

СОГЛАСОВАНО

Зам. Генерального директора
ОАО «НПО ЦНИИТМАШ» - директор
института сварки и контроля

Старченко Е.Г.

2008г.

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор
ОАО «Ижорские заводы»

Менков Ю.С.

« 14 »

2008г.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ
РАДИАЦИОННО-ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ФОСФОМАТИК»
(КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ РАДИОГРАФИИ).

В 2007 году в рентгеновской лаборатории ЦЛНМК ОАО «Ижорские заводы» проводились испытания цифровой радиационно-дефектоскопической системы «Фосфоматик» на предмет применения её для контроля сварных соединений продукции ОАО «ИЗ» (возможность замены радиографической плёнки гибкими фосфорными пластинами). Оценивались чувствительность контроля и выявляемость дефектов, особенности технологии использования фосфорных пластин при проведении просвечивания.

При испытаниях проводилось просвечивание образцов из стали толщиной 2;4,5;12;21;30;40;55;75;100;140;150;200 мм с установленными со стороны источника излучения проволочными эталонами чувствительности по ГОСТ 7512-82. Параметры просвечивания соответствовали требованиям ГОСТ 7512-82 и ГОСТ 20426-82. Фосфорные пластины экранировались усиливающими свинцовыми экранами толщиной 0,027; 0,1; 0,2; 0,5 мм

Образцы толщиной:

- d=2-100 мм просвечивались рентгеновским (рентген-аппараты РУП-150/300 и МГ - 420) и гамма-излучением изотопа Jг-192 (Гаммарид 192/120),
- d=75-140 мм - гамма-излучением изотопа Со-60 (гаммавольт-100),
- d=75-200 мм - тормозным излучением ускорителя электронов ЛУЭ-5МэВ.

Наряду с просвечиванием на пластины «Фосфоматик» - Flex HR образцы просвечивались при том же фокусном расстоянии (источник- кассета) на радиографическую плёнку «Agfa – Gevaert» типа D4; D5; D7 при допустимой ГОСТ 7512-82 оптической плотности.

Кроме просвечивания образцов с эталонами чувствительности проводилось рентгено- просвечивание стыковых сварных соединений толщиной 10 и 20 мм, имеющих реальные сварочные дефекты типа несплошностей и инородных включений, и углового сварного соединения с толщиной привариваемого элемента 20 мм на пластины Flex HR и радиографическую плёнку.

Результаты испытаний представлены в таблице 1-5 и на рис.1-7.

ВЫВОДЫ.

1. При использовании рентгеновского излучения система «Фосфоматик» позволяет в диапазоне просвечиваемых толщин стали до 100 мм и напряжении $U_{p.t.}$ на рентгеновской трубке по ГОСТ 20426-82 обеспечить чувствительность контроля по проволочному эталону, соответствующему 1-му классу чувствительности таблицы 6 ГОСТ 7512-82 и I-й категории таблицы 13 ПНАЭГ-7-010-89.
2. Значения чувствительности контроля, достигаемой на пластинах «Фосфоматик» - Flex HR при уровне облучения (уровне серого) 20-25% и уменьшенном (в диапазоне просвечиваемых толщин стали d до 80 мм) на 10 – 30% напряжении на рентгеновской трубке от максимальных значений, допустимых ГОСТ 20426-82, соответствуют чувствительности, достигаемой на радиографических плёнках «Структурикс» типа D 4, D 5, D7 при допустимой по ГОСТ 7512-82 оптической плотности.
3. Экспозиция просвечивания на пластину Flex HR при максимальном допустимом ГОСТ 20426-82 напряжении на рентгеновской трубке до 8 - 10 раз меньше, чем на радиографическую пленку D7 (оптическая плотность $D = 1,5$), при уменьшенном на 10 – 20% от максимального допустимого напряжения на рентгеновской трубке – соответствует ($d < 80$ мм) экспозиции просвечивания на пленку D 7, при уменьшенном на 20 – 30% напряжении – меньше примерно в 1,5 раза, чем на пленку D 4.
4. При выборе оптимальной толщины металлических усиливающих экранов следует руководствоваться значениями, приведенными в таблице 1 рекомендуемого приложения 1 ГОСТ 7512-82

5. При использовании гамма-излучения:
 - Ir -192 в диапазоне толщин стали $d = 20 \div 100$ мм,
 - Co 60 – в диапазоне $d = 70 \div 140$ мм,
 - тормозного излучения ускорителя электронов в диапазоне $d > 70$ мм
 фосфорные пластины Flex HR позволяют обеспечить чувствительность контроля по проволочному эталону, соответствующему 2-му классу чувствительности по ГОСТ 7512-82.
6. Рекомендуемая толщина усиливающих свинцовых экранов для пластин Flex HR: 0,1 мм для Ir -192, 0,5 мм для Co 60 и ЛУЭ-5МэВ.
7. Экспозиция просвечивания на пластины Flex HR меньше, чем на плёнку D7 примерно в 5 раз для Ir -192, в 2 раза для Co 60 и в 1,5 раза для ЛУЭ-5МэВ.
8. При рентгенопросвечивании на пластины Flex HR выявляемость дефектов типа трещин, непроваров, газовых пор, шлаковых включений в сварных соединениях (стыковой шов толщиной 10 и 20 мм) соответствует выявляемости дефектов в этих же сварных соединениях при просвечивании на радиографическую плёнку D7 (опт. плотн. $D = 1,7 \div 1,8$) для условия одинаковой чувствительности контроля на плёнке и пластине.
9. При просвечивании сварных соединений переменного сечения: угловых и тавровых швов, скошенных кромок деталей и т.п. система «Фосфоматик» позволяет контролировать за одну экспозицию на фосфорную пластину объекты с перепадом просвечиваемых толщин до 3-х слоёв половинного ослабления излучения (при уровне $\leq 25-30$ % на контролируемом переменнотолщинном участке). В случае использования радиографических плёнок здесь требуется выполнение 2-3-х экспозиций на кассеты с однотипными плёнками или применение многослойной кассеты с 2-3-мя разнотипными плёнками (в проведённом эксперименте по просвечиванию углового шва с переменной просвечиваемой толщиной контролируемого участка 20-35 мм требовалась кассета с плёнками D4+D5+D7). Следовательно, использование системы «Фосфоматик» при контроле переменнотолщинных изделий существенно сокращает время контроля и экономит радиографическую плёнку.
10. В обобщённом виде можно отметить следующие достоинства системы «Фосфоматик»:
 - многократно используемые пластины вместо плёнок (экономия радиографической плёнки);
 - не требуется фотообработки снимков (сокращение времени контроля, экономия фоторастворов);
 - меньше (в 2-10 раз) экспозиция просвечивания (сокращение времени контроля, просвечивание больших толщин), что существенно продлевает срок службы рентгеновских трубок;

