

адекватность оценки патологических состояний по термограммам даже при незначительных изменениях температурного поля в оптической системе прибора.

В процессе синтеза диоптрических объективов, состоящих из нескольких компонентов, существует возможность подбора материалов с целью самоатермализации системы. При этом есть возможность одновременно выполнить ахроматизацию оптической системы и минимизировать те aberrации изображения, на которые накладываются наиболее высокие требования. Для реализации вышеперечисленных задач, а именно термостабилизации и улучшения характеристик объектива термографа, на этапе расчета конструктивных параметров оптической системы прибора целесообразно воспользоваться пассивной оптической атермализацией. Алгоритм метода предусматривает использование при проектировании объектива нескольких ИК материалов с различными по величине и знакам термооптическими постоянными в сочетании с определенным материалом несущей конструкции узла [4].

Синтезированные на основе метода пассивной оптической атермализации ИК объективы с термостабилизированной величиной заднего фокального отрезка системы, такие как [5], сохраняют стабильность частотных и энергетических характеристик и обладают высоким качеством изображения в диапазоне температур эксплуатации.

1. Иваницкий Г. Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине / Г. Р. Иваницкий // Успехи физических наук. – 2006. – №12. – С. 1294-1320.
2. Муравьев А. В. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа / А. В. Муравьев, А. Е. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2016. – вип. №4. – С. 195-198.
3. Сокольский М. Н. Светосильный объектив для инфракрасной области спектра / М. Н. Сокольский, И. Е. Совз // Патент России № 2449327. – 2010.
4. Тягур В. М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В. М. Тягур, О. К. Кучеренко, А. В. Муравьев // Оптический журнал. – 2014. – том 81. – № 4. – С. 42-47.
5. Муравйов О. В. Атермалізований інфрачервоний трілінзовий об'єктив / О. В. Муравйов, О. О. Назарчук // Патент України № 115796. – 2017.

УДК 535.37

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ЦВЕТОКОНТРАСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИЗУАЛИЗАТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ СОДЕРЖАЩИХ ДОБАВКИ СОЛЕЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ

Попечиц В.И.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета  
Минск, Республика Беларусь*

Жидкие и твердые растворы органических красителей обладают интенсивными полосами поглощения в оптической области спектра электромагнитных волн, что делает их перспективными для применения в качестве визуализаторов рентгеновского и гамма излучений [1, 2].

При воздействии ионизирующего излучения на растворы красителей происходит необратимое обесцвечивание растворов, вызванное изменением состава и структуры молекул красителей в результате взаимодействия последних с кислород содержащими радикалами и ион-радикалами, образующимися в растворах вследствие радиолиза растворителей [3–5].

Многокомпонентные растворы органических красителей под воздействием ионизирующего излучения могут изменять цвет, что позволяет визуально определить величину воздействующей на радиационной дозы, используя для этого предварительно построенную цветовую градуировочную шкалу [5–9].

Для использования красителей в составе многокомпонентного раствора, применяемого в

качестве дозиметра ионизирующего излучения, необходимо, чтобы красители в данном растворе имели интенсивные электронно-колебательные полосы поглощения в видимой области спектра, хорошо растворялись в выбранном растворителе, химически не взаимодействовали друг с другом и с образующимися продуктами радиационной деструкции красителей, имели существенно различающиеся скорости деструкции (в этом случае изменение цвета раствора будут наиболее чувствительным к изменению величины радиационной дозы, воздействовавшей на раствор) [6, 7].

В данной работе изучены процессы, происходящие в многокомпонентных водных растворах органических красителей различных классов, содержащих добавки солей серной кислоты ( $MnSO_4$ ,  $FeSO_4$ ,  $CuSO_4$ ,  $(NH_4)_2SO_4$  и др.), при облучении растворов рентгеновским излучением.

Для исследования влияния добавок солей серной кислоты на спектральные и цветоконтрастные характеристики облученных рентгеном растворов были приготовлены водные растворы, содержащие два красителя (один краситель поглощал свет в длинноволновой области

видимого спектра, другой – в коротковолновой). Максимальная оптическая плотность таких трехкомпонентных растворов в видимой области спектра составляла 2,1. Затем в полученный трехкомпонентный раствор объемом 15 мл добавлялись 5 мл воды или 5 мл водного раствора соли серной кислоты концентрации 1 моль/л, соответственно.

