

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

препринт- 88

В.С.Григорьев, Г.М.Протопопова

Фотографическая дозиметрия рентгеновского излучения

НОВОСИБИРСК 1966

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе кратко изложены основы метода ИФК-2,3М, позволяющего проводить дозиметрические измерения γ и рентгеновского излучения с эффективной энергией 10-1000 кэв.

1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на большое разнообразие методов регистрации ионизирующих излучений, фотографическая дозиметрия - наиболее распространенный метод индивидуального дозиметрического контроля. Трудности возникают при попытке применить фотоэмульсию для дозиметрии рентгеновского излучения в диапазоне энергий от 10 до 300 кэв. Как известно [1] в этой энергетической области у фотоэмульсии наблюдается довольно значительная зависимость почернения от энергии или так называемый ход с жесткостью пленки. Обычно спектр градуировочного и рабочего излучения различен и ход с жесткостью пленки вносит неопределенность в полученные значения доз.

В существующем в настоящее время методе измерения рентгеновского и γ -излучения с помощью кассеты ИФК-2,3, предложенной В.Ф.Козловым [2], ход с жесткостью пленки уменьшен с помощью набора фильтров из разного материала. Этот метод гарантирует хорошую точность определения доз (но не энергии) в диапазоне энергий регистрируемого излучения от 100 кэв и выше.

Настоящей работой предусматривается разработка и опробывание метода фотографической дозиметрии в диапазоне энергий 10-1000 кэв, позволяющего определять дозы и энергию излучения с точностью лучше, чем $\pm 50\%$.

2. ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Остановимся на основных предпосылках, ведущих к определению дозы и энергии излучения. В зависимости от типа применяемой эмульсии ее чувствительность при энергии около 40 кэв будет в 10 \pm 40 раз больше, чем при 1000 кэв. На рис.1 приведено отношение $\left(\frac{S_{40}}{S_E}\right) D = Const.$ как функция энергии излучения для пленки типа "ORWO", где S_{40} - почернение при 40 кэв, а S_E - при энергии E . График построен для значений экспозиционной дозы 100 мр. До такой дозы зависимость между почернением и дозой - линейная. Излучение с энергией 40 кэв будем считать эталонным, а отношение $n = \left(\frac{S_{40}}{S_E}\right) D = Const.$ назовем поправочным множителем.

Для установления дозы рентгеновского излучения, которой была

облучена пленка, необходимо прежде всего знать спектральный состав падающего излучения. Это можно сделать с помощью фильтров и точность будет тем лучше, чем больше фильтров имеет кассета. Результаты теоретического рассмотрения действия поглощающих фильтров /3,4/ показывают, что для установления дозы и энергии рентгеновского излучения комбинация из трех медных фильтров толщиной 0,05 мм, 0,5 мм и 1,2 мм является достаточной для целей практической дозиметрии.

Нами использовалась кассета ИФК-2,3 М из капрона, изготовленная по типу кассеты ИФК-2,3. В углублениях (размер 14 x 19 x 3) кассеты ИФК-2,3 М расположены фильтры из меди таким образом, что излучение, действующее на кассету на одном участке (окно), свободно достигает фотопленки; на втором участке проходит через фильтр 1, являющийся стенкой кассеты, толщиной 1 мм, плюс фильтр из меди, толщиной 0,05 мм, на третьем - через фильтр 2 (медь 0,5 мм + стенка кассеты), на четвертом - через фильтр 3 (медь 1,2 мм + стенка кассеты). Фильтры размещены как на передней, так и на задней стороне кассеты.

Кассеты ИФК-2,3М заряжаются пленкой типа "ORWO" или РМ-5-1, РМ-5-3, РМ-5-4.

Как известно, эффективный линейный коэффициент ослабления в широком пучке связан с экспозиционной дозой и толщиной фильтра следующим соотношением:

$$\mu = \frac{\ln D_0 - \ln D_i}{X}, \text{ где}$$

D_0 - экспозиционная доза падающего излучения; X - толщина фильтра;

D_i - экспозиционная доза прошедшего через фильтр излучения (где $i = 1, 2, 3$). Из анализа этого выражения следует, что, если на пленку, находящуюся под фильтрами, падает монохроматическое излучение, то график зависимости величины дозы от толщины фильтра, в полулогарифмическом масштабе (верхний график на рис.2) представляет собой прямую с постоянным углом наклона α к оси абсцисс, где $\text{tg } \alpha = \mu$.

Для немонохроматического излучения справедлив нижний график рис.2. Поскольку имеются только три фильтра, то кривая дозы разбивается на три участка, каждый из которых характеризуется своим углом

наклона α_i , следовательно и μ_i .

Чтобы определить дозу облучения, необходимо знать вклад в дозу жесткой компоненты излучения, средней и мягкой. Путем линейной экстраполяции к нулевой толщине фильтра (окно) (см.рис.2) находим:

D_{10}, D_{20}, D_{30} , где

D_{30} - величина, характеризующая дозу жесткого излучения;

$(D_{20} - D_{30})$ - величина, характеризующая дозу излучения средней энергии;

$(D_{10} - D_{20})$ - величина, характеризующая дозу мягкого излучения.

Шкала денситометра ДФЭ-10 калируется в дозах 40-кэвного рентгеновского излучения. В результате доза облучения будет равна:

$$D_{30} \cdot n_1 + (D_{20} - D_{30}) \cdot n_2 + (D_{10} - D_{20}) \cdot n_3 = D$$

где n_1, n_2, n_3 - поправочные множители, определяемые по кривым рис.12.

3. ГРАДУИРОВКА ПЛЕНОК

Было облучено несколько сот пленок типа "ORWO" во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии им. Менделеева. Коэффициент однородности градуировочного рентгеновского излучения в калируемом диапазоне энергий изменялся от 2,21 до 1,23. Пленки облучались излучением с эффективной энергией от 10 до 1250 кэв. Графики зависимости почернения пленки от дозы для разных энергий приведены на рис.3,4,5,6,7,8,9,10.

По этим графикам были построены кривые хода с жесткостью для доз 50 мр, 100 мр, 150 мр, 200 мр, 250 мр. По максимальным значениям почернений с графиков хода с жесткостью при контрольной энергии 39,8 кэв строилась кривая зависимости почернения от дозы для энергии около 40 кэв (см.рис.11). По этой кривой была проградуирована шкала денситометра ДФЭ-10, затем строились графики зависимости n от отношения доз (см.рис.12). Все графики даны с вычетом вуали пленки.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

типа

1. Облученную пленку "ORWO" проявляют вместе с фоновой. С целью снижения влияния фактора проявления необходимо соблюдать следующий режим фотообработки рабочих пленок:

- проявление при температуре проявителя 18°C - 10 минут;
- промывка водой - 2 минуты;
- фиксирование при комнатной температуре - 20 минут;
- промывка водопроводной проточной водой не менее - 15 мин.

Состав проявителя: (проявитель № I чл.-корр. Чибисова)

- Вода - 750 мл.
- метол - I г.
- Сульфит натрия безводный - 26 г.
- Гидрохинон - 5 г.
- Сода безводная - 20 г.
- Бромистый калий (10% раствор) - 10 мл.
- Вода холодная до - I л.

Состав фиксажа (кислый)

- Натрий серноватисто-кислый кристаллический - 260 г
- Аммоний хлористый - 50 г
- Метабисульфит натрия - 16 г
- Вода до I л.

В трех литрах проявителя допускается обработка не более 100 пленок типа "ORWO" (размер 30 x 40 мм). Максимальный срок хранения проявителя и фиксажа 2 недели. Обработка пленок производится в полной темноте.

