

а составляющая, распространяющаяся в направлении движения пучка электронов, при 10-кратной экспозиции уже достаточно четко отображается на фотобумаге.

Экспериментально показано, что угол расходимости основной части генерируемого тормозного излучения составляет  $\sim 90^\circ$ .

На основании результатов исследования сделано предположение, что источником излучения является конгломерат не коррелированных между собой микроисточников, что и приводит к невозможности получения увеличенного изображения облучаемого объекта.

В настоящее время данную установку можно использовать не только в научных целях, но и для создания устройства контроля устойчивости различных электронных изделий к импульсному рентгеновскому излучению.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Илясова Е. Б., Чехонацкая М. Л., Приезжева В. Н. Лучевая диагностика : учеб. пособие. М., 2009. С. 28, 29.
2. Лосев Н. Ф., Смагунова А. Н. Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. М., 1982. С. 152–161.
3. Морговский Л. Я., Пеликс Е. А. Импульсная рентгенография. Аппараты серии «Арина». СПб., 1999.
4. Малогабаритные высокопроизводительные ускорители АРСА для оперативных испытаний на радиационную стойкость ЭКБ / С. Л. Эльяш [и др.] // XIV Харитоновские тематические научные чтения: мощная импульсная электрофизика : сб. докл. междунар. конф. (Саров, 12–16 марта 2012 г.). Саров, 2012. С. 117–121.
5. О перспективах генерации мощных импульсов МРИ на установке «ГАММА» / Н. В. Завьялов [и др.] // XIV Харитоновские тематические научные чтения: мощная импульсная электрофизика : сб. докл. междунар. конф. (Саров, 12–16 марта 2012 г.). Саров, 2012. С. 153–160.
6. Гоголев А. С., Черепенников Ю. М. Определение оптимальных параметров источника рентгеновского излучения на базе малогабаритного ускорителя электронов // Изв. ТПУ. 2012. Т. 320, № 2. С. 35–38.

Поступила в редакцию 15.09.2014.

**Виктор Константинович Гончаров** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией лазерной плазмодинамики НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ.

**Олег Владимирович Крекотень** – старший научный сотрудник лаборатории лазерной плазмодинамики НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ.

**Валентин Владимирович Макаров** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории лазерной плазмодинамики НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ.

УДК 535.37

В. И. ПОПЕЧИЦ

### ВЛИЯНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА НА ЦВЕТСТОЙКОСТЬ РАСТВОРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

Исследовано влияние пероксида водорода на цветостойкость растворов органических красителей. Показано, что значительное падение интенсивности поглощения в зависимости от времени хранения (высокий фединг) наблюдается у водных растворов с добавлением  $H_2O_2$ , содержащих красители: малахитовый зеленый, бриллиантовый зеленый, фуксин основание, флуоресцеин и др. Наиболее устойчивы к воздействию пероксида водорода (низкий фединг) водные растворы красителей: конго красный, ланазоль оранжевый, кислотный желтый светопрочный, метиловый оранжевый, родамин С, кислотный зеленый антрахиноновый H2C, кислотный ярко-голубой 3, трипафлавин и др. Определены растворы красителей, наиболее перспективные для применения в качестве детекторов радиационной дозы.

**Ключевые слова:** фединг (выцветание) растворов красителей; пероксид водорода; цветостойкость растворов красителей.

The effect of hydrogen peroxide on color stability of organic dye solutions is investigated. It is shown that a considerable decrease in the intensity of absorption depending on the shelf-life (high fading) is observed for water solutions with the addition of  $H_2O_2$  containing dyes: malachite green, diamond green, fuksin alkaline, fluorescein and others. The aqueous solutions of dyes most resistant to hydrogen peroxide (low fading) are as follows: congo red, lanazol orange, acid yellow fast light, methyl orange, rhodamine C, acid green anthraquinone H2C, acid bright blue 3, tryptaflavine, etc. The dye solutions most promising for applications as radiation dose detectors are proposed.

