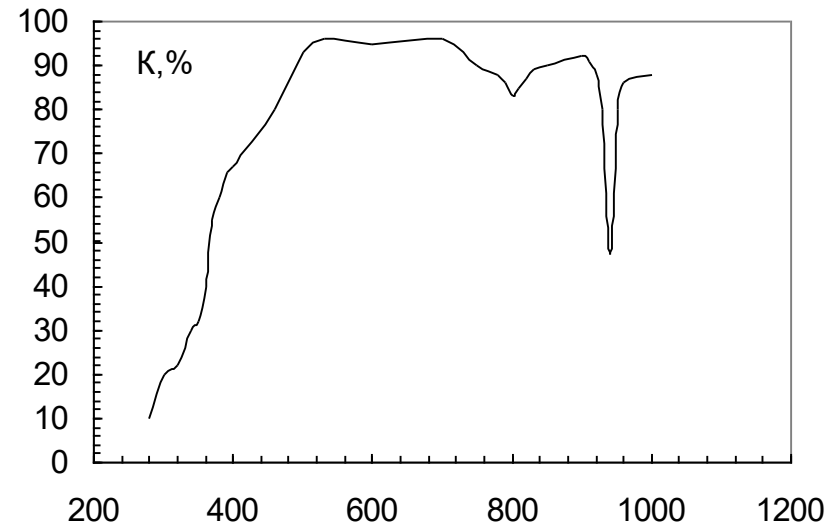
- излучение АЧТ постоянное, а разрядные явления, подлежащие контролю, имеют принципиально импульсный характер;
- воздух между АЧТ и УФ-камерой рассматривается как пассивная среда, что на самом деле не так, потому что спектр поглощения линейчатый как и спектр излучения разрядов



Ещё о спектральных характеристиках



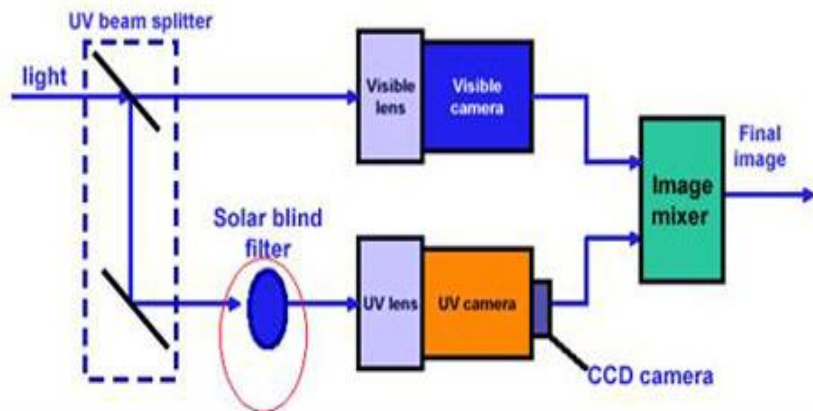
Фрагмент спектрограмм солнечного излучения и излучения короны



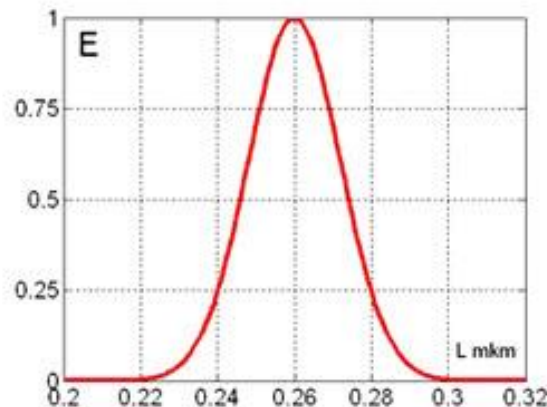
Спектральное пропускание земной атмосферы на вертикальной трассе

1. Для жёсткого (100...250 мкм) УФ спектра воздух почти непрозрачен!