- увеличение перепада просвечиваемых за одну экспозицию толщин контролируемых объектов переменного сечения (сокращение времени контроля);
- не надо архива радиографических плёнок;
- удобства при измерениях и разметке дефектов на радиограмме;
- возможность передачи информации по компьютерной сети.

От ОАО «НПО ЦНИИТМАШ»

Заместитель директора института сварки и контроля, заведующий отделом № 28, специалист III уровня квалификации по неразрушающему контролю, к.т.н.



В.А.Воронков

Начальник лаборатории радиационной дефектоскопии отдела № 28, специалист III уровня квалификации по неразрушающему контролю, к.т.н.



В.И. Капустин


От ОАО «Ижорские заводы»:

Начальник ЦЛНМК
ОАО «Ижорские заводы»
Специалист III уровня квалификации по неразрушающему контролю



Р.Л. Табакман

Ведущий специалист по радиографии ЦЛНМК, специалист III уровня квалификации по неразрушающему контролю, д.т.н.



В.М. Зуев

Таблица 1

Результаты испытаний радиографической пленки типа D4, D5, D7 и экранов „Фосфоматик“ - Flex HR при использовании рентгеновского излучения; уров.серого $\approx 20\%$; свинцовый усиливающий экран толщиной $d = 0,027$ мм, фокусное расстояние (источник - кассета) $F = 800$ мм

Прозвешив. толщина стали, σ , мм	Радиографическая пленка									Фосфоматик - 40			Требования ГОСТ 7512-32 к цветнит. контролю $\Phi_{\text{мин}}$			
	Ур.т. кВ	D4			D5			D7			Ур.т. кВ	It, ма х мин	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	класс 1	класс 2	класс 3
		It, ма х мин	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	It, ма х мин	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	It, ма х мин	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм						
2	90	16	1,6	0,05	10,7	1,4	0,063	5,3	1,3	0,08	70	12	0,063	0,10	0,10	0,20
											80	5,4	0,08			
											90	0,7	0,10			
4,5	110	14	1,5	0,08	9,3	1,7	0,10	4,7	1,2	0,10	80	12	0,08	0,10	0,10	0,20
											90	5,4	0,10			
											100	1,0	0,10			
12	150	36	1,5	0,16	24	1,5	0,20	12	1,3	0,20	120	12	0,16	0,20	0,30	0,40
											150	1,7	0,20			
21	215	16	1,5	0,20	10,7	1,5	0,25	5,3	1,5	0,32	160	12	0,25	0,40	0,50	0,63
											180	5,4	0,32			
											200	1,0	0,32			
30	280	8	1,4	0,32	5	1,6	0,32	2,5	1,5	0,40	220	12	0,32	0,40	0,50	0,63
											240	2,7	0,40			
											280	0,6; 1,1	0,40			
40	400	3,7	1,4	0,40	2,5	1,5	0,50	1,25	1,3	0,50	280	4,0; 12	0,40	0,50	0,63	0,80
											300	2,0	0,50			
											310	1,25	0,50			
55	400	15	1,5	0,50	10	1,4	0,63	5,0	1,3	0,63	300	12	0,50	0,80	1,00	1,25
											330	5,4	0,63			
											350	2,5	0,80			
75	400	72	1,6	0,63	32	1,4	0,80	24	1,3	0,80	350	20	0,80	1,00	1,25	1,60
											400	6,5	1,00			
100*	400	-	-	-	-	-	-	300	1,3	1,0	400	64	1,00	1,00	1,25	1,60

* фок. раст. уменьшено с $F = 800$ до $F = 700$

Таблица 2

Результаты испытаний радиографической пленки типа D4, D5, D7 и экранов „Фосфоматик“ - Flex HR

при использовании гамма-излучения изотопа I_{z-192} ; свинцовый усиливающий экран $\delta=0,2$ мм (R-пленка), $\delta=0,1$ мм (Фосфоматик), фокусное расстояние $F=500$ мм; уровень серого $\approx 20\%$

Прозвечив. толщина стали, d , мм	Радиографическая пленка									Фосфоматик - 40			Требования ГОСТ 7512-82 к чувствит. контроля Φ_{min}			
	Иридий-192, А, зэр	D4			D5			D7			Иридий-192, А, зэр	Flex HR		класс 1	класс 2	класс 3
		At, зэр х мин	D, ед. опт. плот.	Φ_{min} , мм	At, зэр х мин	D, ед. опт. плот.	Φ_{min} , мм	At, зэр х мин	D, ед. опт. плот.	Φ_{min} , мм		At, зэр х мин	Φ_{min} , мм			
2	26	60	1,4	0,2	40	1,4	0,2	22	1,4	0,2	26	5	0,4	0,10	0,10	0,20
4,5	26	72	1,5	0,2	48	1,6	0,25	24	1,3	0,32	26	5	0,4	0,10	0,10	0,20
12	26	128	1,3	0,32	64	1,5	0,32	40	1,4	0,32	26	9	0,4	0,20	0,30	0,40
21	26	184	1,5	0,32	96	1,4	0,32	60	1,4	0,4	26	20	0,4	0,40	0,50	0,63
30	26	240	1,5	0,4	128	1,4	0,4	88	1,5	0,5	26	20	0,5	0,40	0,50	0,63
40	26	320	1,3	0,4	200	1,4	0,5	152	1,4	0,5	26	30	0,63	0,50	0,63	0,80
55	26	360	1,6	0,5	520	1,5	0,63	360	1,3	0,63	26	73	0,8	0,80	1,00	1,25
75	26	2550	1,5	0,8	1460	1,4	0,8	950	1,4	0,8	26	190	1,25	1,00	1,25	1,60
100	26	9180	1,4	1,0	6120	1,5	1,0	3060	1,5	1,0	26	884*	1,25	1,00	1,25	1,60

* фок. расстояние увеличено с $F=500$ до $F=600$.

