

УТВЕРЖДАЮ

**Начальник
Испытательного центра
ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ**

А.Н. Луценко

2016 г.



**ОТЧЕТ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ
РАДИОГРАФИЧЕСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПЛЕНОК IX 30, IX50, IX80, IX100
КОМПАНИИ FUJIFILM.**

Москва 2016 г.

1. **Основание для выполнения работы:** договор № 897-16-16 от 07.07.2016 г.

2. **Цель работы:** определение возможности применения радиографических технических пленок IX 30, IX50, IX80, IX100 компании FUJIFILM в радиографическом неразрушающем контроле изделий авиационной промышленности.

3. **Условия проведения испытаний.**

Объекты для исследований: листы радиографических пленок IX 30, IX50, IX80, IX100 производства компании FUJIFILM.

Испытания проводили для определения дефектоскопических характеристик: дефектоскопической ширины, чувствительности пленки к излучению, показателя контрастности пленки, разрешающей способности. По заявленным сенситометрическим характеристикам IX 30 относится к классу C2; IX50 – C3; IX80 – C4; IX100 – C5. Поэтому испытания проводили сравнивая их с соответствующими аналогами–пленками производства компании Agfa (арбитражные), классы которых установлены и подтверждены многократными испытаниями. Для IX30 в качестве арбитражной использовали D3 класса C2, IX 50 – D4 класса C3, IX80 – D5 класса C4; пленку IX100 испытывали в паре с пленкой D7 класса C5 (классы C2–C5 по ISO 11699-1:2008 «Рентгенографические пленки для промышленной радиографии. Классификация пленочных систем для промышленного радиографического контроля»).

Для проведения испытаний были использованы специальные испытательные образцы. На рис. 1, в табл. 1 и табл. 2 представлены эскизы и размеры испытательных образцов для определения дефектоскопической ширины радиографических пленок (а) и показателя контрастности (б).

Таблица 1

Технические данные испытательных образцов для определения дефектоскопической ширины.

Испытательный образец	Высота ступенек, мм						
	3	8	10	15	19	22	26
Ступенчатый клин № 1 из магниевого сплава	3	8	10	15	19	22	26
Стальной ступенчатый клин № 1 (Fe1)	2	4	6	8	10	12	14
Стальной ступенчатый клин № 2 (Fe2)	14	18	22	26	30	34	38

Таблица 2

Технические данные испытательных образцов для определения показателя контрастности.

Материал	Fe 1	Al	Fe 2	Ti
Толщина образца, мм	20,0	12,0	70,0	14,0
Глубина канавок, мм				
d ₁ (1%)	0,20	0,12	0,70	0,14
d ₂ (2%)	0,40	0,24	1,40	0,28
d ₃ (3%)	0,60	0,36	2,10	0,42
d ₄ (4%)	0,80	0,48	2,70	0,56
d ₅ (5%)	1,0	0,60	3,5	0,70
d ₆ (10%)	2,0	1,2	7,0	1,4

Определение дефектоскопических характеристик радиографических технических пленок IX 30, IX50, IX80, IX100 осуществляли при режимах, указанных в табл. 3. На испытываемую и «арбитражные» радиографические пленки было проведено экспонирование испытательных образцов:

- стальные ступенчатые клинья Fe1 и Fe2;
- магниевый ступенчатый клин Mg;
- образцы с канавками Fe 1, Fe 2, Al и Ti;
- пластина из стали толщиной 22 мм;
- индикатор качества изображения двупроволочного типа (дуплекса) по ISO 19232-5.

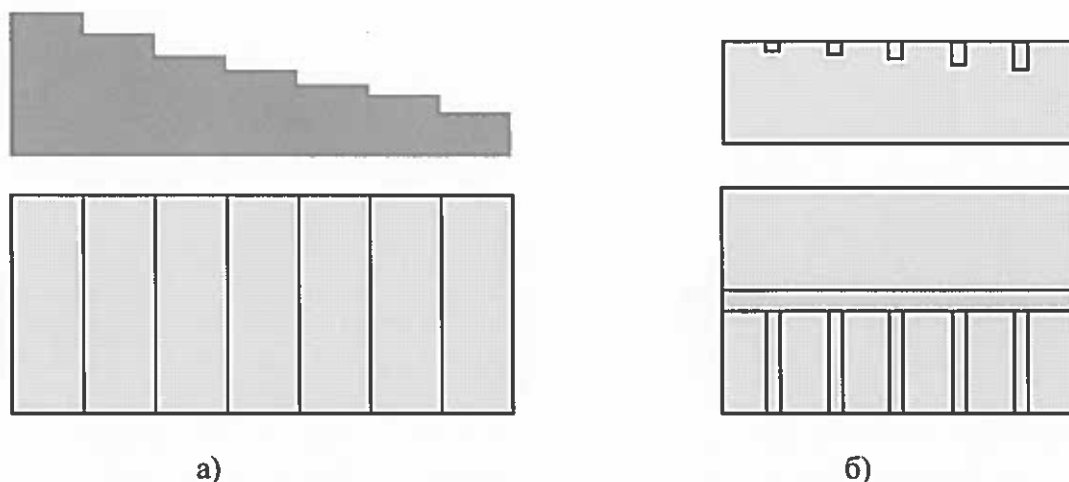


Рис.1 Эскиз испытательных образцов: а) ступенчатый клин для определения дефектоскопической ширины, б) образец с канавками для определения контрастности.