Ещё о спектральных характеристиках



Упрощенная блок-схема двухспектральной УФ камеры: верхний канал – видео; нижний – УФ; красным обозначен светофильтр.



Спектральная плотность распределения энергии E , воспринимаемая детектором УФ камеры в зависимости от длины волны L , мкм

2. Центральная полоса спектральной чувствительности УФ-камеры равна ($0,26 \text{ мкм}$) обязана совместным характеристикам и фотокатода, и светофильтра

Цель, объект и методика испытаний

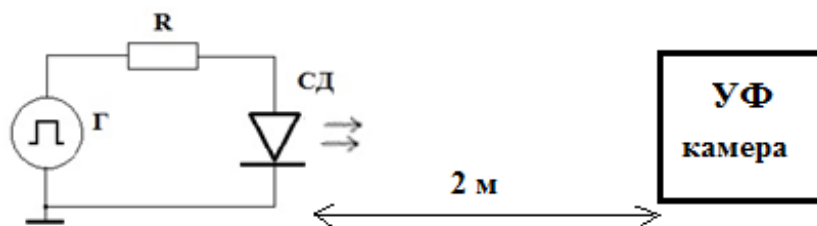


1 Цель: оценить погрешности измерения количества «УФ-пятен» камерой DayCor Super B, связанные с частотой повторения импульсов излучения объекта.

2 Объект испытаний: УФ-камера DayCor Super B, зав. № S10P024133, 2010 г.

3 Методики испытаний.

3.1. Источниками излучения были УФ-светодиоды, питание которых осуществлялось генератором прямоугольных импульсов Г5-54. Варьировались яркость, длительность и частота следования импульсов излучения светодиода.



В УФ-камере (располагалась на расстоянии 2 м) изменялся коэффициент усиления. При неизменных условиях, измеренное камерой число “UV-spots” (УФ-пятен), фиксировалось пять раз при каждом усилении и при обработке результатов оно усреднялось.

4.1 Результаты экспериментов первой группы



Влияние спектра излучения. Светодиод с излучением на длине волны 365 нм оказался «невидимым» для счёта УФ-событий камерой. При этом видеоканал камеры регистрировал свечение достаточно уверенно. По этой причине в дальнейших испытаниях использовался второй светодиод типа UVTOP270 с длиной волны (270-280) нм.

Влияние длительности и яркости УФ-излучения. При $t_{\text{и}} = 1$ мс и частоте 50 Гц (т.е. 3000 1/мин.) и напряжении на выходе генератора около 2 В изображение было настолько ярким, что коэффициент усиления пришлось сделать минимальным $K_{\text{ус.}} = 10$. Но даже и при минимальном усилении среднее число измеренных УФ-пятен было равным 4450, т.е. примерно в 1,5 раза больше действительного.

При $t_{\text{и}} = 10$ мкс пришлось увеличить яркость излучения светодиода примерно в 5 раз, чтобы получить примерно то же количество УФ-пятен, но уже при $K_{\text{ус.}} = 60$. При $t_{\text{и}} = 1$ мкс и той же яркости излучения светодиода то же количество УФ-пятен достигалось при $K_{\text{ус.}} = 80$.

4.1 Результаты экспериментов первой группы



Влияние частоты следования импульсов излучения. В основной части первой группы экспериментов длительность импульсов устанавливалась равной 0,1 мкс, т.е. близкой к длительности вспышек стримерной короны.