**Key words:** fading of dye solutions; hydrogen peroxide; colour fastness of dye solutions.

Растворы органических красителей в органических и неорганических растворителях, а также в полимерных матрицах имеют интенсивные полосы поглощения в видимой области спектра [1–3], что определяет возможность их применения в качестве детекторов радиационной дозы. В работах [4–6] было показано, что под воздействием рентгеновского и гамма-излучения жидкие и твердые многокомпонентные растворы красителей изменяют цвет. Изменение цвета раствора зависит от исходной концентрации и химической природы красителей, физико-химических свойств растворителя, спектрального состава и величины радиационной дозы воздействовавшего на раствор ионизирующего излучения.

В идеальном случае многокомпонентные растворы красителей, используемые в качестве визуализаторов ионизирующего излучения, должны иметь достаточно высокий радиационно-химический выход,

который не должен зависеть в широких пределах от вида излучения, его энергии, концентрации реагентов, температуры и любых других условий, которые могут изменяться во время облучения исследуемого образца (рН раствора, содержание растворенных газов и т. п.). Для практического применения растворов желательно, чтобы для их приготовления можно было применять реактивы обычной степени чистоты. Красители в данном растворителе не должны химически взаимодействовать друг с другом и с продуктами радиационной деструкции красителей. Для надежности проводимых измерений интегральной радиационной дозы необходимо, чтобы многокомпонентные растворы органических красителей обладали достаточно низким федингом, т. е. не обесцвечивались после прекращения воздействия на растворы ионизирующего излучения.

В работах [7–9] установлено, что необратимая радиационная деструкция красителей (радиационное обесцвечивание) в конденсированных средах вызывается окислением красителей кислородсодержащими радикалами и ион-радикалами (ОН, ОНГ,  $\text{HO}_2$  и др.), образующимися в результате радиолиза растворителей. В обесцвечивании растворов красителей принимает также участие относительно стабильный продукт радиолиза растворителей – пероксид водорода.

С целью исследования фединга растворов органических красителей различных классов в данной работе изучено влияние пероксида водорода на цветостойкость растворов красителей. Объектами исследования служили водные растворы органических красителей, в которые добавлялся 3 % раствор пероксида водорода в соотношении 10 мл раствора красителя на 5 мл раствора пероксида водорода. Максимальная оптическая плотность растворов составляла 2,2–2,5. Спектры поглощения растворов красителей, содержащие пероксид водорода, записывались через определенные промежутки времени на спектрофотометре PV 1251 (Solar). Точность измерения оптической плотности составляла 3 %. Чтобы исключить фотохимическую деструкцию красителей, растворы хранились в полной темноте при постоянной температуре (20 °С).

Длинноволновые полосы спектров поглощения (зависимость относительной оптической плотности  $D/D_0$  от длины волны  $\lambda$  в нанометрах) некоторых водных растворов красителей, содержащие пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , записанные после приготовления и через различное время хранения в темноте при комнатной температуре (20 °С), представлены на рис. 1.

Максимумы спектров свежеприготовленных растворов красителей (запись спектров проводилась через 30 мин после приготовления раствора) нормированы к единице. С увеличением времени хранения растворов, содержащих пероксид водорода, происходит постепенное уменьшение интенсивности полос поглощения красителей. Значительное падение интенсивности поглощения в зависимости от времени хранения (высокий фединг) наблюдается у водных растворов с добавлением  $\text{H}_2\text{O}_2$ , содержащих красители: малахитовый зеленый, бриллиантовый зеленый, фуксин основание, флуоресцеин и др. Наиболее устойчивы к воздействию пероксида водорода (низкий фединг) водные растворы красителей: конго красный, ланазоль оранжевый, кислотный желтый светопрочный, метиловый оранжевый, родамин С, кислотный зеленый антрахиноновый Н2С, кислотный ярко-голубой 3, трипафлавин и др.