Таблица 3

Результаты испытаний радиографической пленки типа D4, D5, D7 и экранов „Фосфоматик“-FlexHR при использовании гамма-излучения изотопа Co-60; свинцовый умягчающий экран $\delta=0,5\text{мм}$ (R-пленка), умягчения $\approx 20\%$, $\delta=0,5\text{мм}$ (Фосфоматик), фокусное расстояние $F=700$

просвечив. толщина стали, δ , мм	Радиографическая пленка									Фосфоматик - 40			Требования Гост 7512-82 к цветв. контрол. $\Phi_{\text{мин}}$			
	Кобальт-60, А, зэр	D4			D5			D7			Flex HR			класс 1	класс 2	класс 3
		At, зэр x мин	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	At, зэр x мин	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	At, зэр x мин	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	Кобальт-60, А, зэр	At, зэр x мин	$\Phi_{\text{мин}}$, мм			
75	30	1410	1,5	0,63	840	1,6	0,8	600	1,7	0,8	30	300	0,8	1,00	1,25	1,60
100	30	3300	1,5	0,8	1800	1,4	0,8	1200	1,6	1,0	30	600	1,25	1,00	1,25	1,60
140	30	-	-	-	-	-	-	4800	1,7	1,25	30	2400	1,6	1,25	1,60	2,00

Таблица 4

Результаты испытаний радиографической пленки типа D4, D5, D7 и экранов „Фосфонатик“ - Flex HR при использовании тормозного излучения ускорителей электронов; свинцовый цеппивающий экран $d=0,5\text{мм}$ (2-пленка), $d=0,5\text{мм}$ (Фосфонатик), фокусное расстояние $F=4000$, уровень серого $\approx 20\%$.

просвечив. толщина стали, d , мм	Радиографическая пленка									Фосфонатик - 40		Требования ГОСТ 7512-82 к качеству контроля $\Phi_{\text{мин}}$				
	E_e , МэВ	D4			D5			D7			E_e , МэВ	эксп. усл. рент.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	класс 1	класс 2	класс 3
		эксп. усл. рент.	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	эксп. усл. рент.	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм	эксп. усл. рент.	D, ед. опт. плот.	$\Phi_{\text{мин}}$, мм						
75	5	140	1,3	0,63	80	1,3	0,8	60	1,5	0,8	5	30	1,25	1,00	1,25	1,60
100	5	280	1,5	0,8	150	1,4	1,0	100	1,4	1,0	5	70	1,25	1,00	1,25	1,60
150	5	850	1,4	1,25	450	1,4	1,25	300	1,3	1,25	5	210	1,6	1,60	2,00	2,50
200	5	3100	1,5	1,6	1650	1,6	1,6	1100	1,6	1,6	5	800	2,0	1,60	2,00	2,50

Таблица 5

Результаты радиографирования сварного образца (стыковой св. шов) - F=800мм, $\sigma_{\text{св}} = 0,027\text{мм}$

Проб № толщ d, мм	Радиографическая пленка Д7										Форматик - 40 (Flex HR)		
	Црт., кВ	Ит, макс мин	D	Ф _{мич} , мм	Расшифровка по ГОСТ 7512-82	Примечания в	Црт., кВ	Ит, макс мин	Уро- вень, %	Ф _{мич} , мм	Расшифровка по ГОСТ 7512-82	Примечания	
1	140	20	1,8	0,16	2П0,5; П0,8; Т3; (Н5) Ш6х1; Ш2х1; Н8; (2П0,5) (Н50); (П0,5); С32П1; П1; 2П0,5; Н100	Т3-пора с усом; С32П1; П1- вертик. вытучные канальные поры (свищи)	110	10	23	0,16	2П0,5; П0,8; Т3; Н5; Ш6х1 Ш2х1; Н8; 2П0,5; Н50; П0,5; С32П1; П1; 2П0,5; Н100	Т3-пора с "усом"; С32П1; П1- вертик. выт. кан. поры (свищи); на Н265 2 свища	
2	140	20	1,8	0,16	Ш2х1,5; Н265; (П0,5); П1; (П0,5); П0,8; Ш2х1	на Н265 2 свища (верт. выт. кан. поры)	110	10	23	0,16	Ш2х1,5; Н265; П0,5; П1; П0,5; П0,8; Ш2х1	на Н265 2 свища	
1	200	12	1,7	0,15	П0,8; Т3; Ш6х1; Ш2х1; Н8; Н35; С32П1; П1; 2П0,8; Н100	Т3-пора "усом"; вертик. выт. поры контрастно не выражены	180	8	19	0,25	П0,8; Т3; Ш6х1; Ш2х1; Н8 Н35; С32П1; П1; 2П0,8; Н100	Т3-пора с "усом"; свищи контрастно не выражены	
2	200	12	1,7	0,15	Ш2х1,5; Н265; П1; П0,8; Ш2х1	свищи на Н265 контрастно не выражены	180	8	19	0,25	Ш2х1,5; Н265; П1; П0,8; Ш2х1	свищи на Н265 контрастно не выражены	

* - св. образцу толщиной d=10мм на подкладке толщиной 10мм.