2. Просматривают на денситометре ДФЭ-10, шкала которого проградуирована в дозах рентгеновского излучения 40 кэв. Получают четыре значения дозы D_0, D_1, D_2, D_3 .

6.

Из этих значений доз вычитают дозу, обусловленную вуалью и полученные D_0, D_1, D_2, D_3 вносят в таблицу № I.

Таблица № I

Доза, определенная по денситометру				Действительная доза		
Окно	Доля дозы на рис. 2	0,05 мм	0,5 мм	1,2 мм		
D_0					$\frac{D_0}{D_1}$ по графику рис. I2 определяем n_1	$(D_{10} - D_{20}) \cdot n_1 = \Delta D_1$
	$D_{10} - D_{20}$				$\frac{D_1}{D_2}$ по графику рис. I2 определяем n_2	$(D_{20} - D_{30}) \cdot n_2 = \Delta D_2$
		D_1				
	$D_{20} - D_{30}$				$\frac{D_2}{D_3}$ по графику рис. I2 определяем n_3	$D_{30} \cdot n_3 = \Delta D_3$
	D_{30}		D_2	D_3		

Итого: $D = \Delta D_1 + \Delta D_2 + \Delta D_3$

Эффективная энергия облучения определяется по кривой рис. I для поправочного множителя компоненты, которая дает максимальный вклад в суммарную дозу в соответствии с таблицей I.

Предлагается более упрощенный способ определения дозы по таблице 2.

Таблица 2

Доза, определенная по денситометру (с вычетом вуали)				Поправочный множитель	Действительная доза	Эффективная энергия
Окно	0,05 мм	0,5 мм	1,2 мм			
D_0	D_1	D_2	D_3	n	$D_0 \cdot n = D$	$E(n)$

7.

3. Для определения поправочного множителя N нужно вычислить отношения $\frac{D_0}{D_1}$; $\frac{D_1}{D_2}$; $\frac{D_2}{D_3}$; $\frac{D_0}{D_3}$, определить по соответствующим кривым рис.12 N_1, N_2, N_3, N_4 соответственно и взять из них наибольший.

4. Значение дозы D_0 (окно) умножают на поправочный множитель N и получают экспозиционную дозу.

5. По графику рис.1 по полученному N определяют энергию излучения, попадающего на кассету с пленкой. Как видно из графика рис.1 каждому N соответствует два значения E . Если значения приведенных выше отношений больше соответствующих отношений для излучения в 40 кэв (см.таблицу № 3), то следует пользоваться левой ветвью кривой графика рис.1, если меньше, то правой.

Таблица № 3

Для излучения с энергией 40 кэв			
$\frac{D_0}{D_1}$	$\frac{D_1}{D_2}$	$\frac{D_2}{D_3}$	$\frac{D_0}{D_3}$
$1,1 \pm 0,02$	$2,3 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,2$

Этот способ определения доз рентгеновского излучения в отдельных случаях может давать ошибку $\pm 50\%$ из-за неудачного выбора отношений доз и неоднородности излучения. Поэтому в тех случаях, когда необходима большая точность, рекомендуется производить вычисление дозы в соответствии с таблицей № 1.

Точность метода определялась по плёнкам, проградуированным в г.Новосибирске во ИГНИИИП. Общее количество просмотренных плёнок составляло около 500 штук. Градуировочные дозы и эти же дозы, определенные по выше приведенным таблицам, имели хорошее согласие (лучше $\pm 50\%$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

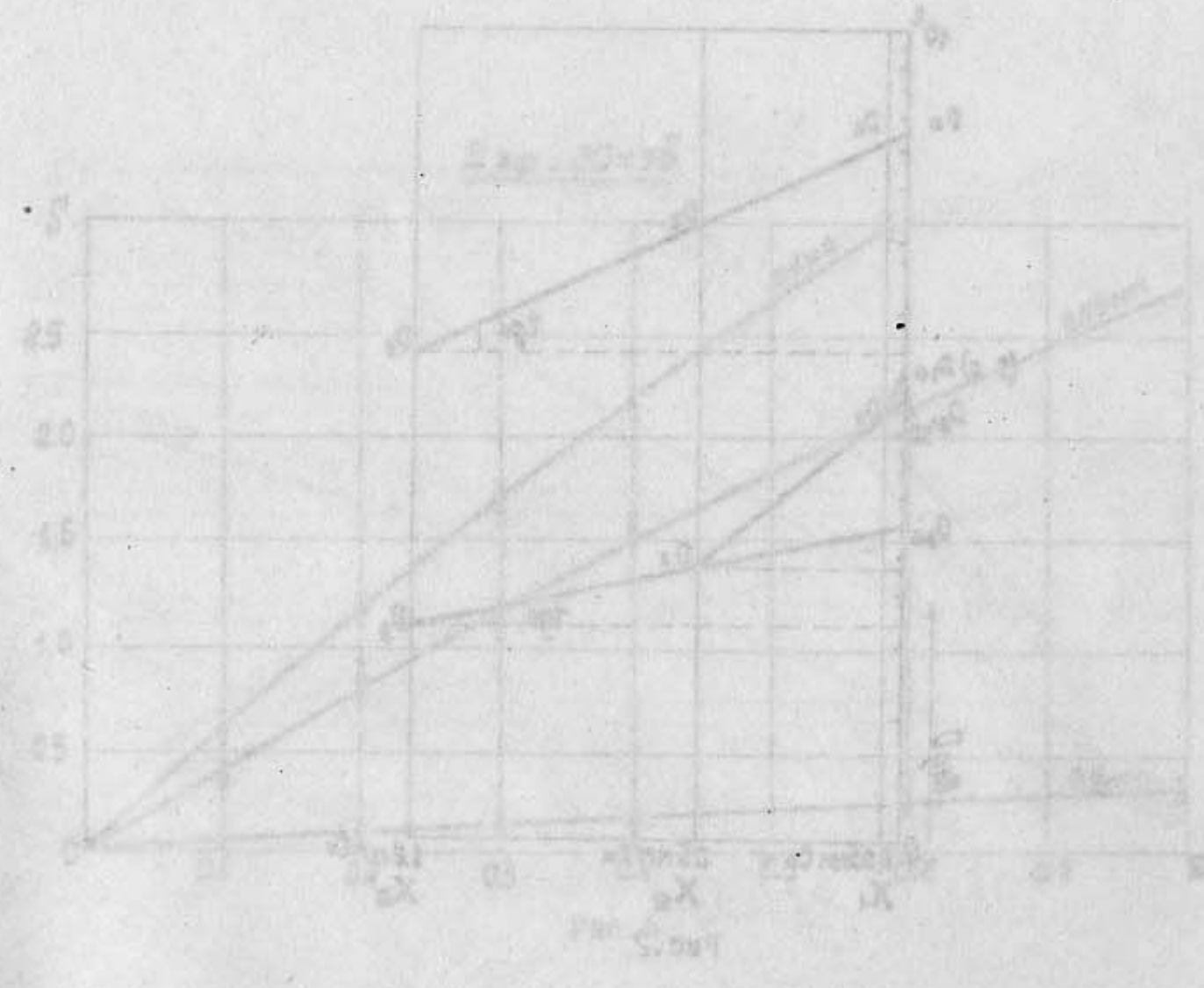
Преимущества предлагаемого метода состоят в том, что он:

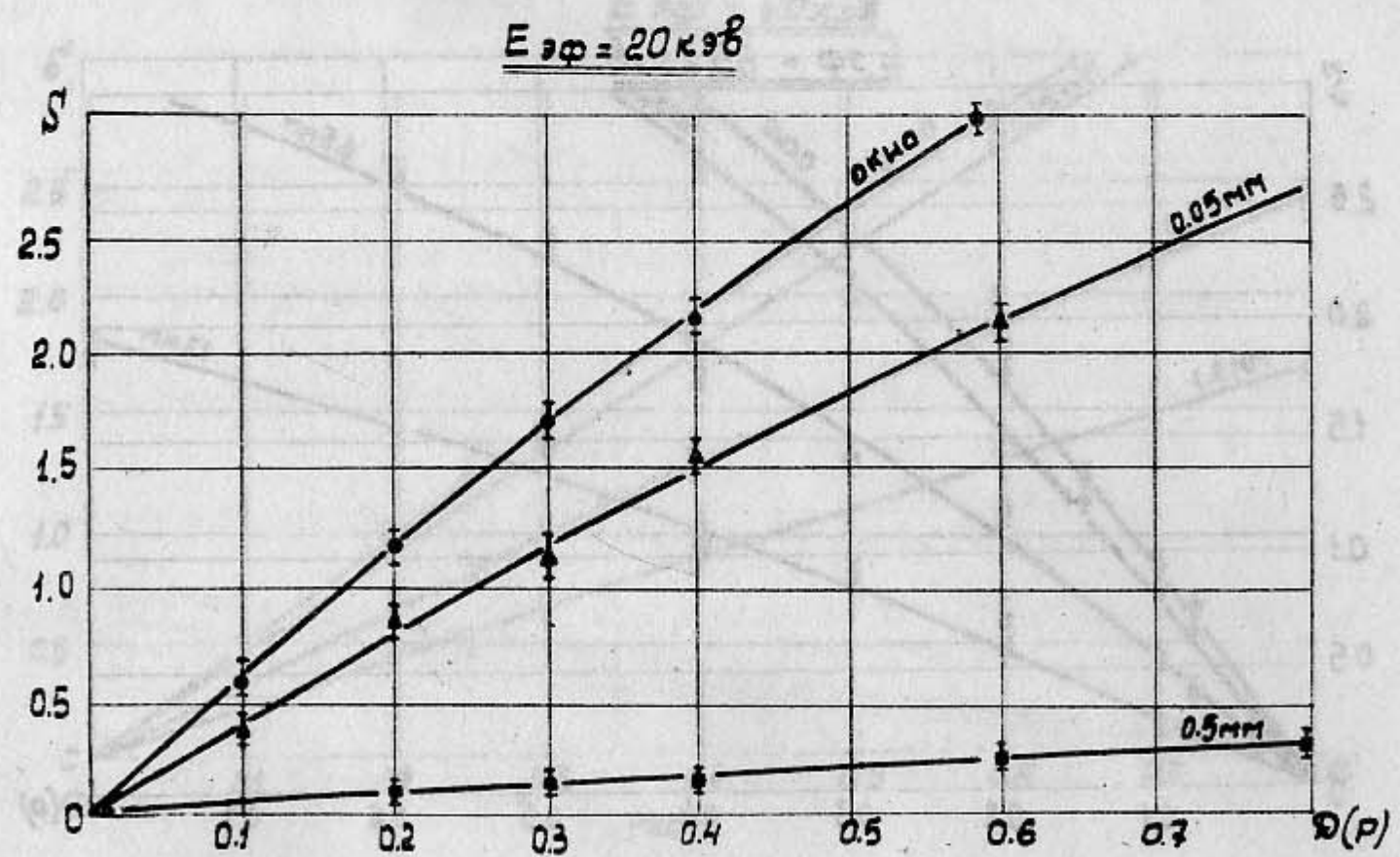
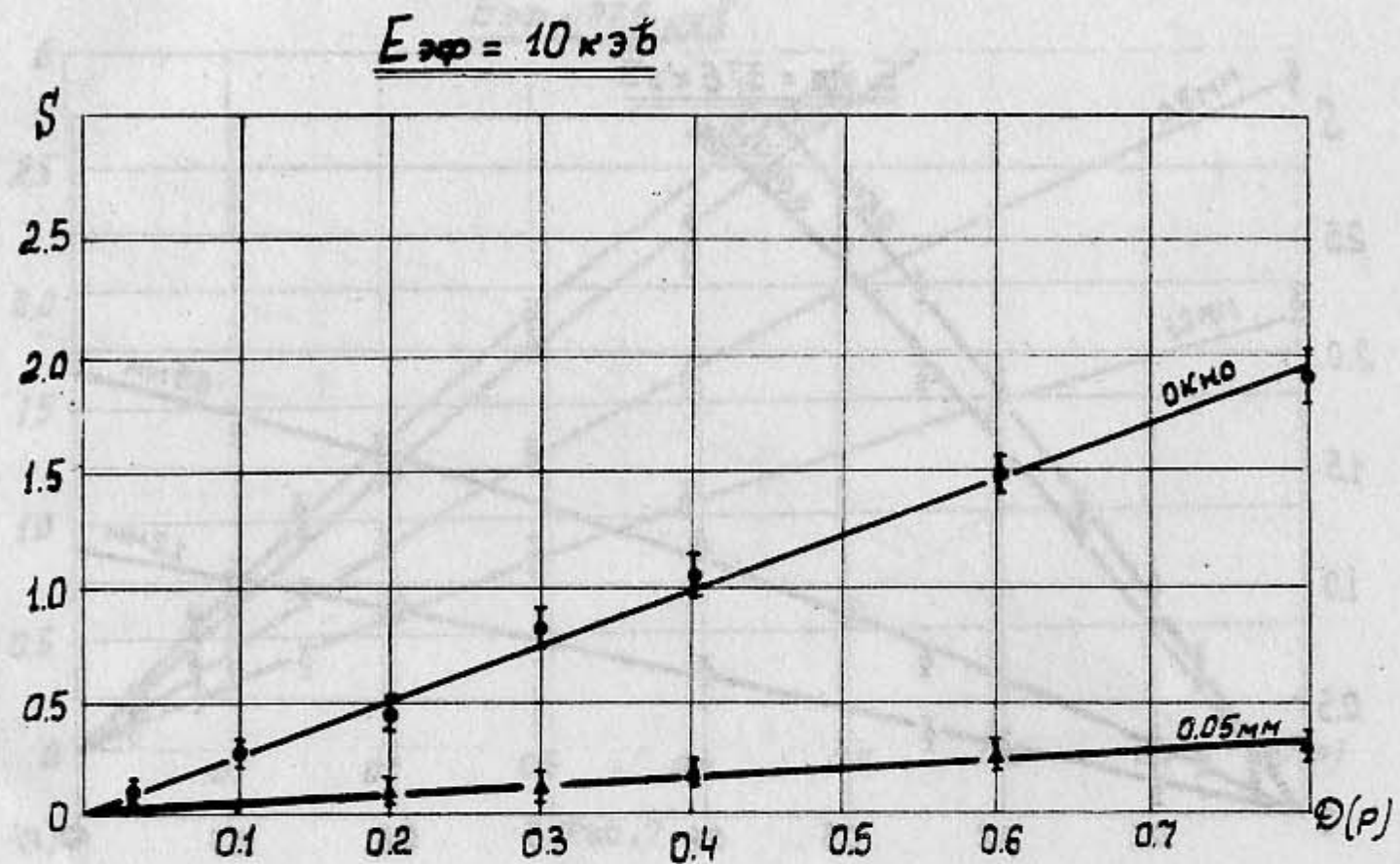
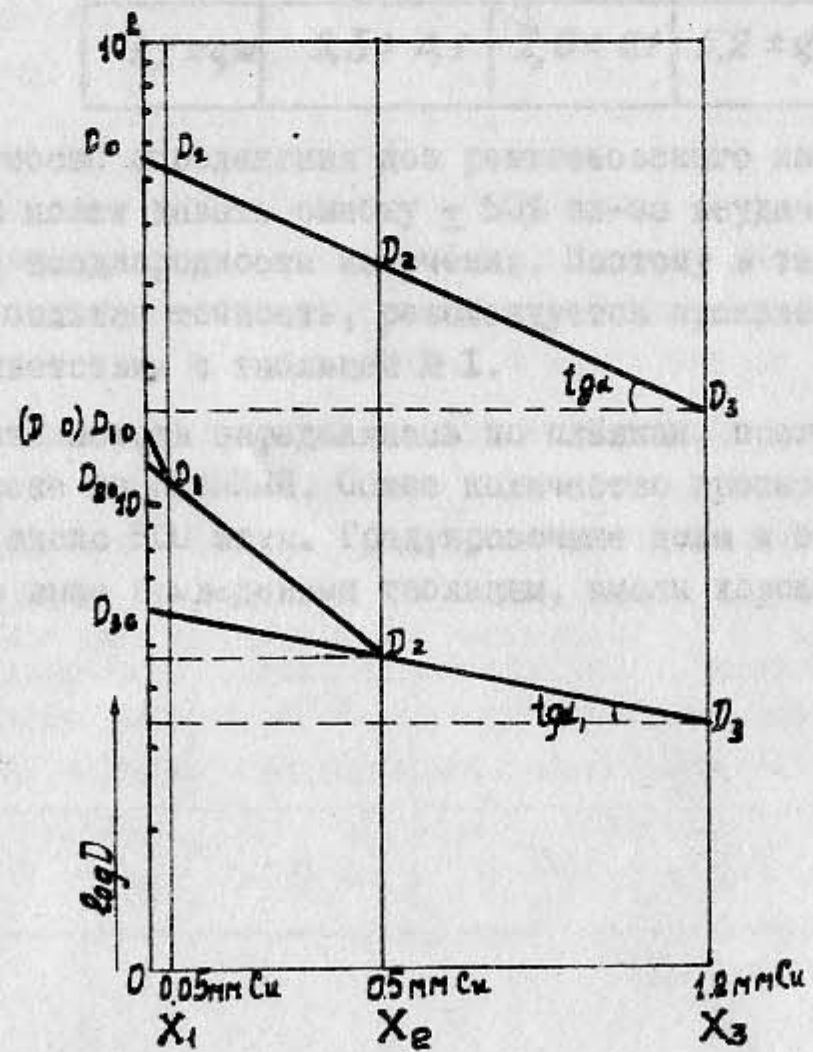
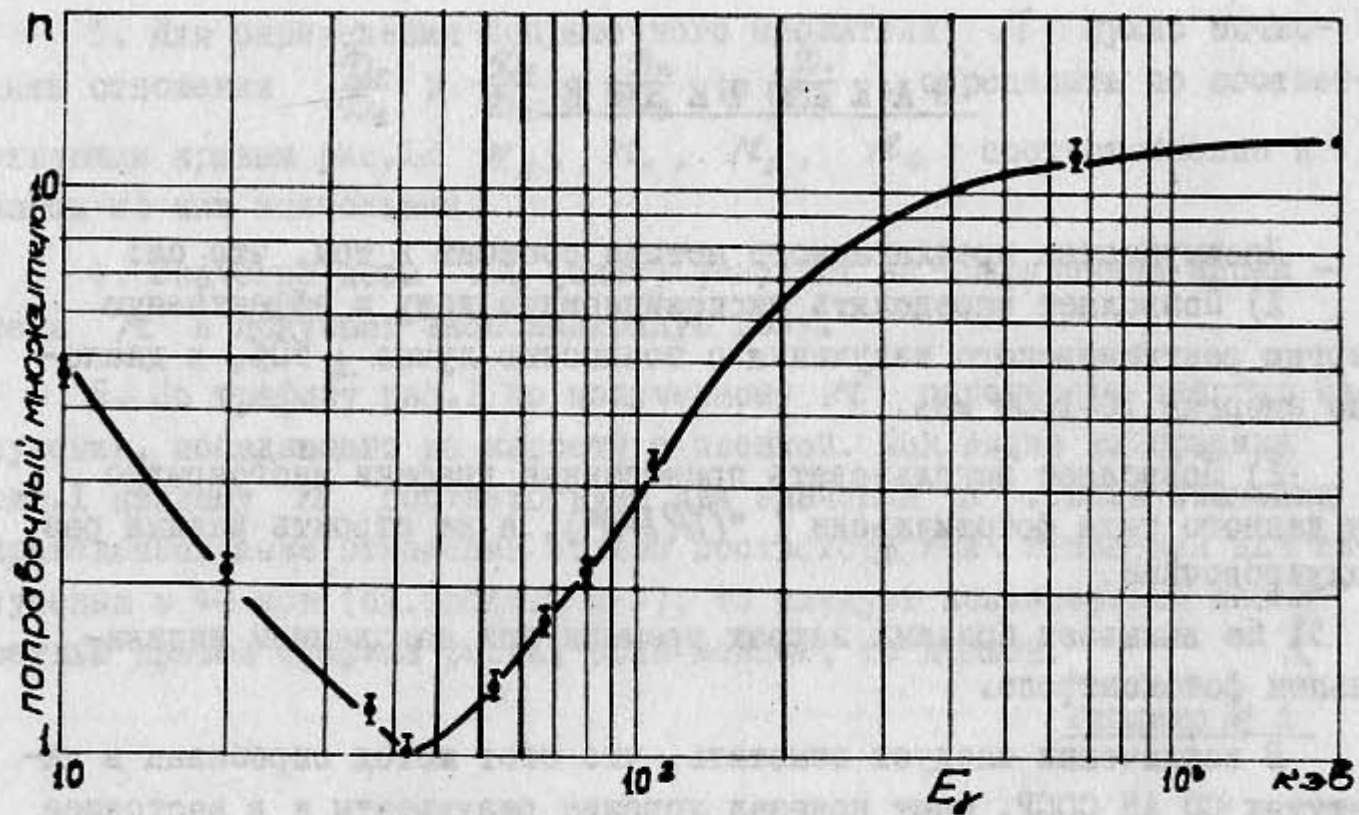
1) Позволяет определять экспозиционную дозу и эффективную энергию рентгеновского излучения с точностью лучше $\pm 50\%$, в диапазоне энергий 10-1000 кэв.

