

Поглощение ионизирующего излучения определяют, в основном, два фактора: химический состав материала и его толщина [1]. В зависимости от энергии падающего излучения эти два фактора будут определять действие усиливающего экрана на фотографические свойства радиографического материала на полимерной основе. При этом протекают два конкурирующих, с точки зрения влияния на эмульсионный слой, процесса: поглощение (и рассеяние) в самом экране - за счет чего происходит уменьшение интенсивности излучения, падающего на эмульсионный слой, и эмиттирование электронов при поглощении. Формирование скрытого изображения при действии ионизирующего излучения (рентгеновского или гамма-излучения) происходит за счёт электронов, образующихся при поглощении этих излучений [2, 3].

Образование электронов, оказывающих фотографическое действие, может происходить как в самом эмульсионном слое, так и вне слоя - в усиливающем экране. В практической промышленной радиографии в качестве усиливающего экрана часто применяется свинцовая фольга, которая находится в контакте с эмульсионными слоями. Длина пробега электронов, выделяющихся при поглощении излучения, определяется энергией источника излучения. Известно [4], что при экспонировании ионизирующим излучением с энергией 75 кэВ длина пробега электрона в эмульсионном слое, содержащем равное по весу количество AgHal и желатина, составляет 30 мкм. С увеличением энергии излучения длина пробега электрона увеличивается. В условиях практической радиографии энергия ионизирующего излучения может превышать 1 - 10 МэВ. В этом случае образующиеся электроны могут пересечь эмульсионный слой, основу и оказать фотографическое действие на другой эмульсионный слой, как это показано в работе [2].

Поскольку усиливающие экраны помещаются с двух сторон радиографического материала, то фотографическое действие этих экранов, точнее электронов, эмиттируемых при поглощении ионизирующего излучения, может накладываться. Зависимость между энергией и направлением движения рассеянных электронов и электронов отдачи, выделяющихся при поглощении излучения, демонстрируется диаграммой Дебая, из которой видно, что фотоны могут рассеиваться во всех направлениях, а электроны только вперёд [1].

Для изучения влияния усиливающих экранов на свойства радиографических фотоматериалов при экспонировании ионизирующими излучениями (рентгеновским или гамма-излучением) проводили эксперименты, предусматривающие дифференциацию действия ионизирующего излучения, поглощенного в экранах, электронов, эмиттированных из экранов при поглощении ионизирующего излучения, поглощённого непосредственно в эмульсионных слоях, и обратного рассеянного излучения. Установка для проведения экспериментов включала в себя источник ионизирующего излучения, фильтр из алюминия толщиной 4,5 мм для устранения длинноволновых компонент неоднородного излучения, рентгеновский

коллиматор для ограничения ширины пучка ионизирующего излучения, модулятора экспозиции для градации интенсивности излучения, падающего на радиографический материал с усиливающими экранами и представляющего собой ступенчатый клин из алюминиевого сплава, светонепроницаемую кассету, в которую помещались испытываемые радиографические материалы и усиливающие экраны. Конструкция кассеты обеспечивала плотный контакт эмульсионных слоёв радиографического материала с поверхностью усиливающих экранов для избежания потерь электронов, эмиттированных из экранов и, как следствие, уменьшения оптической плотности изображения. Доза облучения, падающая на испытываемые образцы, контролировалась дозиметром ДРГ-04 с рентгеносцинтилляционным датчиком. Схема эксперимента по изучению влияния усиливающих экранов на фотографические свойства радиографических фотоматериалов при экспонировании ионизирующими излучениями приведена на рис. 1. Рис. 1 - Схема эксперимента по изучению особенностей формирования радиографического изображения: 1 - источник ионизирующего излучения; 2 - фильтр; 3 - коллиматор; 4 - поток ионизирующего излучения; 5 - модулятор экспозиции (ступенчатый клин из алюминия); 6 - передний усиливающий экран; 7 - задний усиливающий экран; 8 - кассета; 9 - радиографический фотоматериал; 10 - передний усиливающий экран, находящийся в контакте с эмульсионным слоем; 11 - задний усиливающий экран, находящийся в контакте с эмульсионным слоем; 12 - рентгеносцинтилляционный датчик; 13 - дозиметр ДРГ-04