○ - дефекты не выявляются при d=20мм на р. пленке и ф. пластине

○ - дефект Н50, выявленный при d=10мм, выявляется газигно, как Н35, при толщине d=20мм на р. пленке и ф. пласт

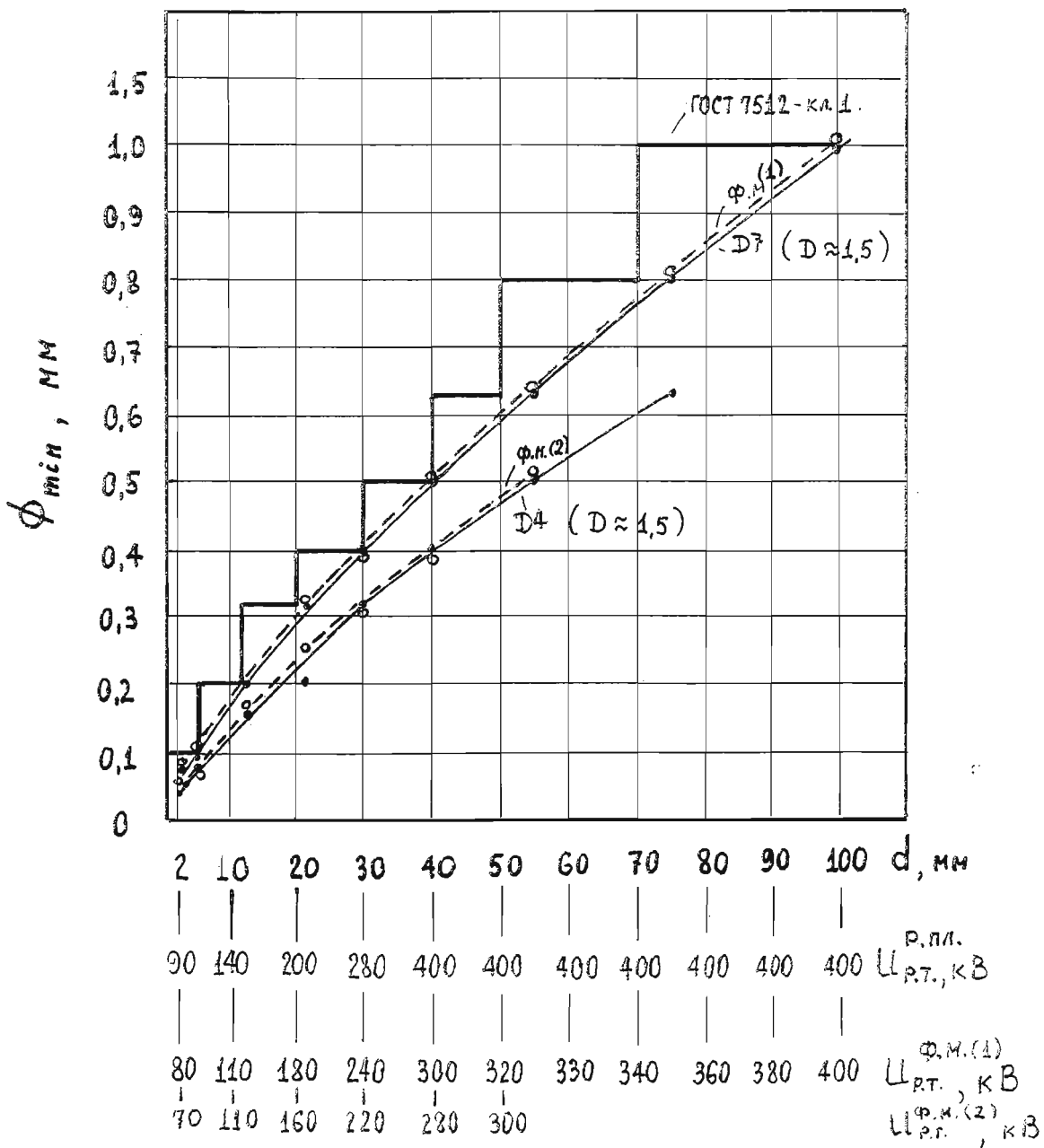


Рис. 1. Чувствительность контроля (проволочный эталон) в зависимости от просвечиваемой толщины стали при соответствующем напряжении на рентгеновской трубке :
 ————— радиографическая пленка (значения $U_{р.т.}$ соответствуют ГОСТ 20426-82), - - - - - флуороэмульсия Flex NR (ур. серого $\approx 20\%$)
 Ступенчатая кривая отражает требования к ϕ_{min} для 1-го класса чувствительности по ГОСТ 7512-82.