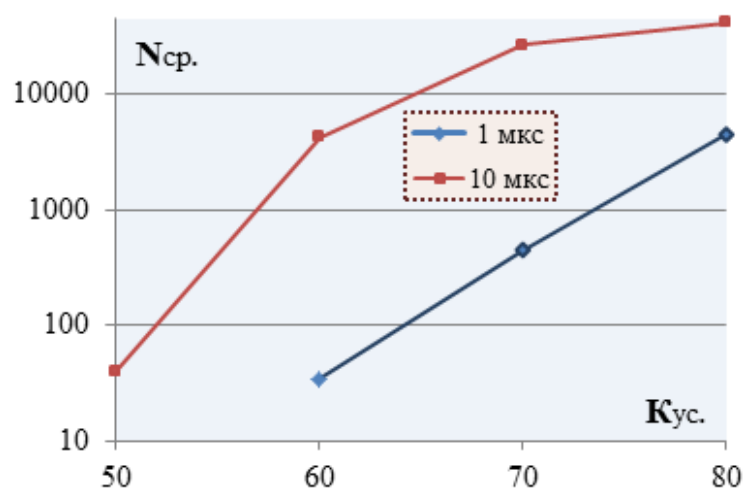


Рис. 2 – Зависимости среднего числа «УФ-пятен» от коэффициента усиления камеры при длительности импульсов 1 и 10 мкс и частоте следования импульсов излучения $N_0 = 3000$ имп. / мин.

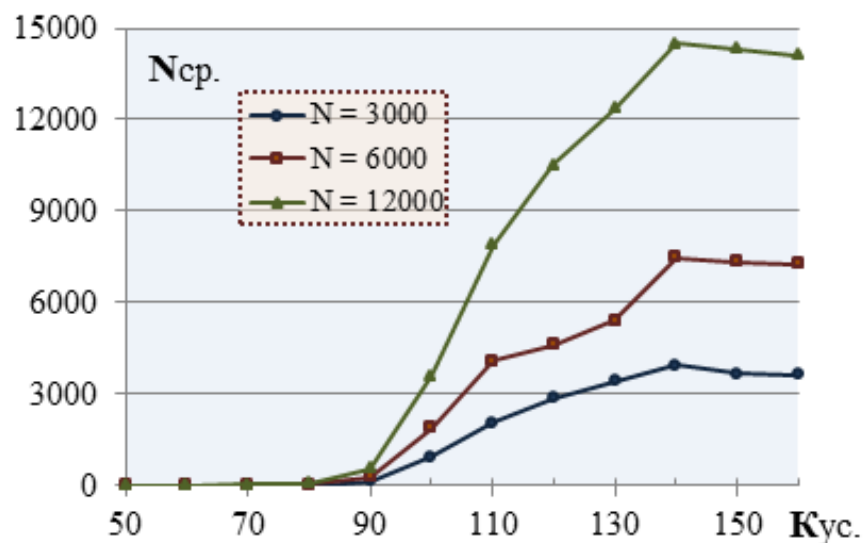


Рис. 3 – Зависимости среднего числа «УФ-пятен» от коэффициента усиления камеры при длительности световых импульсов 0,1 мкс и частоте следования $N_0 = 3000, 6000$ и 12000 имп. / мин.

4.1 Результаты экспериментов первой группы



Результат счёта импульсов зависит и от частоты их повторения и от длительности (наверное, правильнее сказать, - от силы света).

Плохо, что мы не знаем в подробностях схемы и принципов работы УФ-камер. Можем только гадать и понимать в мелочах.

Такая, например, маленькая деталь в результатах испытаний: число импульсов в каждом отдельном измерении были кратны 20. Это означает, что реальные измерения проводятся в интервале 3 секунд, а потом результат умножается на 20, чтобы получить число «имп./мин.».

В этом смысле не очень понятны упоминания в литературе о разовых и средних значениях числа импульсов или о среднем значении разрядной активности за небольшой промежуток времени (5–10 сек.).

3.2 Методика экспериментов 2-й группы



Источником УФ-излучения служили реальные разряды на линейном тарельчатом изоляторе ПС 120 А, на который от повышающего трансформатора подавалось высокое напряжение промышленной частоты 16, 18 и 20 кВ_{эфф}.