Таблица 3

Режимы экспонирования			
Образец	Испытуемые пары	Напряжение, кВ	Экспозиция, мА×мин
1	2	3	4
Клин из Mg	IX30 – D3	40	45
	IX50 – D4	40	30
	IX80 – D5	40	20
	IX100 – D7	40	15
Клин из Fe1	IX30 – D3	120	45
	IX50 – D4	120	35
	IX80 – D5	120	20
	IX100 – D7	120	15
Клин из Fe2	IX30 – D3	220	40
	IX50 – D4	220	22
	IX80 – D5	220	15
	IX100 – D7	220	10
Клин для 450 кВ	IX30 – D3	450	24
	IX50 – D4	450	12,8
	IX80 – D5	450	8
	IX100 – D7	450	8

Дуплексный эталон	IX30 – D3	170	30
	IX50 – D4	170	20
	IX80 – D5	170	15
	IX100 – D7	170	10
Образец с канавками Fe1	IX30 – D3	200	8,4
	IX50 – D4	200	6,8
	IX80 – D5	200	3,9
	IX100 – D7	200	2,3
Образец с канавками Fe2	IX30 – D3	450	40
	IX50 – D4	450	16
	IX80 – D5	450	8,8
	IX100 – D7	450	7
Образец с канавками Al	IX30 – D3	50	30
	IX50 – D4	50	20
	IX80 – D5	50	10
	IX100 – D7	50	9
Образец с канавками Ti	IX30 – D3	120	6,4
	IX50 – D4	120	5
	IX80 – D5	120	3
	IX100 – D7	120	1,6

На рис.2 показаны схемы зарядки кассет для разных режимов экспонирования. На рис. 3 показана схема экспонирования испытательных образцов.

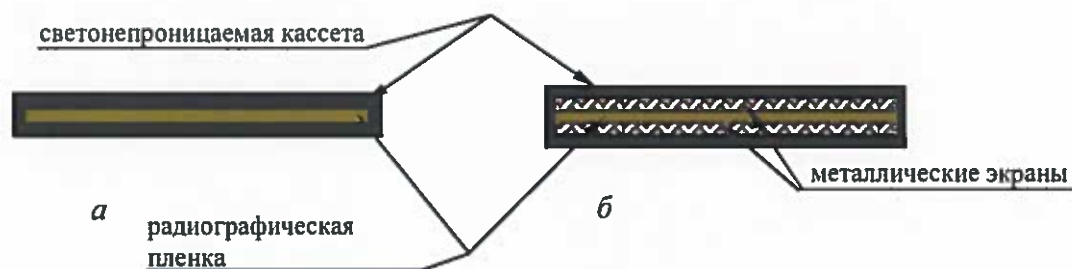


Рис. 2. Схема зарядки кассет: а – при экспонировании с режимом 40 кВ; б – при экспонировании с режимами 120, 220 и 450 кВ.

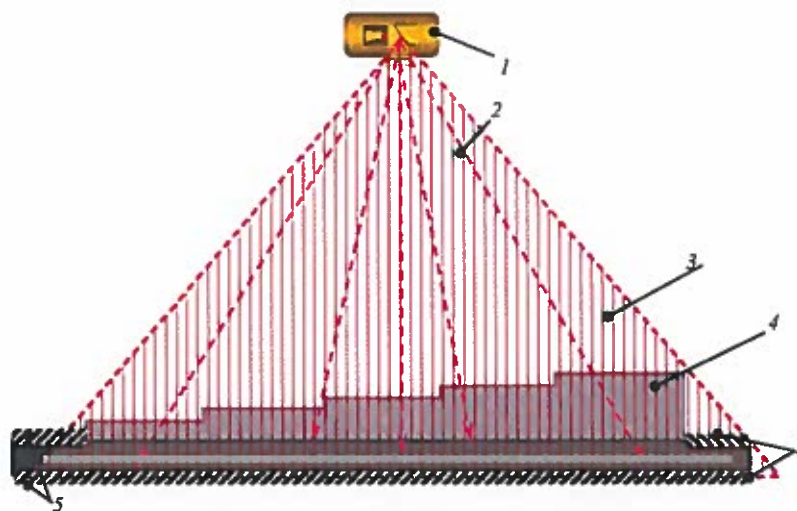


Рис. 3. Схема получения рентгенограмм при испытании радиографических пленок экспозиций:

- 1 – рентгеновская трубка; 2 – рентгеновское излучение;
3– ступенчатый клин; 4– кассета с радиографической пленкой;
5 – защитные экраны.