Многокомпонентные растворы красителей, содержащие и не содержащие добавки солей серной кислоты, в пластмассовых кюветках облучались на рентгеновском дифрактометре «Дрон 2М» при мощности тока, проходящего через рентгеновскую трубку 200 Вт (напряжение на рентгеновской трубке составляло 20 кВ, электрический ток в рентгеновской трубке – 10 мА). Время облучения составляло 20 минут. При этом соблюдался одинаковый способ установки кювет, для того, чтобы обеспечивать одинаковые условия облучения каждого раствора. Расстояние от рентгеновской трубки до облучаемых образцов составляло 15 см. Затем на спектрофотометре РВ 1251 «Solag» записывались спектры поглощения не облученных и облученных растворов в спектральном диапазоне 350–750 нм.

Сначала была исследована химическая стойкость двухкомпонентных водных растворов исследуемых красителей, перспективных для использования в качестве компонентов визуализаторов ионизирующих излучений. Концентрация растворов красителей составляла  $3,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л. К 15 мл водного раствора красителя данной концентрации добавлялось 10 мл раствора соли серной кислоты концентрации 1 моль/л. Спектры поглощения растворов красителей, содержащих добавки солей серной кислоты, записывались через определенные промежутки времени. Чтобы исключить фотохимическую деструкцию красителей, растворы хранились в полной темноте, при комнатной температуре.

Измерения спектров поглощения водных растворов красителей, содержащих добавки солей серной кислоты, от времени хранения показали, что данные растворы, в отличие от растворов, содержащих добавки серной кислоты, обладают высокой химической стойкостью. За время хранения (до 350 часов) оптическая плотность растворов в максимуме длинноволновой полосы поглощения уменьшилась не более чем на 5 %.

В качестве примера на рисунке 1 представлены нормированные спектры поглощения не облученного водного раствора красителей кислотный алый ( $\lambda_{\max} = 530$  нм) + метиленовый голубой ( $\lambda_{\max} = 680$  нм) (кривая 1) и облученного рентгеном этого трехкомпонентного раствора, не содержащего добавки (кривая 2) и содержащего добавки соли  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (кривая 3). Из рисунка видно, что скорость радиационной деструкции красителей в

растворах, содержащих добавку соли серной кислоты, возрастает. Это можно объяснить присутствием в растворе анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , которые при радиолизе раствора образуют кислородсодержащие радикалы и ион-радикалы, обладающие высокой химической активностью. Взаимодействие последних с молекулами красителей приводит к нарушению  $\pi$ -электронной цепи сопряжения и смещению полос поглощения этих продуктов реакции в УФ-область спектра, что способствует уменьшению интенсивности длинноволновых полос поглощения растворов в видимой области спектра.

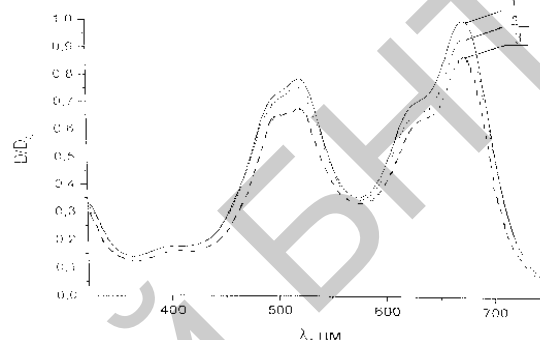


Рисунок 1 – Нормированные спектры поглощения ( $D/D_0$ ) водного раствора кислотный алый + метиленовый голубой: до облучения рентгеном (1), после облучения рентгеном (2), после облучения рентгеном с добавлением  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (3)

Похожие зависимости скорости радиационной деструкции органических красителей в многокомпонентных растворах, содержащих добавку солей серной кислоты, наблюдались и для других трехкомпонентных водных растворов красителей. При указанной концентрации солей серной кислоты, добавляемых в трехкомпонентные растворы разных красителей, увеличение скорости радиационной деструкции красителей составляло  $1 \pm 15$  %.

Полученные экспериментальные данные позволили сделать вывод о том, что скорость необратимой радиационной деструкции красителей в водных растворах возрастает при добавлении в растворы солей серной кислоты. Причем это возрастание скорости радиационной деструкции зависит от химической природы красителя. Следовательно, подбором красителей и добавлением в растворы солей серной кислоты можно улучшить цветоcontrastные характеристики облученных растворов, что важно при применении многокомпонентных растворов красителей в качестве дозиметров рентгеновского излучения.