2) Позволяет использовать приведенные графики многократно для данного типа фотоэмульсии ("ORWO"), а не строить каждый раз градуировочные.

3) Не вызывает больших затрат времени при налаженном индивидуальном фотоконтроле.

В заключении следует отметить, что этот метод опробован в институтах СО АН СССР. Опыт показал хорошие результаты и в настоящее время этот метод широко внедряется в практику дозиметрических служб.





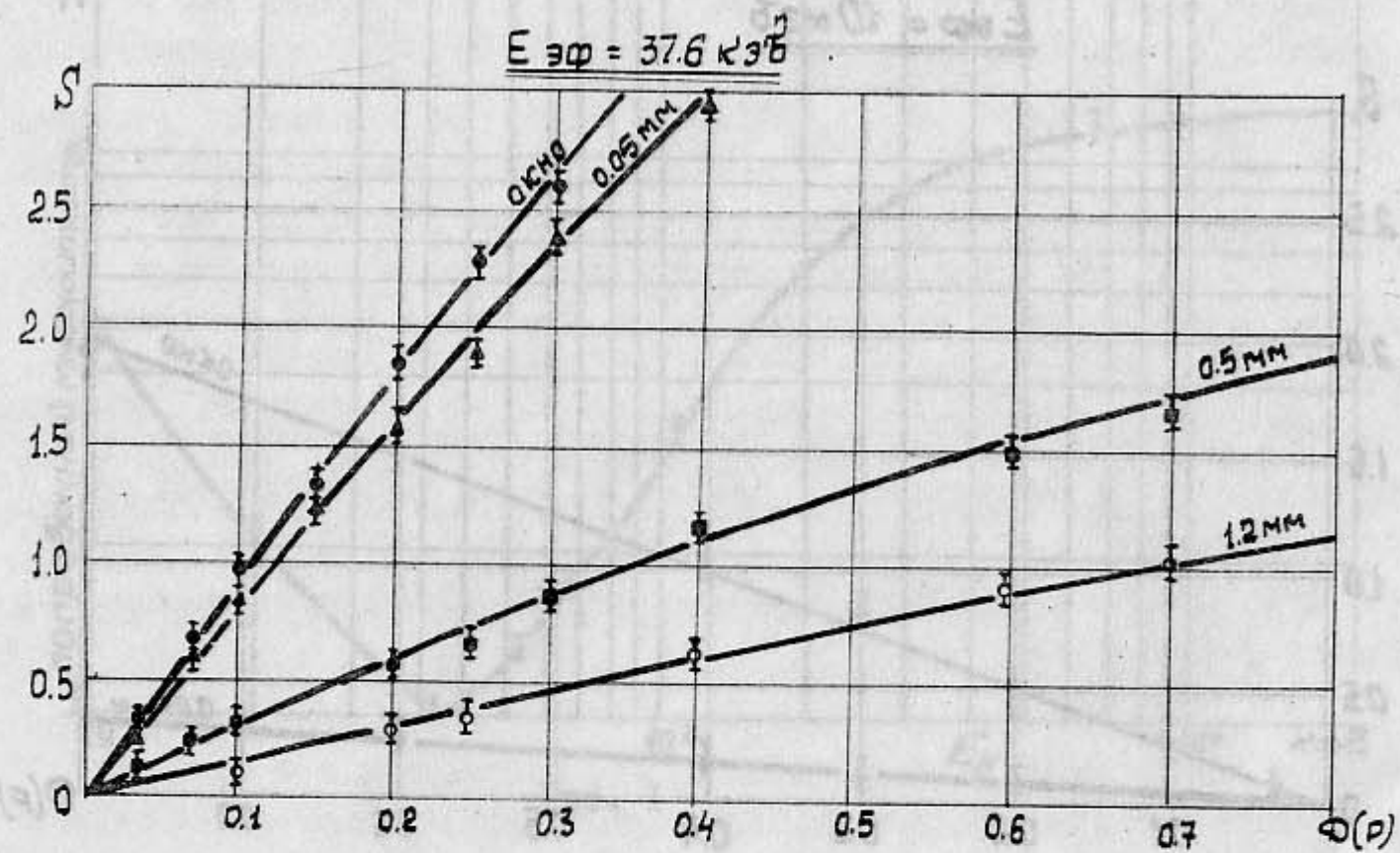


Рис. 5

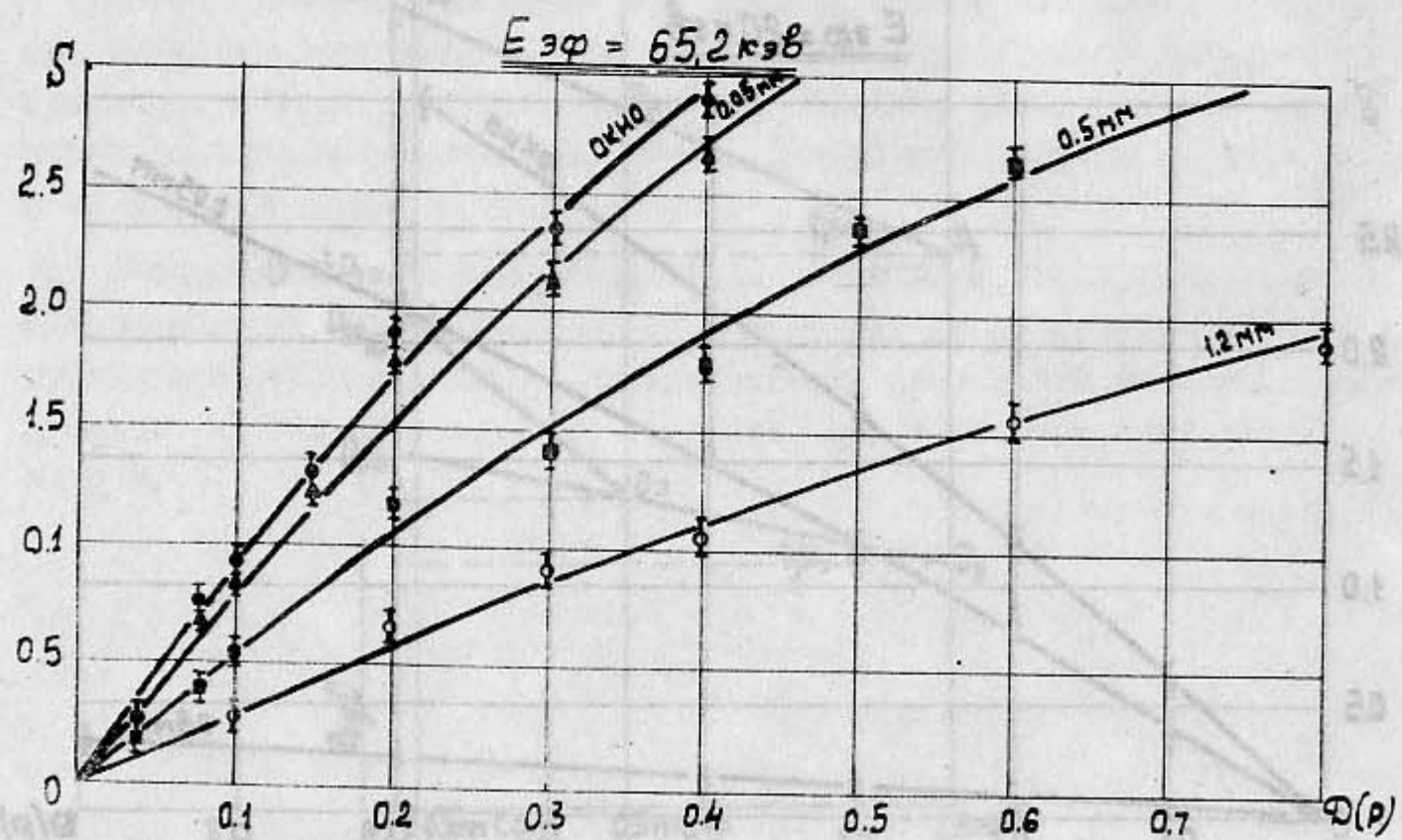


Рис. 6

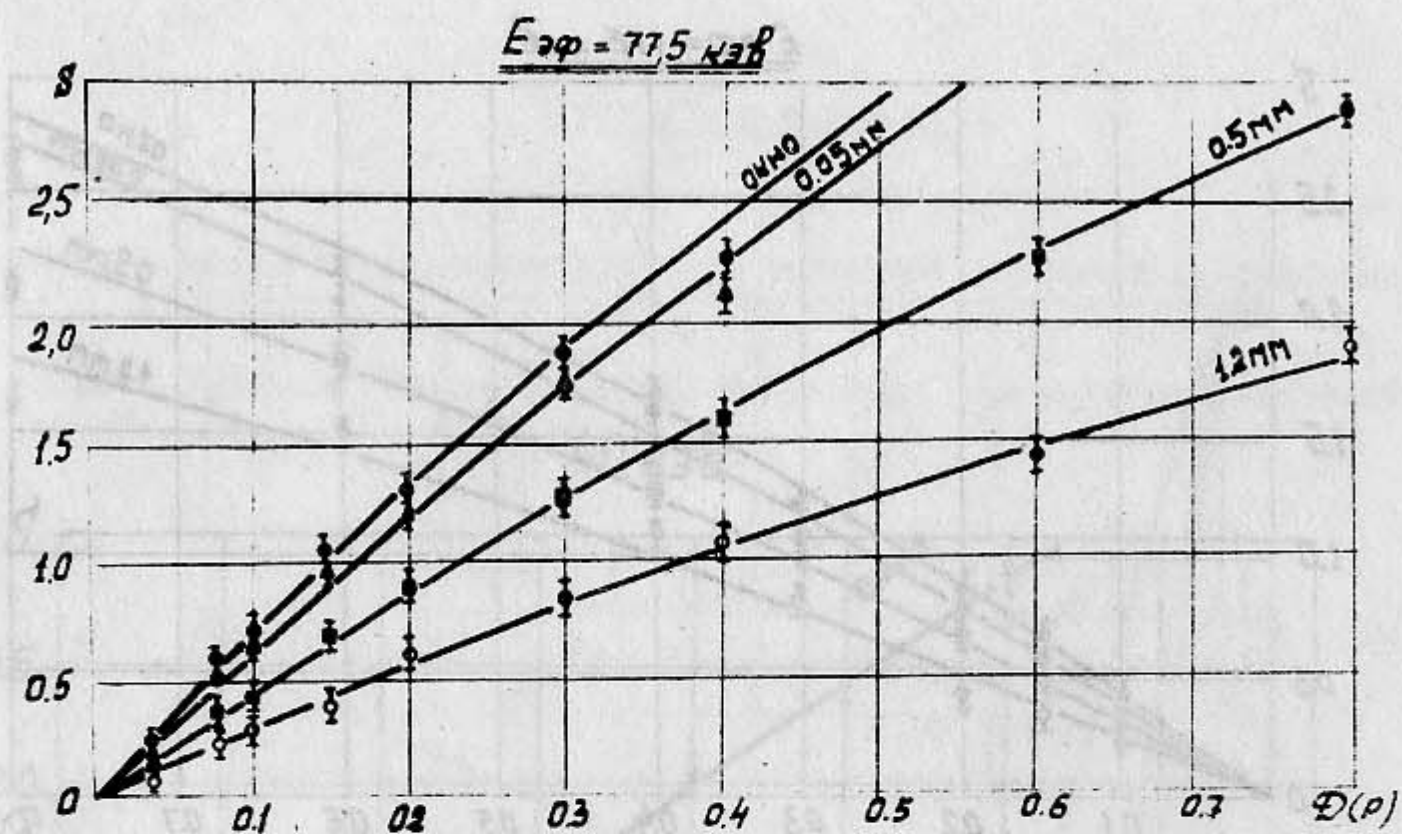


Рис. 7

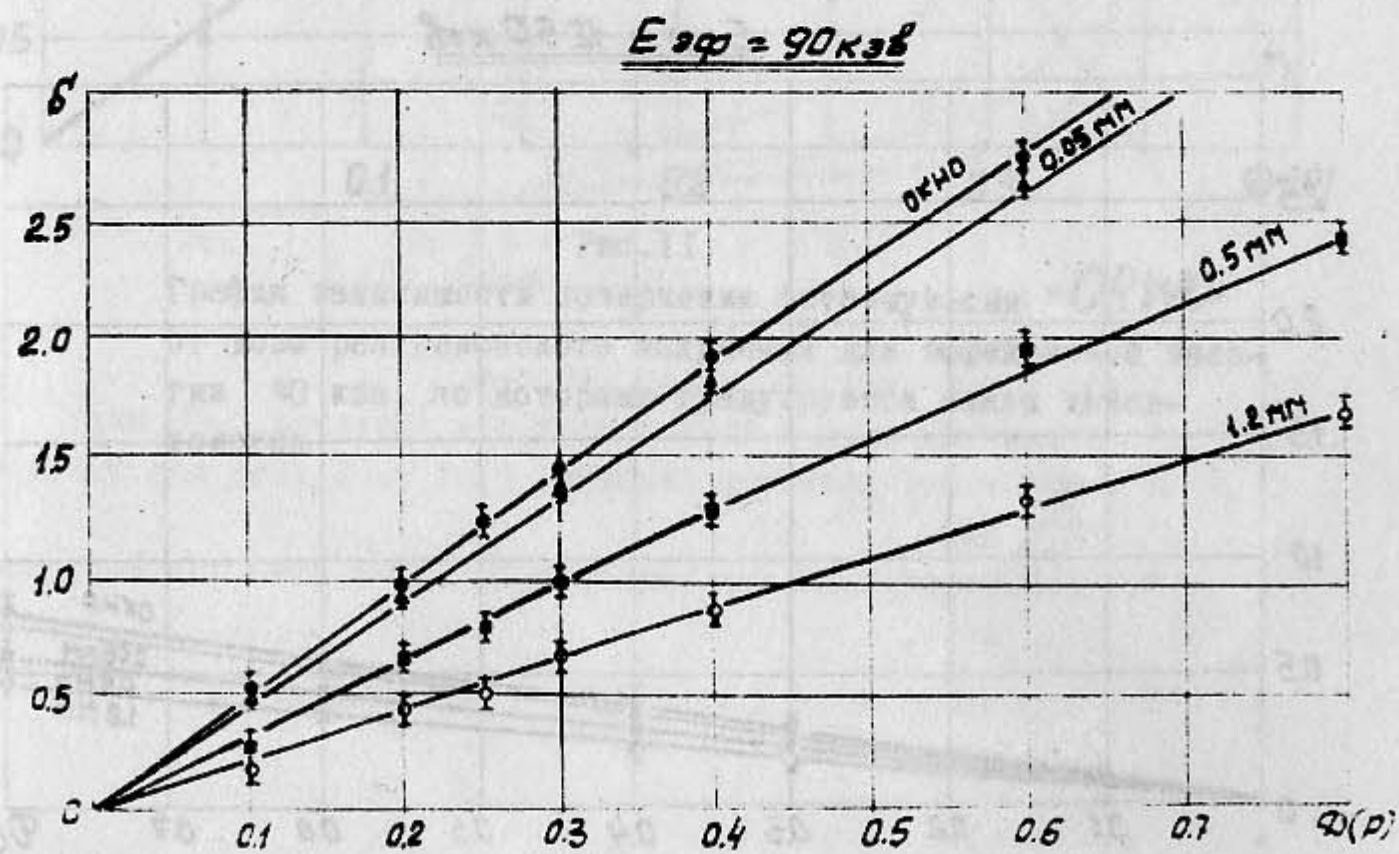


Рис. 8

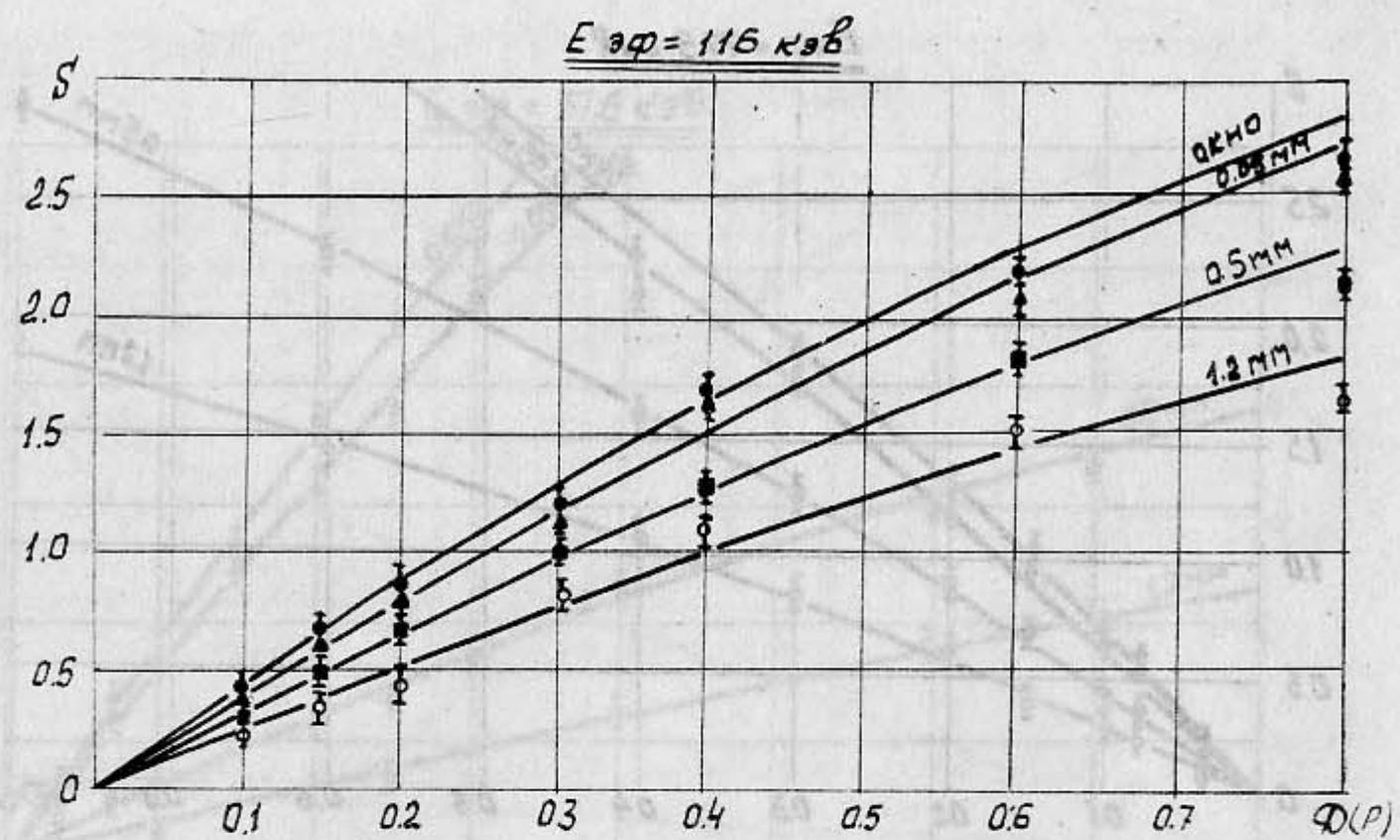


Рис. 9

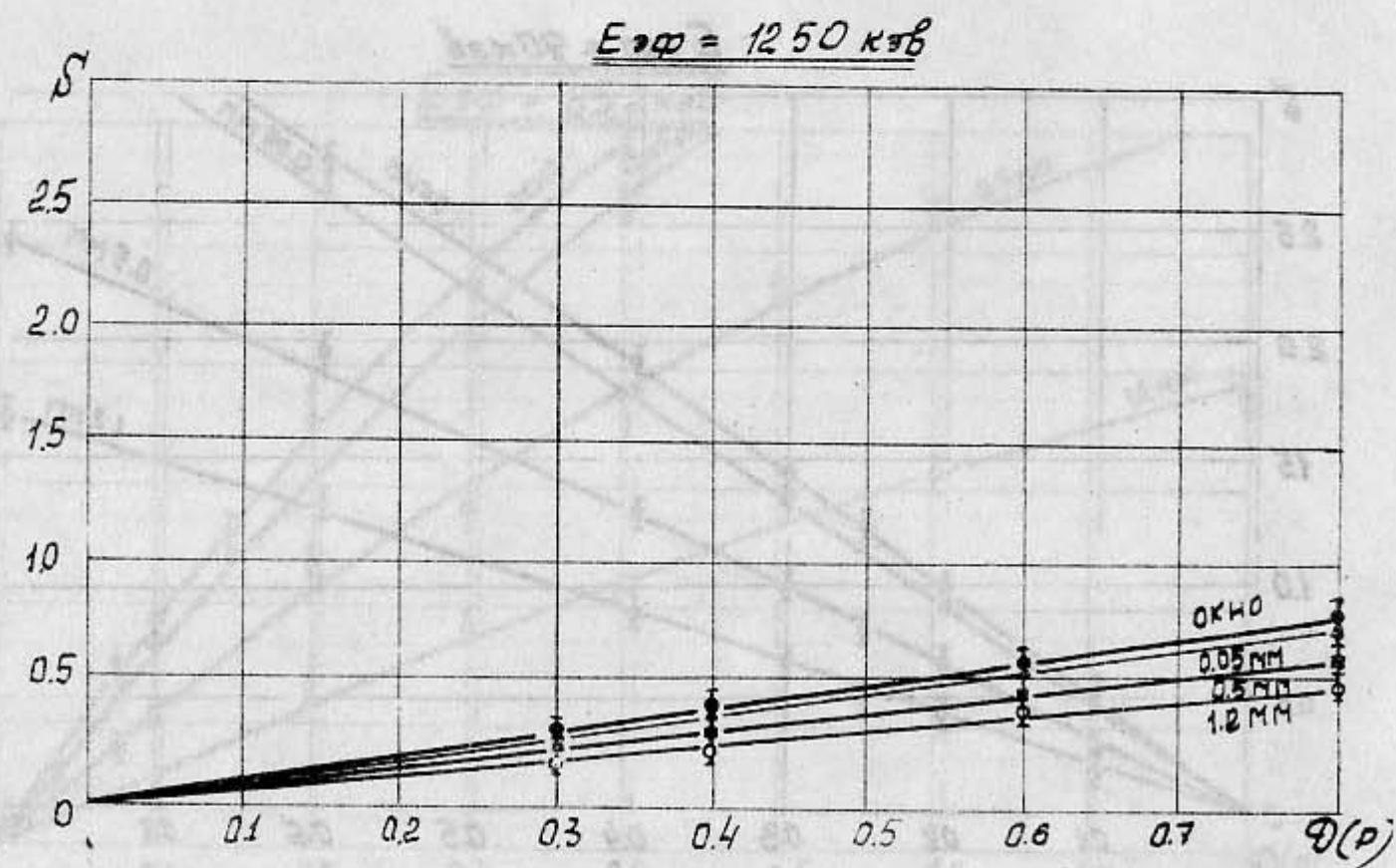


Рис. 10

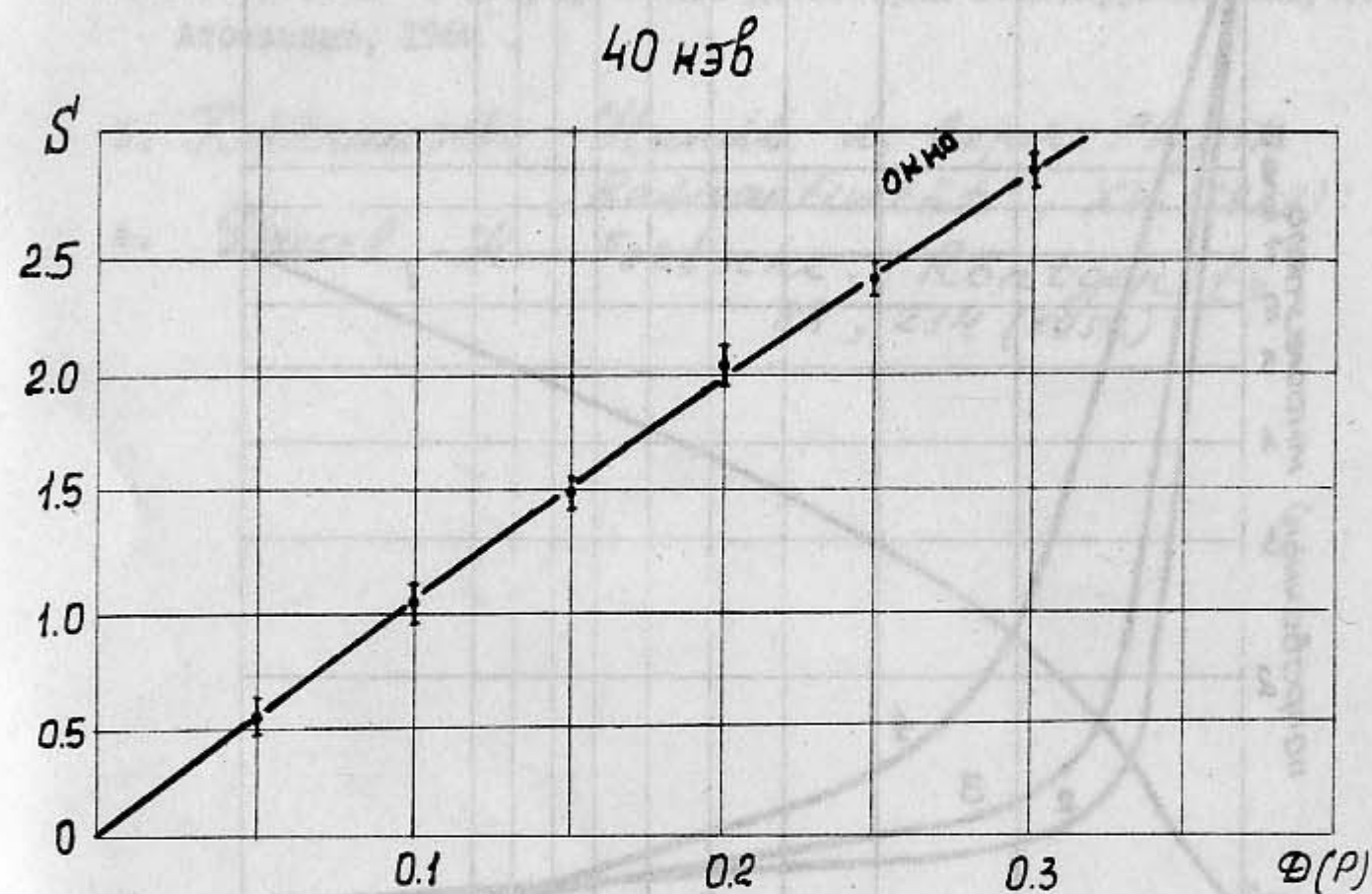


Рис. 11