Зависимость нормированной интенсивности поглощения в максимуме длинноволновой полосы поглощения некоторых водных растворов красителей от времени хранения представлена на рис. 2.

Кроме устойчивости к влиянию пероксида водорода важно, чтобы максимум спектра поглощения находился близко либо к длинноволновой, либо к коротковолновой границе видимого спектра. Принимаемая видимый диапазон длин волн 380–790 нм, можно сказать, что в коротковолновой области видимого спектра поглощают следующие красители: кислотный желтый светопрочный ( $\lambda = 391$  нм), ланазоль оранжевый ( $\lambda = 480$  нм), метиловый оранжевый ( $\lambda = 462$  нм), конго красный ( $\lambda = 496$  нм). Наилучшим вариантом является кислотный желтый светопрочный ( $\lambda = 391$  нм), однако не следует пренебрегать остальными, так как существует ряд других факторов, которым должны удовлетворять красители, используемые в качестве компонентов детекторов радиационной дозы [5, 6, 8]. Из исследованных красителей, максимум поглощения которых находится в длинноволновой области спектра, относительно незначительным федингом обладают кислотный зеленый антрахиноновый Н2С ( $\lambda = 610$  нм), кислотный ярко-голубой 3 ( $\lambda = 640$  нм).

Органические красители по обесцвечиванию под действием пероксида водорода условно можно разделить на 3 группы:

- 1) быстрообесцвечивающиеся (высокий фединг): красители класса полиметиновых [7], малахитовый зеленый, фуксин основание, бриллиантовый зеленый и др. (обесцветились более чем в 10 раз за 3 сут);
- 2) среднеобесцвечивающиеся (средний фединг): родамин 6Ж, эозин-натрий, флуоресцеин, акридин-овый желтый, метиленовый голубой и др. (обесцветились наполовину в течение примерно 10 сут);
- 3) относительно стойкие к влиянию пероксида водорода (низкий фединг): кислотный желтый светопрочный, ланазоль оранжевый Г, родамин С, кислотный ярко-голубой 3, трипафлавин, конго красный, метиловый оранжевый, кислотный зеленый антрахиноновый Н2С и др. (по прошествии 10 сут эти красители обесцветились менее чем наполовину).