4. Определение дефектоскопической широты

Фотообработку экспонированных радиографических пленок проводили в одинаковых условиях в фоторастворах для ручной фотообработки, рекомендованных фирмами-производителями радиографических пленок. Для пленок D3, D4, D5, D7 (Agfa) использовали – проявитель G-128 и фиксаж G-328; для пленок IX 30, IX50, IX80, IX100 (FUJIFILM) проявитель IX M DEVELOPER, фиксаж IX M FIXER.

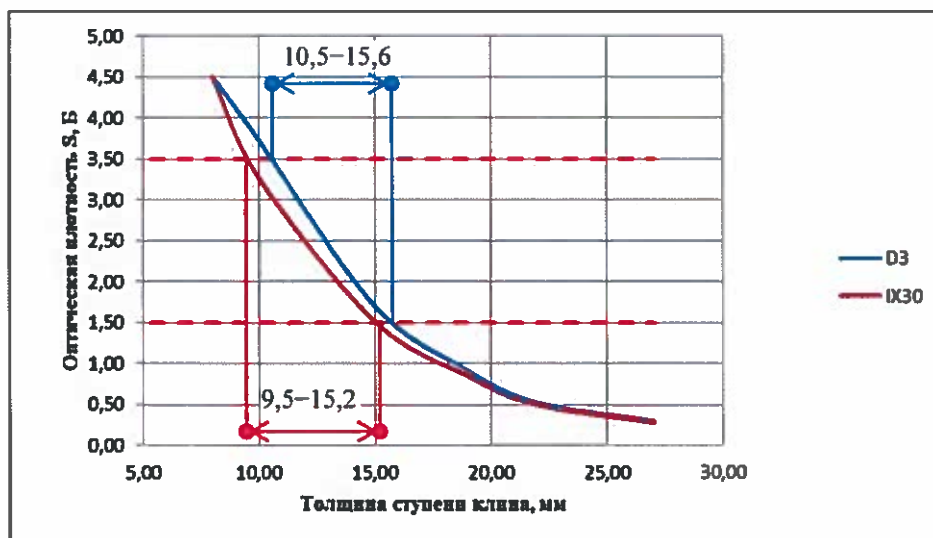
Полученные рентгенограммы фотометрировали, используя денситометр DD5005-220 и негатоскоп KOWOLUX 4. Максимальная оптическая плотность, которая допускается при расшифровке рентгенограмм на используемом негатоскопе составляет 4,5 Б. Результаты фотометрирования приведены в табл. 4. и на рис. 4–6.

Таблица 4

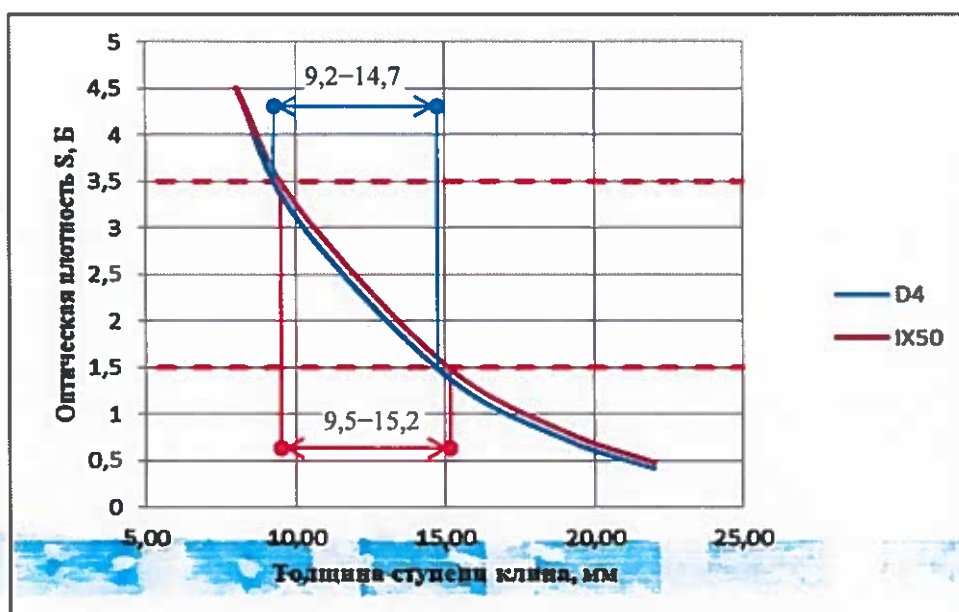
Результаты фотометрирования рентгенограмм