График зависимости почернения фотоэмульсии "ORWO" от дозы рентгеновского излучения для эффективной энергии 40 кэВ, по которому градуируется шкала денситометра

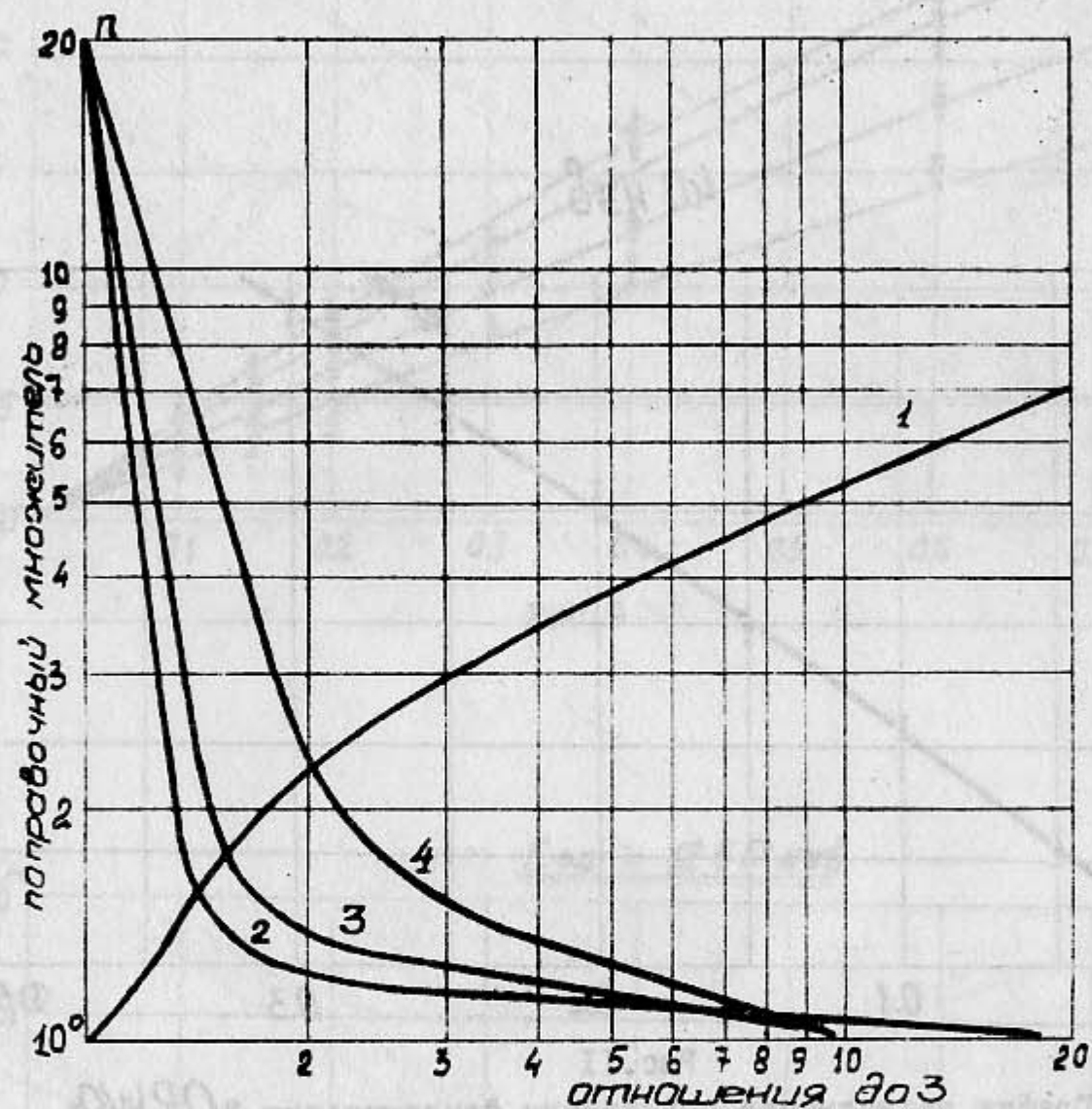


Рис. 12

Поправка на зависимость от энергии

- 1 - отношение дозы в окне к дозе под фильтром 0,05 мм;
- 2 - отношение дозы под фильтром 0,05 мм к дозе под фильтром 0,5 мм;
- 3 - отношение дозы под фильтром 0,5 мм к дозе под фильтром 1,2 мм;
- 4 - отношение дозы в окне к дозе под фильтром 1,2 мм.

Литература

1. "Радиационная дозиметрия" под редакцией Д.Хайна и Г.Браунелла, ИЛ, 1958.
2. В.Ф.Козлов "Фотографическая дозиметрия ионизирующих излучений". Атомиздат, 1964 .
3. Kohlrausch Handb. d. Exper. Physik
4. Dresel H. "Radioaktivität", XV (1928): 61 .
84, 214 (1956).