

УДК 678(075)

Н. И. Ли, Е. И. Иванайская, Ю. Д. Сидоров

ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РАДИОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКЕ К ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Ключевые слова: радиографическая пленка, фильтровые красители, плотность фона.

Показано, что защитные слои, содержащие фильтровые красители (жёлтый E102, бриллиантовый синий C и чёрный E131) позволяют снизить влияние фоновых засветок; это повысит достоверность, надёжность и качество радиографического контроля, особенно в условиях полевых лабораторий, когда трудно соблюдать светотехнический режим.

Keywords: x-ray film, filter dyes, background density.

It is shown that the protective layers containing filter dyes (yellow E102, diamond blue C and black E131) allow to reduce influence of background flares; it will increase reliability, reliability and quality of radio graphic control, especially in the conditions of field laboratories when it is difficult to observe a lighting mode.

Введение

При использовании радиографического метода контроля промышленных изделий стоит задача получения достоверной информации о качестве проверяемого изделия. На качество, достоверность и надёжность радиографического контроля в значительной степени влияют условия освещения при химико-фотографической обработке радиографической плёнки.

Фоновая засветка от неактиничного и актиничного освещения приводит к потере контрастности радиографического изображения, сформированного под действием ионизирующего излучения и, как следствие, к снижению качества и достоверности радиографического контроля [1]. Защита от фонового света в видимой области спектра может быть осуществлена следующими способами:

- накаткой на поверхность плёнки непрозрачных полимерных лент, которые снимаются перед или в процессе химико-фотографической обработки. Использование этого способа позволяет осуществлять экспонирование радиографической плёнки без кассет. Недостатком такого способа является необходимость удаления защитных полимерных лент и их последующая утилизация;

- нанесением поверх защитного слоя специальных слоёв, содержащих непрозрачные слои с сажей, неорганическими пигментами или непрозрачными органическими красителями. Такие слои удаляются в процессе химико-фотографической обработки. Недостатком такого способа является необходимость осуществлять постоянную фильтрацию обрабатываемых растворов, для исключения накопления сажи или пигментов;

- введением в состав защитного слоя или нанесением поверх защитного слоя специальных слоёв, содержащих индикаторные красители, которые обесцвечиваются кислотой, выделяющейся

в процессе обработки. Этот способ позволяет эффективно защитить эмульсионные слои от засветки, однако требует достаточно высоких концентраций индикаторных красителей и очень критичен к составу обрабатываемых растворов;

- введением в состав защитного слоя красителей, которые растворяются в процессе химико-фотографической обработки;

- введением в состав защитного слоя дисперсии соосаждённых красителей, зона поглощения которых перекрывает зону чувствительности галогенида серебра. В ряде работ [2, 3] рекомендуется также введение золя йодида серебра. Несмотря на то, что этот способ технологически сложный и достаточно дорогой, его используют некоторые ведущие зарубежные фирмы, выпускающие радиографические материалы;

- введением в состав эмульсионного слоя специальных веществ - десенсибилизаторов, снижающих чувствительность микрокристаллов галогенида серебра к видимой области спектра, но не влияющих на их чувствительность к ионизирующему излучению [3];

- введением в состав защитного слоя фильтрового красителя или композиции фильтровых красителей, поглощающих в зоне собственной чувствительности галогенида серебра менее 500 нм или в более длинноволновой области видимого спектра.

Цель исследований

Целью настоящей работы являлось изыскание путей защиты радиографической плёнки от воздействия актиничного и неактиничного освещения в условиях практической радиографии в процессе зарядки и разрядки кассет, а также химико-фотографической обработки.

Методика эксперимента

Проведены исследования по возможности использования в составе композиции для защитного

слоя радиографической плёнки для технических целей красителей, поглощающих как в области собственной чувствительности галогенида серебра, так и в длинноволновой области спектра.

Исследуемые соединения вводили в виде водного раствора в композицию для защитного слоя непосредственно перед его нанесением. Композиция содержала в качестве пленкообразующих веществ желатин и полиакриламид. Для улучшения равномерности нанесения в композицию вводили дикалиевую соль продукта поликонденсации 1 моля октаглицерида 2-этилгексинилантарной кислоты с 2 молями 2-этилгексинилантарного ангидрида (смачиватель СВ-133) и глицерин в качестве пластификатора.