Экспонирование эмульсионных слоёв осуществляли непосредственно ионизирующим излучением (в этом случае усиливающие экраны выносились за пределы кассеты) и тем же излучением, но в контакте с усиливающими экранами. В зависимости от энергии излучения, материала и толщины усиливающего экрана может изменяться как интенсивность излучения, так и длина пробега электронов, а, следовательно, и соотношение между вкладом этих процессов в построение радиографического изображения. Соотношение между этими процессами можно характеризовать численно разностью оптических плотностей: $\Delta = D_э - D_бэ$; ($H = \text{const}$), где Δ - разность оптических плотностей; $D_э$ - оптическая плотность эмульсионного слоя, экспонированного в контакте с усиливающим экраном; $D_бэ$ - оптическая плотность эмульсионного слоя, экспонированного с усиливающим экраном, вынесенным за пределы кассеты; H - доза облучения. Величина Δ , равная разнице оптических плотностей, характеризует вклад вторичных электронов, эмиттированных из экрана, в построение изображения и показывает прирост оптической плотности за счет электронов, образующихся вне эмульсионного слоя и оказывающих фотографическое действие на эмульсионный слой. На рис. 2 представлена зависимость $\Delta = D_э - D_бэ$ от энергии ионизирующего излучения. Рис. 2 - Зависимость фотографического действия усиливающего экрана ($D_э - D_бэ$) от энергии ионизирующего излучения: 1 - усиливающие экраны из свинцовой

фольги; 2- усиливающие экраны из медной фольги. В экспериментах использовали усиливающие экраны из свинцовой фольги толщиной 0,023 мм и медной фольги толщиной 0,029 мм. Результаты показали, что в пределах исследуемого интервала энергий величина Δ возрастает с увеличением энергии экспонирующего излучения. Это свидетельствует о том, что роль электронов, эмиттированных из усиливающего экрана, в построении радиографического изображения увеличивается с ростом энергии ионизирующего излучения. У свинцового экрана это возрастание наблюдается в большей степени, чем у медного, что свидетельствует о том, что вклад электронов, эмиттированных из усиливающего экрана, в построение радиографического изображения увеличивается с ростом атомного номера элемента и линейного коэффициента ослабления. В том случае, когда величина $\Delta \leq 0$, электроны, выбиваемые из усиливающего экрана при поглощении ионизирующего излучения, в построении радиографического изображения не участвуют. Необходимо отметить, что металлические усиливающие экраны выполняют функцию не только «усилителя» действия излучения, но также способствуют повышению качества изображения за счет поглощения рассеянного излучения, которое, как правило, имеет более низкую энергию [5]. Усиливающие экраны изготавливаются обычно из металлов с высоким атомным номером, однако в последние годы находят достаточно широкое применение также усиливающие экраны из олова, железа и меди [1]. В данной работе исследовали эффективность действия усиливающих экранов разной толщины и из разных металлов на эмульсионные слои с различными средними размерами микрокристаллов AgHal в зависимости от энергии ионизирующего излучения. Фотографическое действие экранов можно характеризовать коэффициентом усиления, определяемым отношением времени экспонирования без экрана ко времени экспонирования с усиливающими экранами (при прочих равных условиях): $K = \frac{t_{\text{без экрана}}}{t_{\text{с экраном}}}$ ($D = \text{const}$), где K – коэффициент усиления; $t_{\text{без экрана}}$ – время экспонирования без усиливающего экрана; $t_{\text{с экраном}}$ – время экспонирования с экраном. Эксперименты проводили на образцах радиографических фотоматериалов со средним размером микрокристаллов AgHal 0,54 и 1,49 мкм. При экспонировании их помещали в кассету между усиливающими экранами. В качестве источника излучения использовали рентгеновский аппарат с напряжением на трубке 150 кВ. Рис. 3 - Зависимость коэффициента усиления от толщины переднего и заднего усиливающих экранов и материала экрана: 1 усиливающий экран из свинцовой фольги расположен перед плёнкой; 2 – усиливающий экран из свинцовой фольги расположен за плёнкой; 3 - усиливающий экран из медной фольги расположен перед плёнкой; 4 - усиливающий экран из медной фольги расположен за плёнкой. Результаты экспериментов (рис. 3) показали, что при увеличении толщины переднего усиливающего экрана коэффициент усиления возрастает и, пройдя через максимум, уменьшается, вероятно, вследствие того, что сказывается