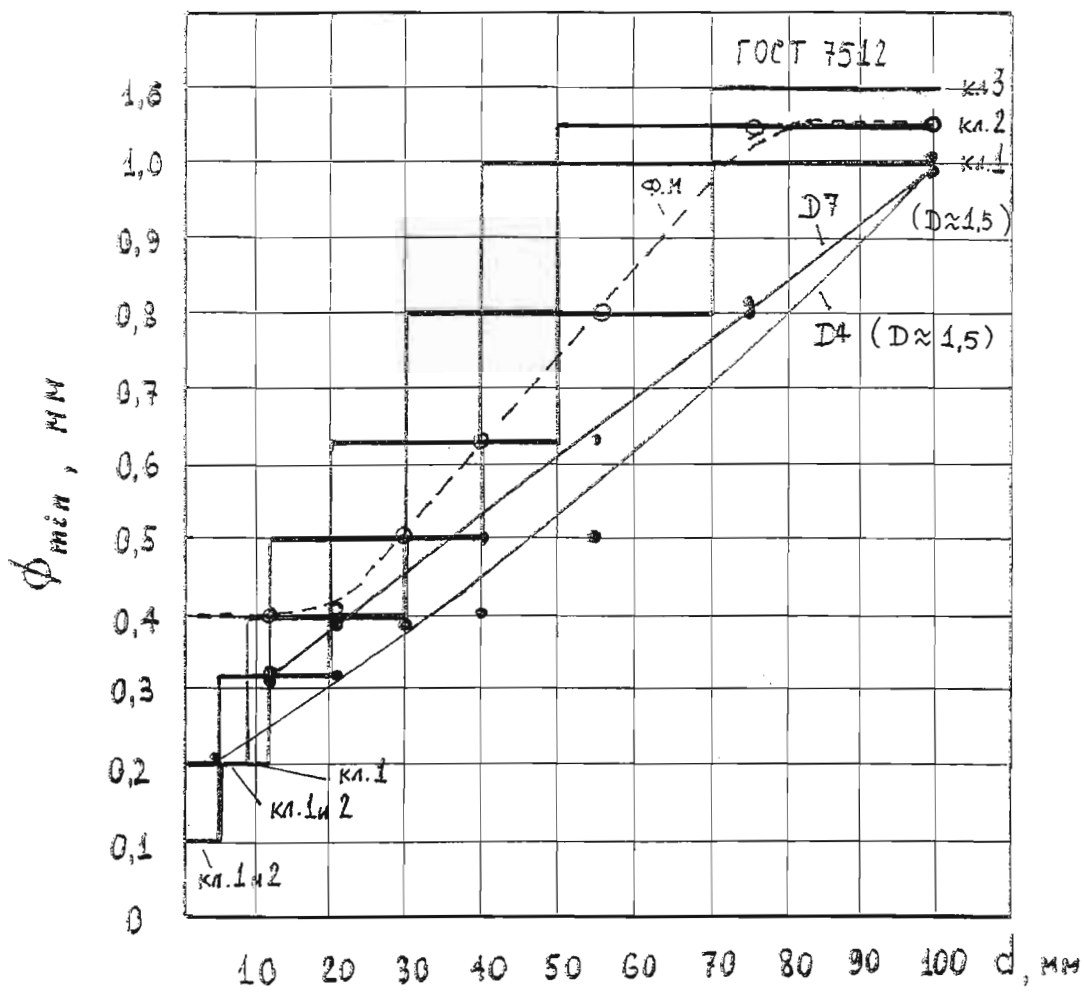


Рис. 2. Чувствительность контроля (проволоочный эталон)

в зависимости от проецируемой толщины стали

при использовании гамма-изотопника $I_{\gamma-192}$;

— радиграфическая пленка, ---- фосфоматик Flex HR ($\approx 20\%$)

Ступенчатая кривая отражает требования к ϕ_{min} для 1,2,3 класса чувствительности по ГОСТ 7512-82 .

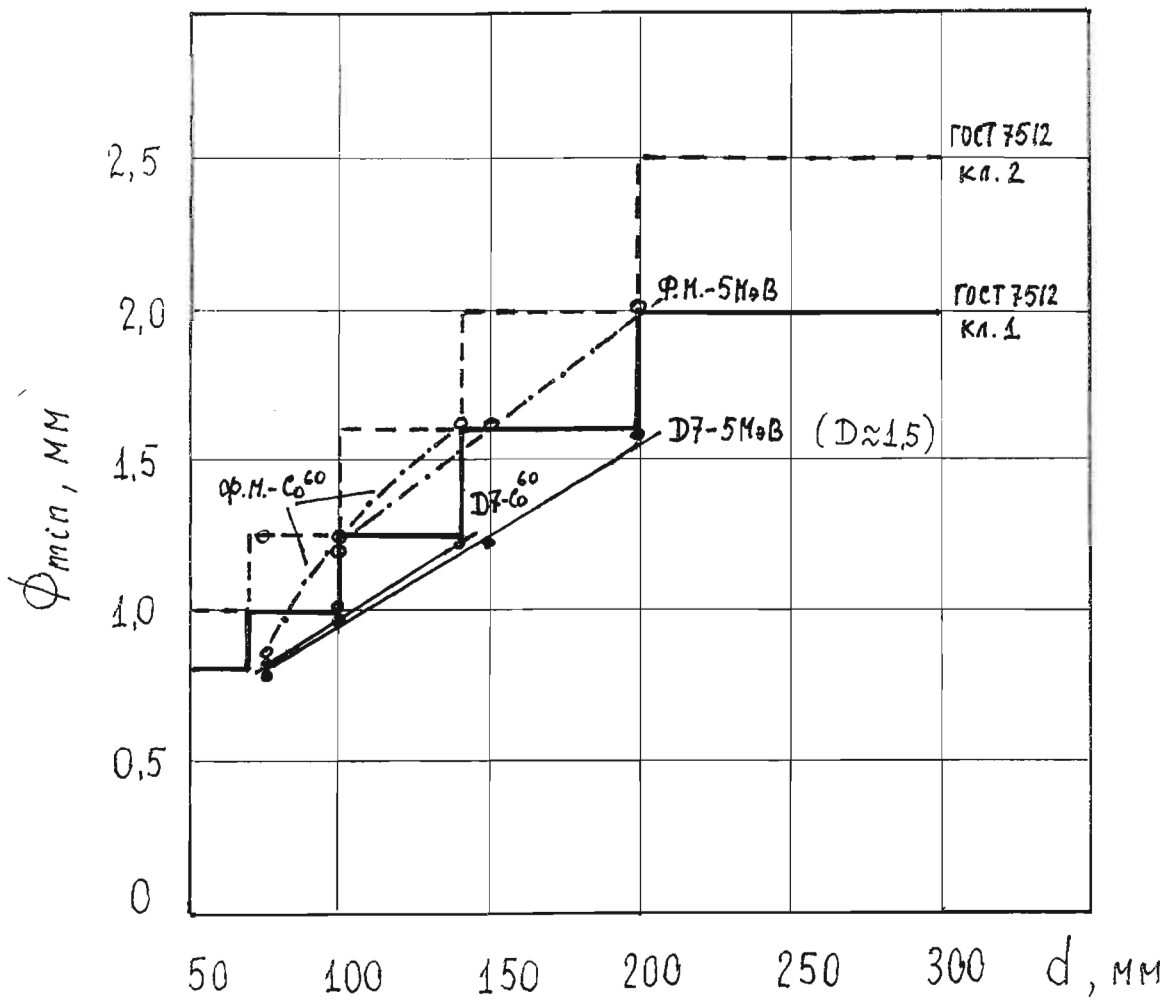


Рис. 3 Чувствительность контроля (проволожный эталон)

в зависимости от просвечиваемой толщины стали при использовании гамма-источника $Co-60$ и линейного ускорителя электронов ЛУЭ-5МэВ :

— — радиографическая пленка ; — — — — фосфоратик Flex HR (ур. $\approx 20\%$)

Ступенчатая кривая отражает требования к ϕ_{min} для 1 и 2-го класса чувствительности по ГОСТ 7512-82 .