Спектральную чувствительность радиографической плёнки измеряли на спектросенситометре ИСП-73, спектры поглощения красителей и спектры пропускания светофильтров неактиничного освещения измеряли на спектрофотометре СФ-46.

Оптическую плотность измеряли на денситометре «Helling» по ГОСТ 8.588-2006. Рентгеносенситометрические показатели определяли в соответствии с методикой, изложенной в ОСТ 6-17-54-80.

Экспериментальная часть

На рисунке 1 показаны кривые спектральной чувствительности радиографической плёнки для технических целей и спектры пропускания светофильтров неактиничного освещения № 124 (жёлто-зелёный) и № 107 (тёмно-красный), которые применяются при обработке радиографических материалов.

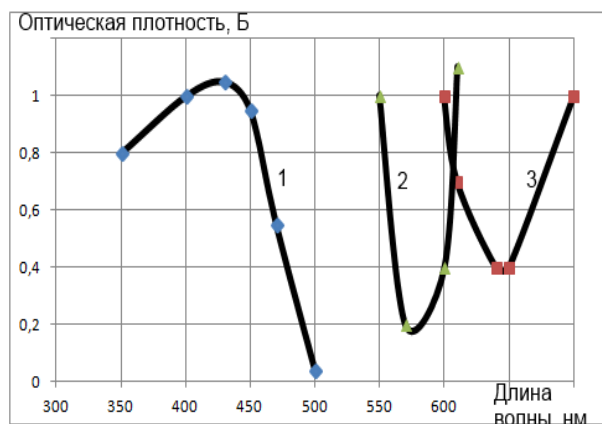


Рис. 1 - Спектральная чувствительность радиографической плёнки для технических целей (1); спектр пропускания светофильтра неактиничного освещения №124 (2); спектр пропускания светофильтра неактиничного освещения № 107 (3)

Из рисунка 1 видно, что спектральная чувствительность радиографической плёнки для технических целей не совпадает с зоной пропускания жёлто-зелёного и тёмно-красного светофильтров неактиничного освещения. Известно, что зона собственного поглощения AgBrI находится

в пределах до 500 нм. Однако в процессе химической сенсibilизации микрокристаллы галогенида серебра приобретают дополнительную светочувствительность к более длинноволновой области спектра. Уровень светочувствительности к длинноволновой области спектра на 3-5 порядков ниже чувствительности в зоне собственного поглощения галогенида серебра [4, 5]. В условиях практической радиографии возможны значительные экспозиции неактиничным светом в процессе зарядки, разрядки кассет и химико-фотографической обработки плёнки. Эти экспозиции накладываются фоном на экспозицию, произведённую ионизирующим излучением и формирующим радиографическое изображение и, как следствие, снижают контрастность снимка и качество радиографического изображения.

На радиографическую плёнку в процессе её эксплуатации могут воздействовать следующие излучения:

- ионизирующее излучение (рентгеновское и гамма-излучение), которое формирует радиографическое изображение и которое несет в себе информацию о контролируемом объекте. По интенсивности оно в наибольшей степени воздействует на микрокристаллы галогенида серебра;

- световое излучение в зоне собственной чувствительности галогенида серебра, которое может быть результатом засветки или неудовлетворительного качества фильтра неактиничного освещения (длительное пребывание плёнки под фонарём, высокая интенсивность неактиничного освещения, малое расстояние между радиографической плёнкой и фильтром, отсутствие рассеивателя в фильтре, трещина в фильтровом слое или несоответствие спектра пропускания фильтра требованиям). Это световое излучение даёт фон, который накладывается на радиографическое изображение, полученное при действии ионизирующего излучения, что приводит к снижению его контрастности и, как следствие, к падению радиографической чувствительности;

- световое излучение в зоне спектра более 500 нм, которое является следствием засвечивания прямым дневным (если кассета неудовлетворительного качества) или электрическим светом в процессе зарядки, разрядки кассет или в процессе химико-фотографической обработки радиографической плёнки;

- достаточно часто на радиографическую плёнку в процессе её хранения действует фоновое ионизирующее излучение, но его действие легко выявляется – ряд фирм в состав упаковки вводят небольшую полоску свинцовой фольги и, если плёнка подверглась действию излучения в процессе хранения, это становится видно сразу после обработки.

