

Радиографические материалы для технических целей являются самыми серебрёмыми. Это обусловлено тем, что микрокристаллы AgHal слабо поглощают ионизирующее излучение и имеют низкую чувствительность. При изготовлении радиографических пленок с целью повышения контрастности изображения применяют, как правило, двусторонний полив, и нанос серебра составляет 10-21 г/м². Изображение на рентгенограмме получается в натуральную величину, не искажается оптической системой, как в случае традиционной фотографии, и рассматривается в оптимальных для наблюдения условиях, что обеспечивает высокое качество. Увеличение толщины исследуемого объекта требует, с целью снижения времени просвечивания, повышения энергии излучения и/или использования радиографических материалов высокой чувствительности. Оба пути приводят к снижению качества изображения за счет падения контраста и, как следствие, снижению чувствительности радиографического метода контроля. Кроме того с повышением энергии ионизирующего излучения и увеличением его проникающей способности, возрастает зернистость изображения, обусловленная неравномерным пространственным распределением фотонов (квантовая нерезкость). В условиях практической радиографии ставится задача поиска оптимального технического компромисса между дозой излучения, падающей на радиографический материал, и характеристиками информативности радиографического изображения после его визуализации. Одним из эффективных путей снижения времени экспонирования является применение усиливающих экранов из металлов. Необходимо отметить, что металлические усиливающие экраны не только снижают время экспонирования ионизирующим излучением, но также способствуют повышению качества изображения за счет поглощения рассеянного излучения, которое, как правило, имеет более низкую энергию [1]. Усиливающие экраны, применяемые в промышленной радиографии, изготавливаются из металлов с высоким атомным номером; однако в последние годы находят достаточно широкое применение также усиливающие экраны из олова, железа и меди [2, 3]. В данной работе проводили исследования по определению эффективности действия усиливающих экранов разной толщины на эмульсионные слои радиографических фотоматериалов на полимерной подложке с различными средними размерами микрокристаллов AgHal в зависимости от энергии ионизирующего излучения. Основной трудностью объективной оценки влияния энергии экспонирующего излучения является устранение изменения его спектрального состава при прохождении через модулятор экспозиции, в качестве которого, как правило, используют ступенчатый клин из металлов. При испытании обычных фотопленок, экспонируемых светом, дозирование освещенности на испытуемом фотоматериале по заданному закону, принятому в конкретной сенситометрической системе, чаще всего осуществляют с помощью

фотометрического клина. В большинстве современных сенситометров экспозицию изменяют, меняя освещенность светочувствительного слоя; выдержка при этом остается постоянной в пределах, типичных для фотографической практики. В этом случае говорят, что экспонирование осуществляют по «шкале освещенностей». Для модуляции ионизирующего излучения этот способ неприемлем, так как известно, что при прохождении потока ионизирующего излучения через вещество меняется его спектральный состав, и это изменение тем значительнее, чем больше толщина. Поэтому, если мы в качестве модулятора экспозиции при рентгеносенситометрическом испытании используем ступенчатый клин, например, из металла, то за каждой ступенью клина на фотоматериал будет падать излучение различного спектрального состава. Чем больше толщина ступени, тем более «жесткая» эффективная энергия фотонного излучения будет достигать поверхность радиографического материала. При одном и том же напряжении доза рентгеновского излучения прямо пропорциональна интенсивности излучения и выдержке (времени экспонирования). Изменения дозы могут происходить как за счет одной, так и за счет другой величины. Модуляцию рентгеновского излучения необходимо осуществлять по «шкале времени», то есть создать условия, в которых на все поля испытываемого радиографического материала действовало рентгеновское излучение одной и той же интенсивности, но в течение разного времени. Установка для проведения испытаний включала в себя следующие основные части: источник излучения; модулятор экспозиции; кассетную часть; дозиметр (прибор для контроля дозы облучения на определенном поле рентгенограммы). Схема установки приведена на рис.1. Рис 1 – Схема установки для исследования эффективности действия усиливающих экранов на эмульсионные слои с различными средними размерами микрокристаллов AgHal в зависимости от энергии ионизирующего излучения. В качестве источника излучения использовался кабельный рентгеновский аппарат 1, трубка которого (2) помещалась в защитный кожух 3 с тубусом 5 из листового свинца. Со стороны анода трубки, на пути рентгеновского излучения, генерируемого трубкой, помещался фильтр 4 (4,5 мм алюминия). В большинстве рентгеновских аппаратов излучение генерируется отдельными импульсами. Для снижения пульсации постоянного напряжения и во избежание появления стробоскопического эффекта параллельно рентгеновской трубке подключался высоковольтный масляный конденсатор. Поток рентгеновского излучения 6 проходил через рентгеновский коллиматор 7 и попадал на модулятор экспозиции 8, выполненный из свинца толщиной 50 мм с концентрическими коническими вырезами различных угловых размеров, причем угловой размер убывал от центра пластины к краям. Концентрические конические вырезы имели угловые размеры, изменяющиеся в геометрической прогрессии со знаменателем $\sqrt[4]{2}$. Каждый последующий вырез меньше предыдущего в $\sqrt[4]{2}$ раза. За этим