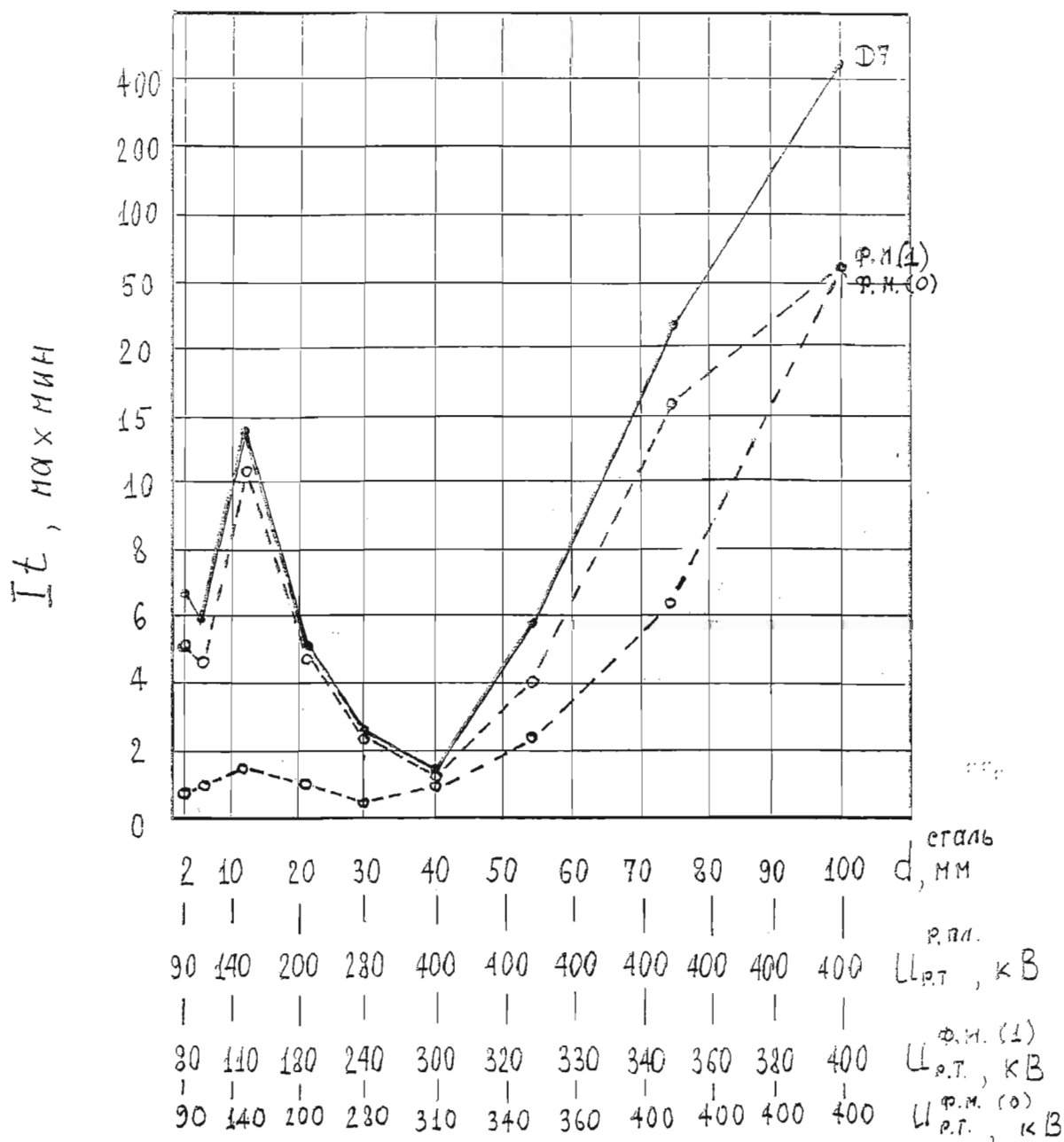


Рис. 4. Номограммы экспозиций рентгенопроектирования.

Фокусное расстояние (источник-кассета) $F = 800$ мм.

— радиграфическая пленка D7 (оптич. плотн. $D = 1,5$);

--- фосфоратик Flex HR (уровень $\approx 20\%$)

(свинцовый экран $d = 0,027$ мм (для "Фосфоратик" при $d \geq 75$ мм - $d = 0,1$ мм).

$d_{детали} \leq 21$ мм - РУП-150/300; $d_{детали} \geq 30$ мм - МС-420.