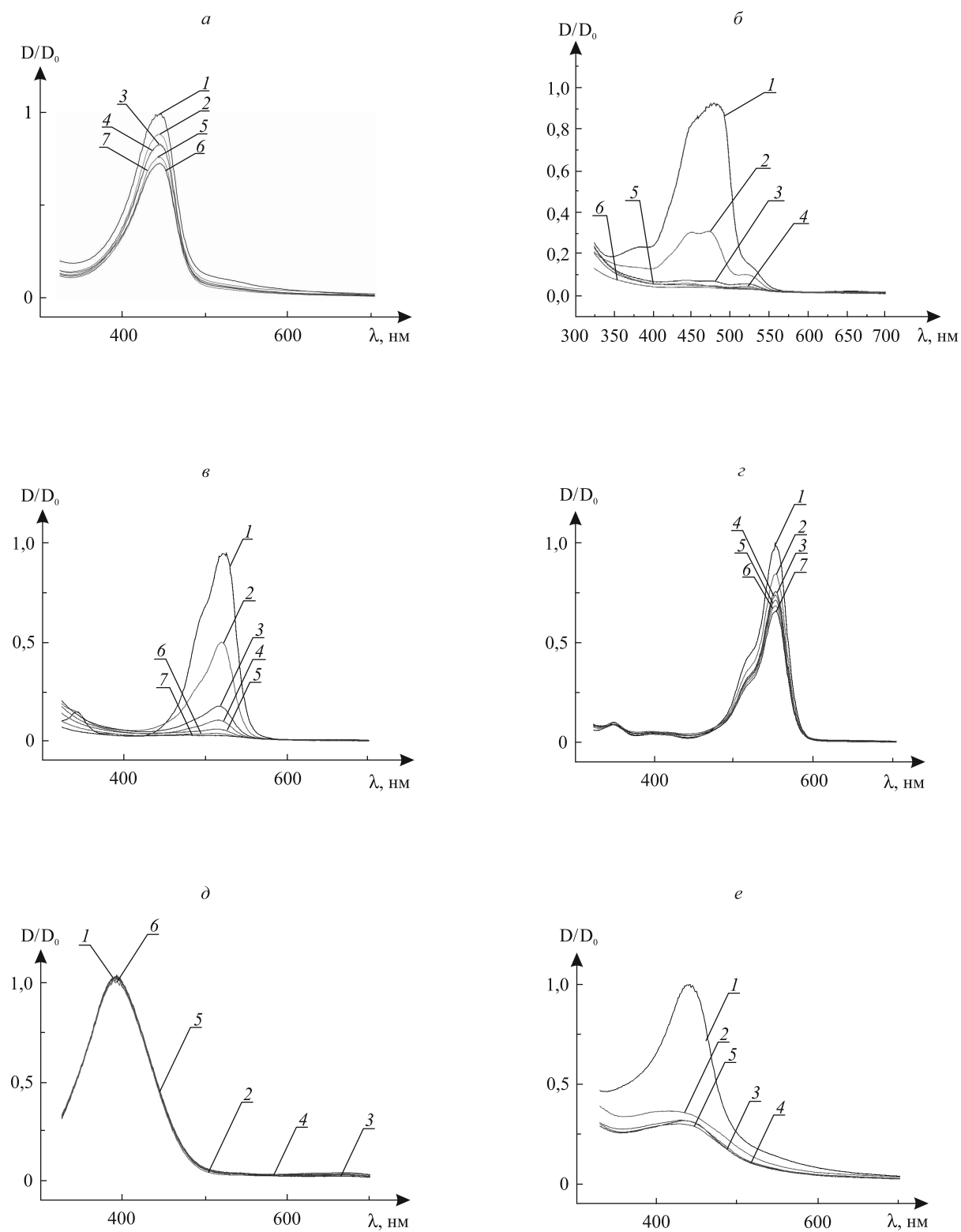


Рис. 1. Зависимость спектра поглощения раствора трипафлавина (а), флуоресцеина (б), родамина 6Ж (в), родамина С (г), кислотного желтого светопрочного (д), акридинового желтого (е) в воде с добавлением  $H_2O_2$  от времени хранения: 30 мин (1), 4 сут (2), 11 (3), 14 (4), 18 (5), 21 (6), 25 сут (7)