поглощение излучения в самом экране. Для заднего экрана с увеличением толщины также возрастает коэффициент усиления, однако, в меньшей степени, чем для переднего экрана. Достигнув определенного значения, коэффициент усиления в дальнейшем не изменяется, вероятно, вследствие того, что при этой толщине достигается предельное значение интенсивности рассеянного излучения, действующего в направлении эмульсионного слоя, величина которого определяется значением энергии экспонирующего излучения. Аналогичное изменение коэффициента усиления с увеличением толщины усиливающего экрана при экспонировании рентгеновским излучением наблюдалось и при использовании экранов из меди, где коэффициент усиления был ниже, однако интервал толщины, в котором экран имеет максимальное значение, значительно больше. Если для усиливающего экрана из свинца максимальные значения коэффициента усиления находятся в интервале толщины 0,5 – 0,8 мм, то для экрана из меди интервал, в котором коэффициент усиления имеет максимальные значения, составляет 0,6 – 0,9 мм. На рис. 4 приведены кривые зависимости оптической плотности изображения от экспозиции при экспонировании рентгеновским излучением с напряжением на трубке 150 кВ. Кривые 1, 3 соответствуют экспонированию без усиливающего экрана для радиографических пленок со средним размером микрокристаллов AgHal 0,54 и 1,49 мкм соответственно. Кривые 2, 4 соответствуют экспонированию тех же пленок с усиливающим экраном из свинцовой фольги толщиной 0,1 мм. Рис. 4 – Зависимость оптической плотности изображения от экспозиции: 1 – экспонирование без усиливающего экрана; 2 экспонирование с усиливающим экраном из свинцовой фольги толщиной 0,1 мм; 3 экспонирование без усиливающего экрана; 4 - экспонирование с усиливающим экраном из свинцовой фольги толщиной 0,1 мм Сравнение экспериментальных данных, представленных на рис. 4, показало, что при экспонировании радиографического материала со средним размером микрокристаллов AgHal 1,49 мкм наблюдается большее повышение оптической плотности изображения, чем при экспонировании радиографического фотоматериала со средним размером микрокристаллов 0,54 мкм ($\Delta D_2 > \Delta D_1$). В целом результаты исследований показали, что при экспонировании ионизирующим излучением радиографических материалов на полимерной подложке с усиливающими экранами повышение чувствительности определяется средним размером микрокристаллов AgHal, причем каждому среднему размеру при определенной энергии излучения соответствует определенная оптимальная толщина усиливающего экрана, которая, вероятно, зависит от длины пробега электронов.

1. Доказано, что вклад электронов, эмиттированных из усиливающего экрана в построение радиографического изображения, увеличивается с возрастанием энергии ионизирующего излучения, атомного номера элементов, составляющих экран, и массового коэффициента поглощения. 2. Установлено, что при

экспонировании рентгеновским излучением интервал толщины, в которой передний усиливающий экран из свинца в максимальной степени повышает оптическую плотность радиографического фотоматериала, составляет 0,5 – 0,8 мм, а экрана из меди – 0,6 – 0,9 мм. Увеличение толщины экрана выше этих значений приводит к уменьшению оптической плотности, а, следовательно, и чувствительности радиографического фотоматериала, вследствие увеличения поглощения ионизирующего излучения в усиливающем экране. З. становлено, что задний усиливающий экран в меньшей степени влияет на значение чувствительности. Чувствительность незначительно растет с увеличением его толщины и затем достигает постоянной величины, определяемой энергией излучения.