1. Степанов, Б.И. Введение в химию и технологию органических красителей / Б.И.Степанов. – М.: Химия, 1977. – 448 с.
2. Бахшиев, Н. Г. Введение в молекулярную спектроскопию / Н.Г.Бахшиев. – Л.: Изд-во. ЛГУ, 1987. – 215 с.
3. Попечиц, В. И. Спектрально-люминесцентные характеристики гамма-облученных растворов трикарбонианиновых красителей / В.И.Попечиц // Вестник БГУ, сер. 1. – 2002. – № 3. – С. 33–37.
4. Попечиц, В.И. Спектроскопическое исследование

- радиационной устойчивости растворов красителей // Спектроскопия и люминесценция молекулярных систем / БГУ, НАН Беларуси; под ред. Е.С.Воропая, К.Н.Соловьева, Д.С.Умрейко. Минск: БГУ, 2002. С. 275 – 286.
5. Попечиц, В.И. Влияние гамма-облучения на спектры поглощения растворов кислотных красителей / В.И.Попечиц // Журнал прикладной спектроскопии. – 2003. – Т. 70, № 1. – С. 34 – 37.
  6. Попечиц, В. И. Визуализаторы ионизирующего излучения на основе многокомпонентных растворов красителей / В.И.Попечиц // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. в 2 ч. – Минск, 2012. Ч. 2. С. 128 – 133.
  7. Попечиц, В. И. Дефектоскопия материалов и изделий с помощью многокомпонентных растворов красителей / В.И.Попечиц // Достижения физики неразрушающего контроля: сборник научных трудов Междунар. научно-технической конф., посвященной 50-летию Института прикладной физики НАН Беларуси / Институт прикладной физики. – Минск, 2013. – С. 284–289.
  8. Попечиц, В. И. Визуализаторы ионизирующего излучения на основе многокомпонентных растворов красителей / В.И.Попечиц // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы Междунар. науч.-технич. конф. (Могилев, 24–25 апр. 2014). Могилев, 2014. – С. 147–148.
  9. Попечиц, В. И. Влияние пероксида водорода на цветостойкость растворов органических красителей / В.И.Попечиц // Вестник БГУ, сер. 1. – 2015. – № 1. – С. 17–21.

УДК 624.94

## МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА НАКОПИТЕЛЬНОГО СУММИРОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ СВЕТОДИОДОВ С БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДЬЮ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Сернов С.П., Балохонов Д.В.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

Ввиду постоянного совершенствования светодиодов, изготавливаемых по технологии OLED с применением квантовых точек и увеличения их времени наработки до отказа (ведущая американская фирмы по изготовлению светодиодов с квантовыми точками Quantum Materials Corp выпускает продукцию, у которой это время составило не менее 1000 часов [1]), все более актуальным является улучшение методов расчета деталей вторичной оптики для учета большой излучающей поверхности данных светодиодов.

Выдвинутые ранее рекомендации о конструировании деталей вторичной оптики, пригодных для различных типов светодиодов [2] позволяют модифицировать метод накопительного суммирования световых потоков таким образом, чтобы можно было рассчитывать детали вторичной оптики даже для светодиодов с очень большой площадью излучающей поверхности (круг диаметром до 20 мм).

Кроме условия квазиточечности и условия охвата источника света, для расчета детали вторичной оптики по модифицированному методу накопительного суммирования световых потоков необходимо учесть различный угол преломления у граничных лучей: те лучи, которые находятся ближе к оптической оси, преломляются слабее, чем те, которые находятся дальше от оптической оси. Из-за этого даже при правильном разбиении светового потока от неточечного источника появятся скачки силы света в произвольных направлениях.

Чтобы избежать появления этих скачков, угловой интервал для засветки определенной части заданного распределения силы света можно дополнительно разделить на несколько участков и рассеять их по всему участку.

При расчете деталей вторичной оптики для неточечных источников света в центральной части детали вторичной оптики рассеяние света, вызванное неточечностью источника света, будет больше, чем на периферии детали, так что при разбиении светового потока светодиода нужно учесть, что центр детали вторичной оптики будет обеспечивать засветку всего заданного распределения силы света.

В то же время периферическая область детали вторичной оптики, которая работает в основном по принципу полного внутреннего отражения, из-за малого рассеяния света может быть использована для тонкой настройки распределения силы света источника с деталью вторичной оптики.

Чтобы рассчитать габаритные размеры детали вторичной оптики для светодиодов, которые нельзя считать точечными источниками света, предлагается использовать не некоторое произвольное значение рассеяния света в центральной области, а краевые углы заданного распределения силы света. Это позволяет, не выходя за габариты по толщине детали вторичной оптики, путем использования ее внутренней поверхности улучшить равномерность детали, что уменьшает ее массу и увеличивает технологичность. Кроме того, это позволяет снизить потери на пропускание за счет малой толщины материала детали вторичной оптики.

Модифицированный метод накопительного суммирования световых потоков поощряет использование внутренней поверхности детали вторичной оптики, так как при его использовании нет необходимости обеспечивать плотный контакт излучающей поверхности источника и детали. Из-за этого внешняя поверхность детали вторичной оптики может быть выполнена гладкой (кусочно-