модулятором экспозиции помещалась светонепроницаемая кассета 12, изготовленная из гетинакса и посаженная на вал электродвигателя постоянного тока 13, блок питания которого (14) обеспечивал вращение кассеты с постоянной скоростью. Контроль дозы облучения осуществлялся воздушной ионизационной камерой УДГРИ (15). Радиографический материал помещался в светонепроницаемую кассету и закреплялся на оси электродвигателя постоянного тока. В целях исключения искажений, обусловленных динамической нерезкостью, кассету вращали очень медленно, то есть экспонировали с большой выдержкой (обычно 50 – 100 с), тогда как при практической съемке время экспонирования может значительно отличаться в ту или иную сторону. Кассетная часть предназначена для крепления и вращения испытываемых образцов радиографических материалов и усиливающих экранов перед вырезами модулятора экспозиции. Вращающаяся кассета в рабочем положении максимально приближена к плоскости модулятора экспозиции; ось вращения кассеты совпадала с осью выреза модулятора экспозиции. Практически модулятор экспозиции и кассетная часть представляли единый узел, обеспечивающий надежную защиту радиографического материала от рассеянного излучения. Толщина защиты из свинца составляла 15 мм (на схеме не показана). После химико-фотографической обработки на радиографическом материале появляется ряд колец, оптические плотности которых постепенно уменьшаются от центра к краю. Для избежания ошибок при измерении оптических плотностей пятое и шестое поле модулятора экспозиции были разделены дополнительной металлической перегородкой из металла с большей поглощающей способностью рентгеновского излучения (вольфрам), дающей на пленке узкое прозрачное кольцо. Модулятор экспозиции, кассетная часть и источник излучения соединены с помощью рамы, которая обеспечивала, при необходимости, также ручное перемещение рентгеновской трубки вместе с защитным кожухом и тубусом вдоль оси модулятора экспозиции. Расстояние от анода рентгеновской трубки до радиографической плёнки в кассете (фокусное расстояние) изменялось в пределах от 350 до 1500 мм. Время экспозиции за один оборот кассеты, соответствующее ее n -ому вырезу модулятора, составляло:

$$t_n = \frac{\alpha_n}{\omega},$$

где t_n – время облучения образца пленки за n -ым вырезом модулятора; α_n – угол n -го выреза модулятора экспозиции; ω – угловая скорость вращения кассеты. Так как, при постоянной угловой скорости кассеты выполнялось требование:

$$\frac{\alpha_{n+1}}{t_{n+1}} = \frac{\alpha_n}{t_n},$$

где α_{n+1} – угол $(n+1)$ -го образца модулятора экспозиции; t_{n+1} – время облучения образца за $(n+1)$ -ым вырезом модулятора; H_n, H_{n+1} – дозы облучения, полученные образцом испытываемой радиографической пленки за соответствующими вырезами модулятора экспозиции. Дозу облучения радиографического материала после модуляции излучения измеряли на 15-м поле сенситограммы дозиметром УДГРИ, представляющим собой воздушную ионизационную камеру. Ввиду того, что каждое последующее поле