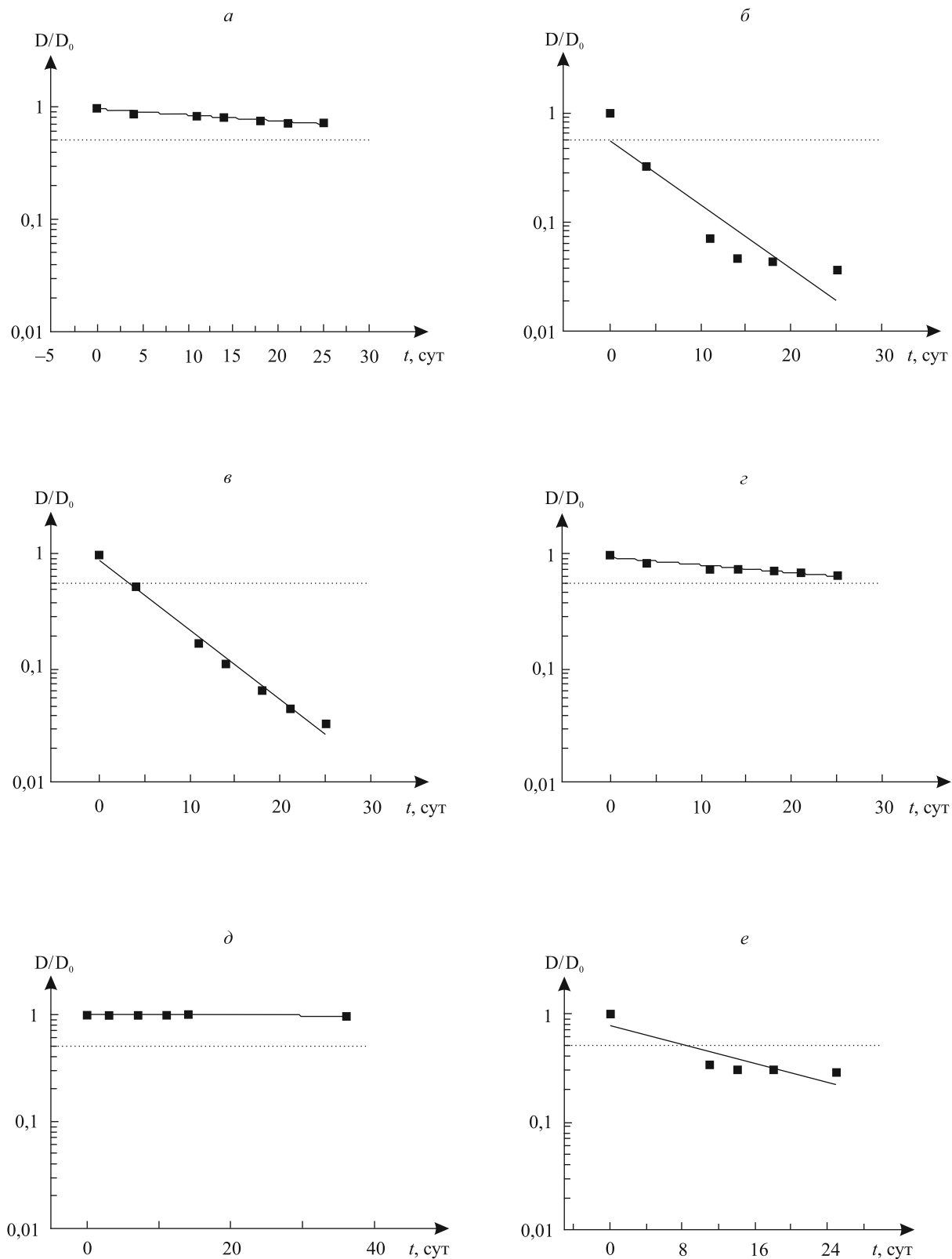


Рис. 2. Зависимость нормированной интенсивности поглощения в максимуме длинноволновой полосы раствора трипфлавина (а), флуоресцеина (б), родамина бЖ (в), родамина С (г), кислотного желтого светопрочного (д), акридинового желтого (е) в воде с добавлением  $H_2O_2$  от времени хранения раствора

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паркер С. Фотолюминесценция растворов. М., 1972.
  2. Степанов Б. И. Введение в химию и технологию органических красителей. М., 1977.
  3. 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, 2002. С. 275–286.
  4. Попечиц В. И. Влияние гамма-облучения на спектры поглощения растворов кислотных красителей // Журн. прикл. спектроскопии. 2003. Т. 70, № 1. С. 34–37.
  5. Попечиц В. И. Детекторы радиационной дозы на основе многокомпонентных растворов красителей // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 7-й Междунар. конф. (Минск, 26–28 сент. 2007 г.). Минск, 2007. С. 392–394.
  6. Попечиц В. И. Визуализаторы ионизирующего излучения на основе многокомпонентных растворов красителей // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 29–30 нояб. 2012 г.). Минск, 2012. С. 128–133.
  7. Попечиц В. И. Спектрально-люминесцентные характеристики гамма-облученных растворов трикарбоцианиновых красителей // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2002. № 3. С. 33–37.
  8. Попечиц В. И. Дозиметры ионизирующих излучений на основе многокомпонентных растворов органических красителей и пигментов // Приборостроение – 2010 : материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 10–12 нояб. 2010 г.). Минск, 2010. С. 111, 112.
  9. Попечиц В. И. Влияние гамма-излучения на твердые и жидкие растворы ксантовых красителей // Актуальные проблемы физики твердого тела : сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 18–21 окт. 2011 г.) : в 3 т. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по материаловедению. Минск, 2011. Т. 3. С. 200–202.
- Поступила в редакцию 01.10.2014.