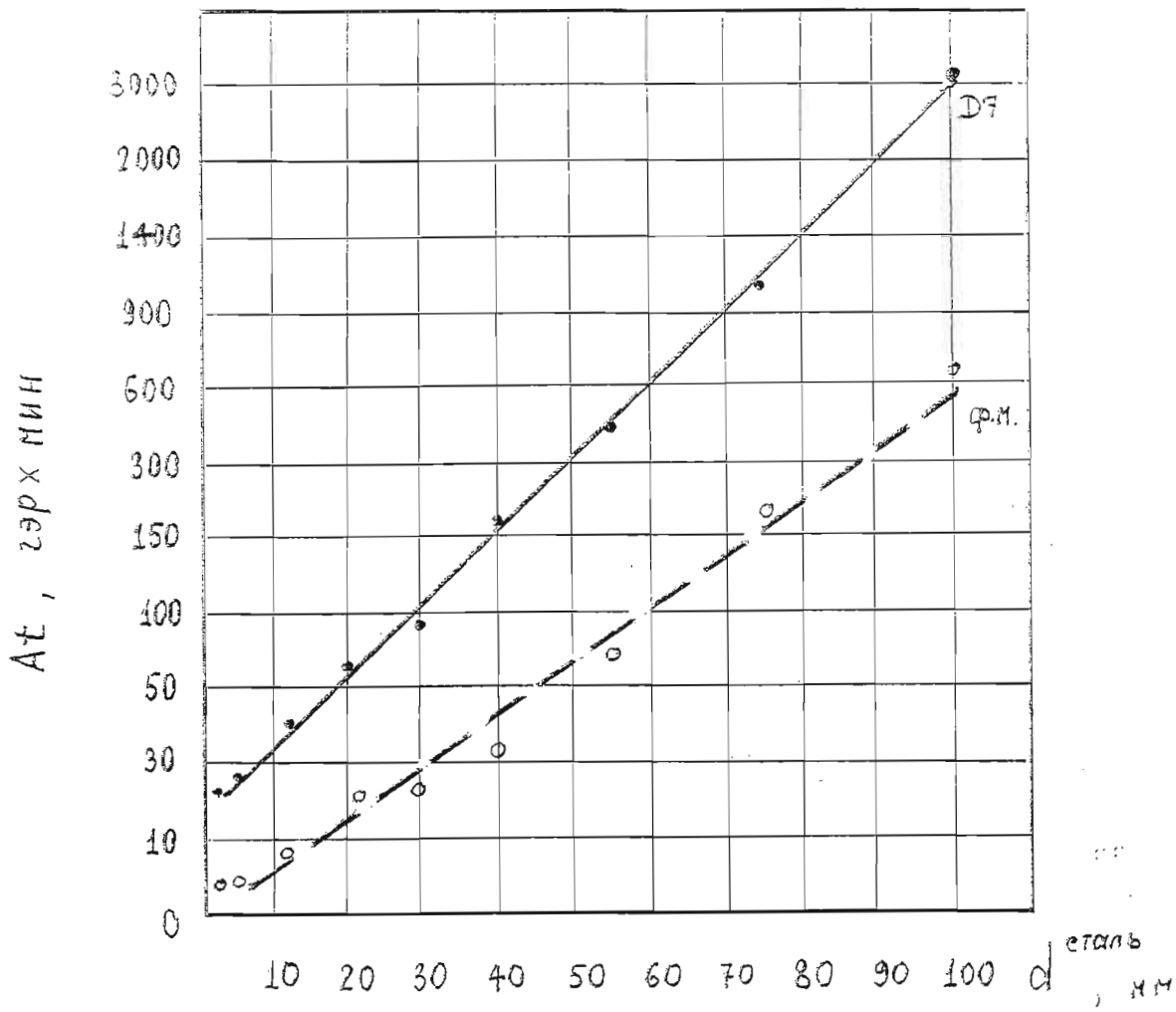


Рис. 5 Номограммы экспозиций гамма-проектирования.

Источник излучения - ^{125}I -192. Активность 26 гэр. Фокус. патно 3x3 мм.

Фокусное расстояние (источник - кассета) $F = 500$ мм :

— — — радиографическая пленка D7 (оптич. плотн. $D = 1,5$) ;

- - - - - фосфоратик Flex HR (уровень $\approx 20\%$)

Свинцов(олов.) экран : р. пленка - $d = 0,2$ мм; фосфоратик - $d = 0,1$ мм.