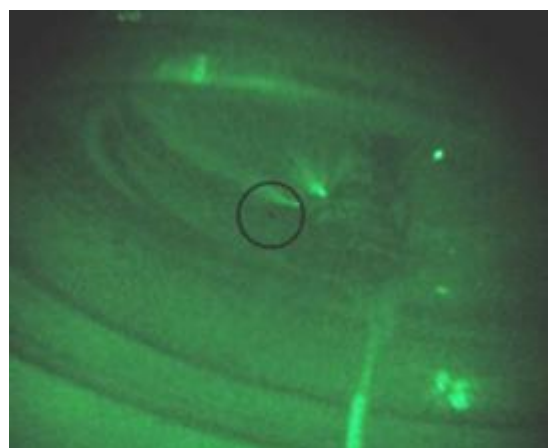
Рис. 4 – Размещение изолятора, УФ-камеры и дефектоскопа

Наблюдение за разрядами проводилось с расстояния 3,5 метра УФ-камерой и дефектоскопом «Филин-6».

Фоновая освещённость составляла примерно 100 Лк без электрического освещения и около 600 Лк при включении лампы накаливания.

Испытания проводились при температуре 23 °С и относительной влажности воздуха 43 %.

4.2 Результаты экспериментов 2-й группы



16 кВ

18 кВ

20 кВ

Рис. 5 – Вид разрядов в УФ-камере и дефектоскопе

Результаты экспериментов 2-й группы

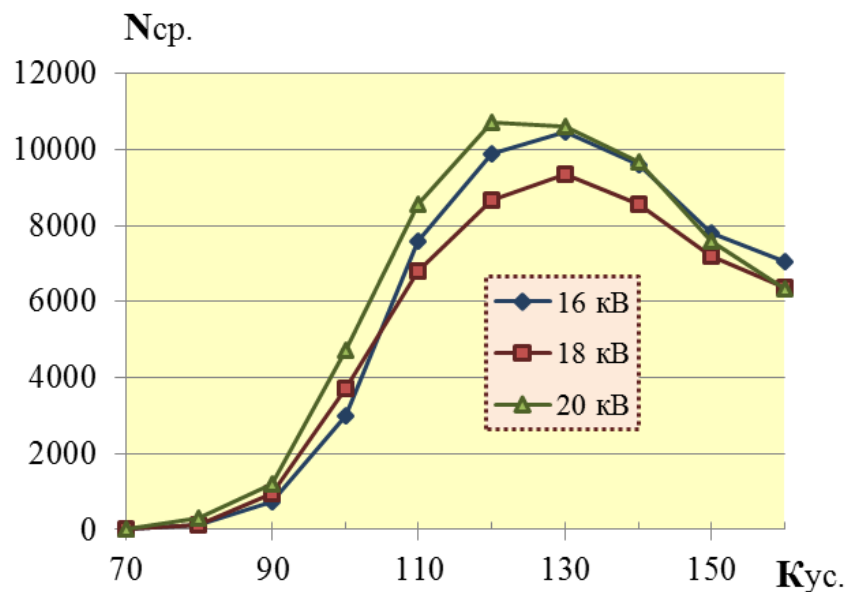


Рис. 6. Зависимости среднего числа «УФ-пятен» от коэф-та усиления камеры и напряжения на изоляторе

В последнем опыте было определено напряжение погасания короны на проволочке на экранах обоих приборов.

При фоновой освещённости около 50 Лк получилось практически одно и то же напряжение погасания короны – 6,3 кВ, что говорило о примерно одинаковой чувствительности приборов. Дефектоскоп при этом работал в стробоскопическом режиме (импульсном режиме питания фотокатода электронно-оптического преобразователя).

При освещённости 600 Лк дефектоскоп терял чувствительность резко, а УФ-камера её сохранила практически неизменной!



1. Применение УФ-светодиодов в образцовых измерительных системах поверки УФ-камер видится более простым, дешёвым и универсальным действием!