Наиболее эффективным путём снижения чувствительности радиографической плёнки к неактиничному свету (до 500 нм) и к более длинноволновой области видимого спектра, по нашему мнению, является введение в состав

защитного слоя фильтрового красителя или композиции красителей, поглощающих в этих зонах, и за счёт этого поглощения создающих фильтровый эффект. Использование этого способа не требует значительного изменения технологии изготовления, но может оказывать влияние на основные показатели назначения радиографической плёнки (чувствительность, средний градиент и оптическую плотность вуали).

В экспериментах использовали следующие красители: жёлтый E102 (ГОСТ 6477-88), бриллиантовый синий С (ГОСТ Р 52481-2005) и чёрный E131 (ГОСТ 7536-80). На рисунке 2 приведены спектры поглощения этих красителей.

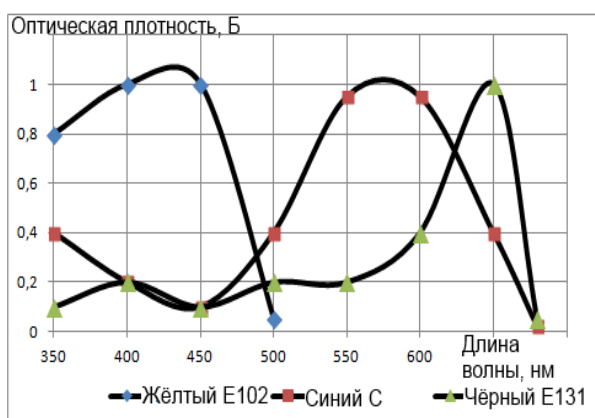


Рис. 2 – Спектры поглощения исследуемых красителей: жёлтый E102, бриллиантовый синий С и чёрный E131

Анализ кривых поглощения красителей, приведённых на рисунке 2, и сопоставление кривых данного рисунка с кривыми рисунка 1, позволяет сделать вывод, что краситель жёлтый E102 поглощает свет в синей области спектра, и его спектр поглощения перекрывает зону собственной чувствительности галогенида серебра. Этот краситель теоретически можно использовать для защиты радиографической плёнки от несанкционированных засветок в процессе зарядки, разрядки и химико-фотографической обработки пленки.

Другие два красителя (бриллиантовый синий С и чёрный E131) достаточно хорошо поглощают свет в жёлто-зелёной и красной областях спектра, и эти красители целесообразно применять для защиты радиографической плёнки от неактиничного света, который излучается фонарём с защитным светофильтром № 124 или №107.

Введение одного фильтрового красителя или композиции красителей в состав защитного слоя может оказывать влияние не только на поглощение света радиографическим материалом, но и на его радиационную чувствительность и средний градиент. В процессе нанесения, студения, сушки защитного слоя и химико-фотографической обработки пленки краситель может диффундировать в состав эмульсионного слоя, адсорбироваться на поверхности микрокристаллов галогенида серебра и оказывать влияние на процесс формирования скрытого

радиографического изображения. Наибольшее влияние он может оказывать при экспонировании гамма-излучением, когда, как показали ранние эксперименты, скрытое изображение формируется преимущественно на поверхности микрокристаллов галогенида серебра (как и в случае действия света) [4].

Толщина защитного слоя отечественных радиографических плёнок не превышает 2 мкм, а предварительные эксперименты показали, что для того, чтобы оказать ощутимое действие на поглощение света необходимо введение фильтровых красителей в интервале концентраций, обеспечивающих при такой толщине оптическую плотность в максимуме поглощения не менее 0,8 – 1,2 Б.

На рисунке 3 показана зависимость оптической плотности защитных модельных слоёв от концентрации исследуемых красителей.