**Владимир Иванович Попечиц** – доктор физико-математических наук, доцент, ученый секретарь НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ.

УДК 543.423

*Я. И. ДИДКОВСКИЙ, М. Н. КОВАЛЕНКО, А. А. МИНЬКО, М. Р. ПОСЛЕДОВИЧ*

### МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АТОМНО-ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР С ИСКРОВОМ ИСТОЧНИКОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СПЕКТРА

Описано устройство и характеристики атомно-эмиссионного спектрометра со встроенным источником возбуждения спектра. Прибор имеет расширенный на вакуумную ультрафиолетовую (ВУФ) область спектральный диапазон, что позволяет идентифицировать такие химические элементы, как S, P и C, в чугунах и сталях. Система возбуждения спектра состоит из разрядной камеры-столика (штатива) и генератора CLR-разряда. Штатив продувается аргоном для предотвращения окислительных явлений и пропускания УФ-излучения, поглощаемого кислородом. Генератор конденсированной искры построен по «сложной» схеме, при которой происходит предварительный пробой разрядного промежутка. Использование многоканальных фотоприемных устройств в системе регистрации спектрометра позволяет детектировать одновременно широкий спектральный диапазон (160–410 нм) с высоким пространственным (0,02 нм) и временным (0,005 с) разрешением.

**Ключевые слова:** атомно-эмиссионный спектрометр; источник возбуждения спектра; вогнутая голографическая решетка; вакуумная ультрафиолетовая область спектра.

The design and characteristics of the optical emission spectrometer with the built-in spectrum excitation source are described. The instrument has extended to vacuum ultraviolet (VUV) spectral range, this allows to identify chemical elements such as S, P and C in cast iron and steel. The spectrum excitation system is composed of the sample (spark) stand and the CLR-discharge circuit. The spark stand is purged with argon to prevent oxidation effects and to allow transmission of UV wavelengths absorbed by oxygen. The condensed spark source is built on a complex scheme wherein a preliminary gap breakdown occurs. Usage of optical multichannel analyzers in detecting system of the spectrometer allows to record simultaneously wide spectral range (160–410 nm) with high spatial (0,02 nm) and time (0,005 s) resolution.

**Key words:** optical emission spectrometer; spectrum excitation source; concave holographic grating; vacuum ultraviolet range.

Аналитический контроль поступающего на производство металлургического сырья и комплектующих (входной контроль), а также проверка готовых изделий (выходной контроль) являются основными мерами, направленными на соответствие продукции всем нормам и требованиям по качеству. Важнейший метод контроля качества металлургической продукции – атомно-эмиссионный спектральный анализ. Развитие метода и успешная реализация его потенциальных возможностей основываются на создании новых атомно-эмиссионных приборов с современной базой оптоэлектроники [1]. Сегодня они являются наиболее распространенными и востребованными аналитическими приборами как в нашей стране, так и в мире.

В лаборатории спектроскопических систем кафедры физической оптики БГУ нами создан экспериментальный образец атомно-эмиссионного спектрометра (АЭС) с искровым источником возбуждения спектра (ИВС). Данный спектрометр, работающий в расширенном спектральном диапазоне, включающем вакуумную ультрафиолетовую (ВУФ) область, предназначен для качественного и количественного