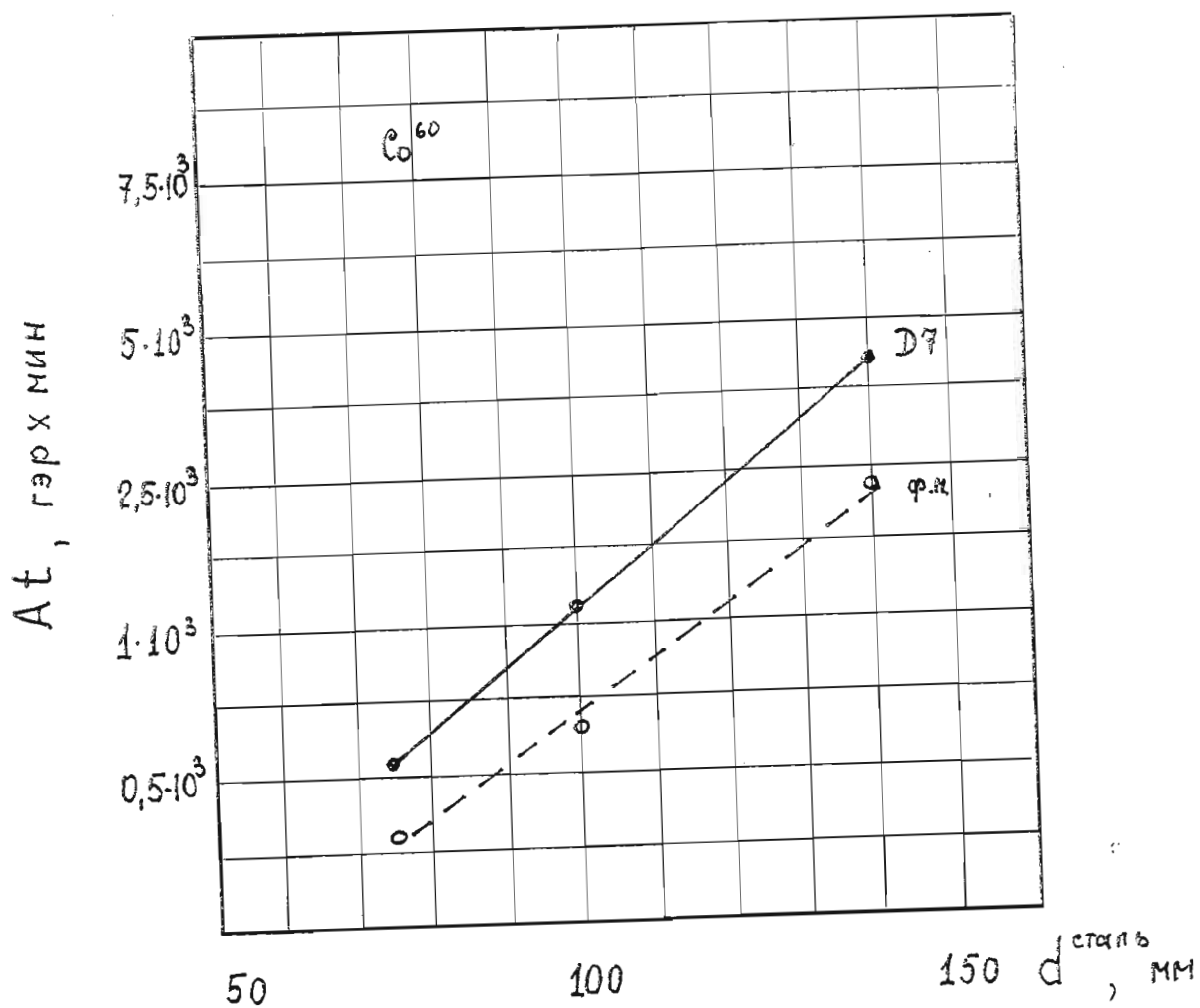


Рис. 6. Номограммы экспозиций гамма-проектирования

Источник излучения - $Co-60$. Активность 30 гэр. Фок. пятно 4×4 мм.

Фокусное расстояние (источник-кассета) $F = 700$ мм :

— — — — радиографическая пленка D7 (оптич. плотн. $D = 1,5$);

- - - - - флуороматик Flex HR (уровень $\approx 20\%$)

Свинцов. (олов.) экран толщиной $d = 0,5$ мм.

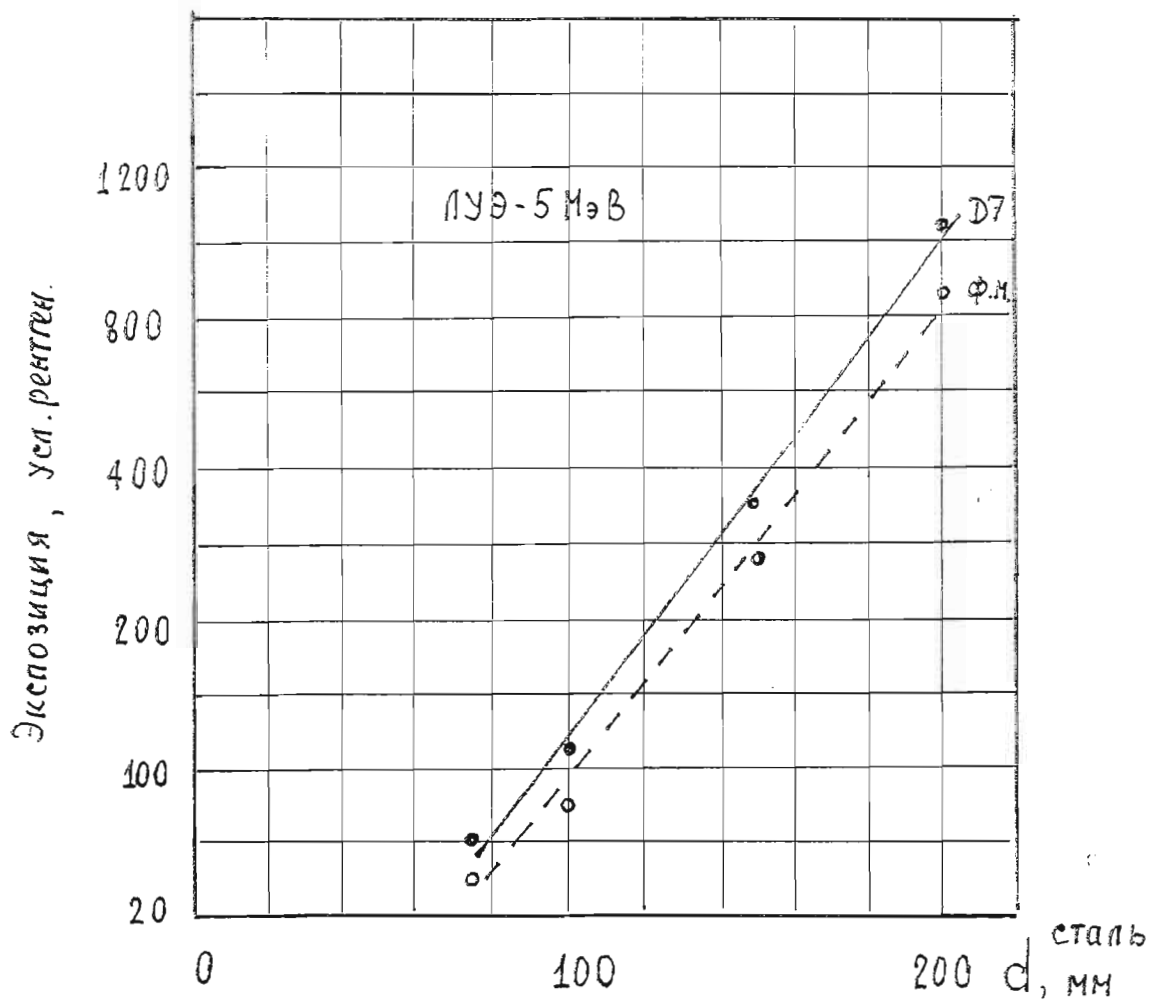


Рис.7. Номограммы экспозиции просвечивания
 тормозным излучением ускорителя электронов ЛУЭ-5 МэВ.
 Фокусное расстояние (источник-кассета) $F=4000$ мм:

————— радиографическая пленка D7 (оптич. плотн. $D=1,5$)

- - - - - фтороматик Flex HR (уровень $\approx 20\%$)

Свинцов. (оловян.) экран толщиной $\delta = 0,5$ мм.