2. Настораживает сильная зависимость числа событий от длительности излучения, хотя правильнее было бы говорить о зависимости от энергии излучения. Поэтому к выбору при количественной оценке количества событий нужно строго следить за интенсивностью и площадью изображения, не допуская перегрузки УФ-приёмника прибора по силе света на входе. К этому надо быть готовым, прежде всего, при обследовании загрязнённой и увлажнённой изоляции.

Дело в том, что при сильном загрязнении ток утечки приобретает непрерывный характер, и длительность поверхностных дужек может достигать десятки миллисекунд. А перед загоранием каждой дужки возникает пачка импульсных разрядов с длительностью и силой света, значительно меньше, чем у дужек. Поэтому, загроуля чувствительность камеры для регистрации дужек, оператор должен понимать, что прибор теряет чувствительность к импульсным сигналам. Наоборот, подстраиваясь под импульсные разряды, УФ-приёмник прибора окажется перегруженным при возникновении дужек.

В итоге следует ожидать значительных погрешностей в оценке разрядной активности, а, следовательно, и в оценке степени опасности дефекта (степени загрязнения)!

Выводы (продолжение)



3. Из рис. 3 видно, что более или менее точные результаты счёта были получены при величинах коэффициента усиления в диапазоне 120 – 130. При больших значениях коэффициента усиления прибор даёт завышенное значение количества событий. При $K_{ус.} < 120$ камере, по-видимому, не хватает чувствительности, и результат счёта получается сильно заниженным.

4. При регистрации разрядных процессов на изоляторе оптимальным является также коэффициент усиления порядка 120. Это хорошо видно и из зависимостей на рис. 6 и по внешнему виду картины разрядов (рис. 5).

5. Весьма любопытным показался факт снижения числа регистрируемых событий при увеличении коэффициента усиления со 130 до 160 (рис. 6). По-видимому, в приборе в этом диапазоне усиления включается некоторая отрицательная обратная связь, что и приводит к мнимому снижению числа событий.

Риторические вопросы

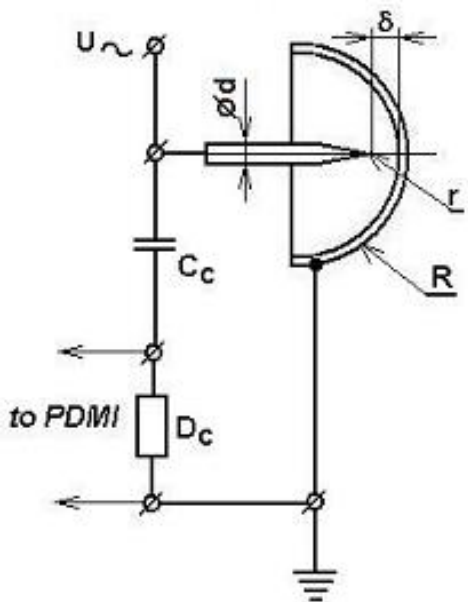


Стоит ли всерьёз требовать их государственной аттестации, а соответственно ежегодных поверок?

А недостаточно ли одной проверки чувствительности УФ-камер?

Ведь критерии опасности дефекта (состояния изоляционной конструкции) практически субъективны!

А почему бы не попробовать в качестве образцового источника излучения имитатор ЧР?



U – переменное напряжение ≤ 5 кВ;

C_c – конденсатор связи;

D_c – устройство присоединения;

PDMI – измерительный прибор ЧР

Имитатор, рекомендованный в первой редакции стандарта МЭК 60270, представляет собой металлический игольчатый электрод, установленный по центру металлического полушария. Радиус скругления игольчатого электрода r – от 20 до 50 мкм; радиус полушария R – от 20 до 40 мм. Расстояние между краем иглы и основанием полушария – (5 – 8) мм. Имитатор обеспечивает $q \leq 100$ пКл.

Для проверки оптических регистраторов в т.ч. УФ-камер внутреннюю поверхность сферического заземлённого электрода лучше сделать зеркальной, а имитатор размещать на расстоянии порядка 10 метров



Спасибо за внимание!
oag@nspb.ru