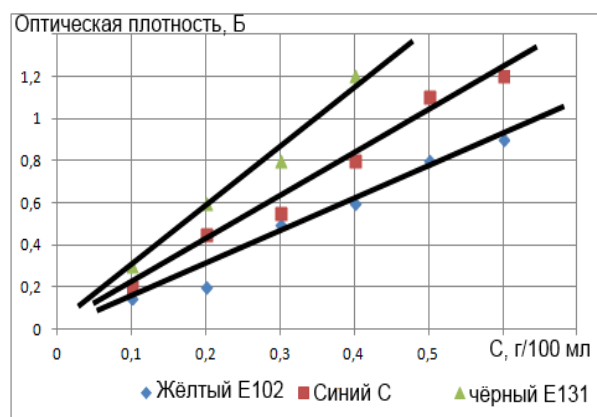


Рис. 3 – Зависимость оптической плотности защитных модельных слоёв, изготовленных с использованием исследуемых красителей

Данные рисунка 3 показывают, что в исследуемом интервале концентраций красителей наблюдается линейная зависимость плотности от концентрации, что полностью соответствует закону Бугера–Ламберта–Бера и свидетельствует о том, что в процессе формирования слоя, сопровождающегося его студением и сушкой, указанные красители не выпадают в осадок.

Для дальнейших экспериментов использовались концентрации красителей, обеспечивающих значения оптических плотностей в интервале $0,8 \pm 0,1$ Б.

На качество радиографического контроля может оказывать влияние плотность фона, создаваемого остаточным красителем, если он не удалится или не обесцветился в процессе химико-фотографической обработки пленки. Краситель, поглощающий коротковолновую область спектра, может накладываться на плотность фона основы и способствовать повышению визуального контраста изображения. Остаточные красители, поглощающие длинноволновую область спектра, будут мешать выявляемости мелких деталей изображения и поэтому их наличие недопустимо [1].

На рисунке 4 приведены значения оптических плотностей фона, формируемого исследуемыми красителями до химико-фотографической обработки и после неё.

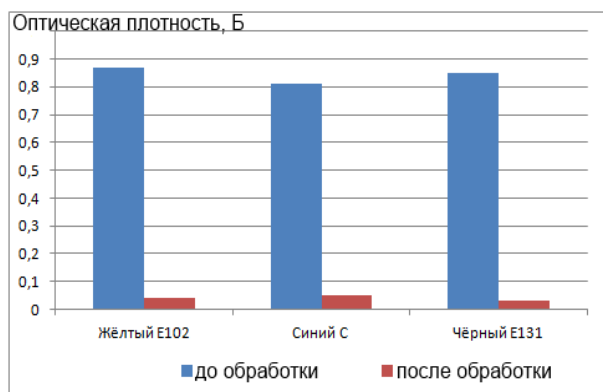


Рис. 4 – Оптические плотности фона образцов радиографической плёнки с исследуемыми красителями в защитном слое до и после химико-фотографической обработки

Как видно из рисунка 4 практически все красители вымываются или обесцвечиваются в процессе химико-фотографической обработки и не создают в выбранном интервале концентраций остаточного фона, который может влиять на выявляемость дефектов в практической радиографии.

На основе проведённых экспериментов были изготовлены лабораторные образцы радиографической плёнки с использованием исследуемых фильтровых красителей. Эти красители вводили в композицию для защитного слоя, которая содержала желатин, полиакриламид, дисперсию полиметилметакрилата, бисвинилсульфонилметан, хромокалиевые квасцы и дикалиевую соль продукта поликонденсации 1 моля октаглицерида 2-этилгексинилантарной кислоты с 2 молями 2-этилгексинилантарного ангидрида (смачиватель СВ-133). Контрольный образец не содержал фильтровых красителей. В остальные образцы вводили исследуемые красители в следующих количествах: жёлтый E102 – 0,3 г/100 мл, бриллиантовый синий С – 0,4 г/100 мл и чёрный E131 – 0,5 г/100 мл. После введения фильтровых красителей композицию перемешивали и выдерживали в течение 40 минут при температуре 50 °С для удаления воздушных пузырей. Затем данную композицию наносили поверх эмульсионного слоя, содержащего плоские, равномерно распределённые микрокристаллы галогенида серебра, желатин, водный латекс сополимера бутилакрилата, стирола и метакриловой кислоты, резорцин, сорбитол, моноватриевую соль 2,4-дихлор-6-окситриазина-1,3,5 и СВ-133.