экспонировалось за сектором, отличающейся в раз, дозы на других полях легко вычисляются, и построение зависимости оптической плотности от экспозиции не вызывает трудностей. Фотографическое действие ионизирующего излучения обусловлено не самим электромагнитным излучением, а электронами, возникающими при его поглощении, причем доля последних уменьшается с увеличением энергии излучения [1]. Кроме того, заметная доля электронов выделяется в конце его пробега, и относительная экспозиция не уменьшается экспоненциально по глубине эмульсионного слоя, как в случае света, а обрывается на расстоянии, равном эффективному пробегу электронов [4]. Поэтому количество проявленных микрокристаллов растет с увеличением энергии излучения до тех пор, пока длина пробега электронов не сравняется с толщиной эмульсионного слоя. Этому случаю должно соответствовать максимальное фотографическое действие излучения. На основании вышесказанного можно предположить, что в зависимости от длины пробега электронов (а, следовательно, и энергии излучения) каждому среднему размеру микрокристаллов AgHal соответствует определенная толщина усиливающего экрана. Для проверки этого предположения строили кривые зависимости отношения оптической плотности изображения, полученной с экраном ($D_{\text{э}}$), к плотности почернения, полученной при экспонировании без экрана ($D_{\text{бэ}}$), от энергии ионизирующего излучения при одинаковом времени экспонирования (рис. 2): , где $D_{\text{э}}$ – оптическая плотность, полученная с усиливающим экраном; $D_{\text{бэ}}$ – оптическая плотность, полученная при экспонировании без усиливающего экрана; E – энергия ионизирующего излучения (напряжение на рентгеновской трубке). Если отношение $D_{\text{э}}/D_{\text{бэ}} > 1,0$, то экран усиливает фотографическое действие ионизирующего излучения, и эффективность его действия тем выше, чем больше это отношение. Если отношение $D_{\text{э}}/D_{\text{бэ}} \leq 1,0$, то поглощение излучения в экране равно или преобладает над его усиливающим действием, и использование экрана нецелесообразно, так как приводит к увеличению времени экспонирования. Рис. 2 – Зависимость отношения оптической плотности изображения, полученной при экспонировании с усиливающим экраном из свинцовой фольги ($D_{\text{э}}$) к оптической плотности изображения при экспонировании без усиливающего экрана ($D_{\text{бэ}}$) от энергии ионизирующего излучения: 1 – радиографический фотоматериал со средним размером микрокристаллов AgHal 1,49 мкм (толщина экрана 0,023 мм); 2 – радиографический фотоматериал со средним размером микрокристаллов AgHal 1,49 мкм (толщина экрана 0,10 мм); 3 радиографический фотоматериал со средним размером микрокристаллов AgHal 0,54 мкм (толщина экрана 0,023 мм); 4 радиографический фотоматериал со средним размером микрокристаллов AgHal 0,54 мкм (толщина экрана 0,10 мм) Анализ зависимости оптической плотности изображения, полученной при экспонировании с экраном из свинцовой фольги различной толщины, от энергии ионизирующего излучения

для эмульсионных слоев со средним размером микрокристаллов 1,49 и 0,54 мкм показывает, что применение свинцовой фольги в качестве усиливающего экрана эффективно при энергии ионизирующего излучения, соответствующей напряжению на рентгеновской трубке выше 90-100кВ. Для переднего экрана возможно преобладание поглощения над его усиливающим действием. Изменение толщины усиливающего экрана, его химического состава или энергии ионизирующего излучения приводит к изменению коэффициента усиления, характеризующего преобразование энергии экспонирующего излучения в кинетическую энергию вторичных электронов, оказывающих фотографическое действие на эмульсионный слой. Результаты показали, что при напряжении на рентгеновской трубке менее 80 - 90 кВ (энергия около 35 кэВ) использование экранов нецелесообразно, особенно для мелкозернистых ($x = 0,54$ мкм) фотоматериалов, так как экраны ослабляют фотографическое действие излучения вследствие поглощения, а электроны, выбиваемые при поглощении, используются неэффективно и имеют, вероятно, длину пробега, сравнимую по величине с толщиной защитного слоя фотоматериала. С повышением энергии излучения увеличивается длина пробега электронов, и они начинают оказывать фотографическое действие; причем это действие определяется как толщиной усиливающего экрана, так и средним размером микрокристаллов AgHal. Выводы Показано, что повышение чувствительности радиографического фотоматериала при экспонировании с усиливающими экранами определяется средним размером микрокристаллов AgHal. Каждому среднему размеру при определенной энергии ионизирующего излучения соответствует оптимальная толщина усиливающего экрана, которая, вероятно, зависит от длины пробега электронов, образующихся при поглощении излучения.