В таблице 1 приведены результаты рентгеносенситометрических испытаний лабораторных образцов радиографической плёнки и световых испытаний в условиях неактиничного и актиничного освещения.

Результаты экспериментов показали, что введение фильтровых красителей в исследуемом интервале концентраций в композицию для защитного слоя не оказывает существенного влияния на рентгеносенситометрические показатели радиографической плёнки и, следовательно, не окажет влияние на качество радиографического контроля. Введение красителя жёлтый E102 позволяет снизить чувствительность к неактиничному освещению, но практически не влияет на чувствительность к дневному (актиничному) освещению. Это обусловлено тем, что спектр поглощения этого красителя подобен спектру собственного поглощения микрокристаллов галогенида серебра в этой области.

Таблица 1 – Результаты испытаний лабораторных образцов радиографической плёнки с фильтровыми красителями в защитном слое

Наименование красителя	Рентгеносенситометрические показатели			Оптическая плотность фона, Б	
	Чувствительность $S_{0,85}, P^{-1}$	Средний градиент G	Плотность вуали D_0	Неактиничный свет (свето-фильтр № 107)	Фильтр дневного света, $T=6500\text{ K}$
Контр. образец (без красителей)	5,1	4,5	0,07	2,5	2,9
Жёлтый E102	5,0	4,7	0,08	1,5	2,8
Бриллиантовый синий С	5,2	4,4	0,07	2,31	1,37
Чёрный E131	5,0	4,5	0,09	2,45	1,89
Жёлтый E102 + бриллиантовый синий С	5,1	4,6	0,07	1,4	1,3
Жёлтый E102 + чёрный E131	5,1	4,5	0,08	1,4	1,8
Бриллиантовый синий С + чёрный E131	5,0	4,4	0,09	1,8	1,35

Введение красителя бриллиантовый синий С незначительно снижает чувствительность к неактиничному свету, но более чем в два раза понижает чувствительность к дневному свету.

Краситель чёрный E131 практически не влияет на чувствительность к неактиничному освещению, а по эффективности действия в длинноволновой области спектра уступает бриллиантовому синему С.

Наилучшие результаты показало введение в композицию для защитного слоя сочетания красителей: жёлтый E102 и бриллиантовый синий С, что вероятно обусловлено тем, что это сочетание по поглощению перекрывает как область собственной чувствительности галогенида серебра, так и примесной чувствительности в длинноволновой области спектра.

Выводы

Защитные слои, содержащие исследуемые красители (жёлтый E102, бриллиантовый синий С и чёрный E131) позволяют снизить влияние фоновых засветок от актиничного и неактиничного освещения, что повысит достоверность и надёжность и качество радиографического контроля, особенно в условиях полевых

лабораторий, когда трудно соблюдать светотехнический режим.

Литература

1. Румянцев С.В. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля / С.В. Румянцев, А.С. Штань, В.А. Гольцев, - М.: Энергоиздат, 1982. -240 с.
2. Гурвич А.М. Физические основы радиационного контроля и диагностики / А.М. Гурвич., - М.: Энергоиздат, 1989, -169 с.
3. Джеймс Т. Теория фотографического процесса / под ред. А.М. Картужанского, - Л.: Химия 1980. - 672 с.
4. Ли Н.И. Изучение зависимости фотографических свойств фотоматериала на полимерной подложке от энергии экспонирующего излучения / Н.И., Ли, А.С. Хабибуллин // Вестник Казан. технол. ун-та.- 2011. - №4. -С. 110-113
5. Ли, Н.И. Зависимость оптической плотности радиографического изображения на полимерной подложке от экспозиции рентгеновским и гамма-излучением // Н.И. Ли // Вестник Казан. технол. ун-та.- 2011. - №9. -С. 80-85.

© **Н. И. Ли** – канд. техн. наук, доц. каф. ТППК КНИТУ, ninel@kstu.ru; **Е. И. Иванайская** – магистрант каф. ТППК КНИТУ, angel.91.91@list.ru; **Ю. Д. Сидоров** – канд. техн. наук, ст. препод. каф. ПИМП КНИТУ, sidud@mail.ru.