Объект контроля		Оптическая плотность рентгенограмм, Б, выполненных на пленках;							
Тип и номер ступенчатого клина	Толщина ступенек, мм	FUJI IX30	Agfa D3	FUJI IX50	Agfa D4	FUJI IX80	Agfa D5	FUJI IX100	Agfa D7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mg	3	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5
	8	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	4	>4,5
	10	3,27	3,73	3,26	3,12	3,79	4,48	3,44	>4,5
	15	1,52	1,70	1,53	1,42	1,97	2,89	1,66	2,14
	19	0,85	0,91	0,81	0,73	1,05	1,68	0,85	1,12
	22	0,49	0,52	0,48	0,42	0,59	0,89	0,48	0,63
	26	0,28	0,30	0,45	0,30	0,35	0,50	0,28	0,37

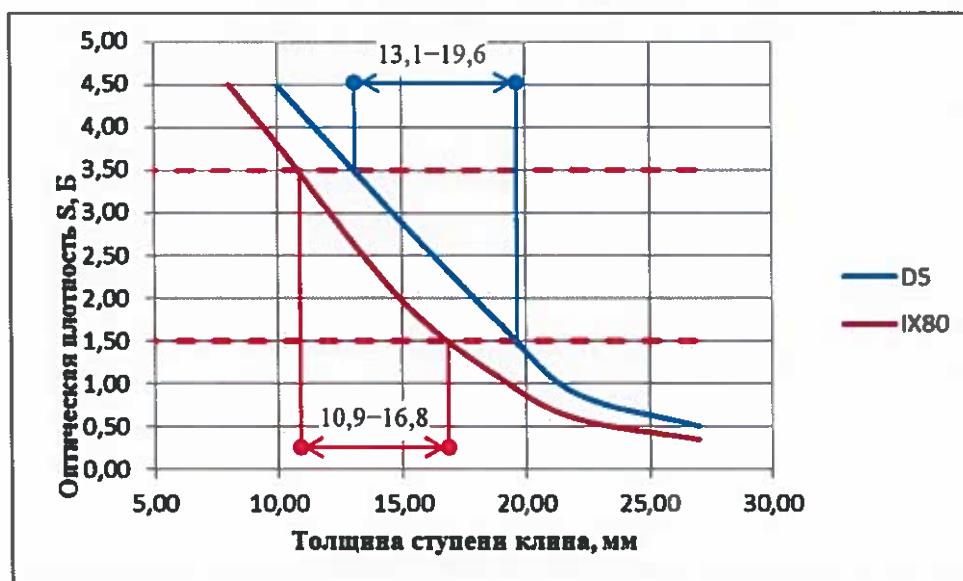
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
вуаль		0,11	0,11	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16
Fe 1	2	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5
	4	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5
	6	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5
	8	3,81	>4,5	>4,5	>4,5	3,93	>4,5	4,18	>4,5
	10	2,14	2,61	2,88	2,79	2,51	3,06	2,75	3,25
	12	1,27	1,49	1,67	1,61	1,49	1,78	1,74	1,97
	14	0,79	0,90	1,03	0,88	0,91	1,09	1,06	1,25
Fe 2	14	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5
	18	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5
	22	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5	>4,5
	26	>4,5	>4,5	3,59	3,43	3,45	>4,5	3,19	>4,5
	30	2,78	3,17	2,40	2,22	2,56	3,05	2,35	3,03
	34	1,71	2,00	1,58	1,42	1,78	2,04	1,61	2,00
	38	1,13	1,29	1,02	0,95	1,27	1,35	1,03	1,38
Клин для 450 кВ	52	3,54	3,72	4,21	4,11	3,98	>4,5	>4,5	>4,5
	54	3,25	3,53	3,99	3,92	3,75	4,49	>4,5	>4,5
	56	3,00	3,29	3,56	3,47	3,47	4,10	4,05	>4,5
	58	2,87	3,16	3,15	3,05	3,12	3,79	3,78	>4,5
	60	2,49	2,79	2,73	2,60	2,76	3,14	3,42	>4,5
	62	2,11	2,37	2,28	2,18	2,34	2,71	2,98	3,96
	64	1,79	1,95	1,93	1,82	1,93	2,39	2,81	3,32
	68	1,50	1,57	1,78	1,70	1,87	2,16	2,42	2,94
	72	1,29	1,38	1,44	1,34	1,57	1,71	1,96	2,40
	76	1,17	1,29	1,14	1,09	1,26	1,40	1,55	1,91
	80	0,95	0,99	0,94	0,79	1,01	1,18	1,22	1,55
	84	0,77	0,79	0,78	0,69	0,73	0,91	0,98	1,30



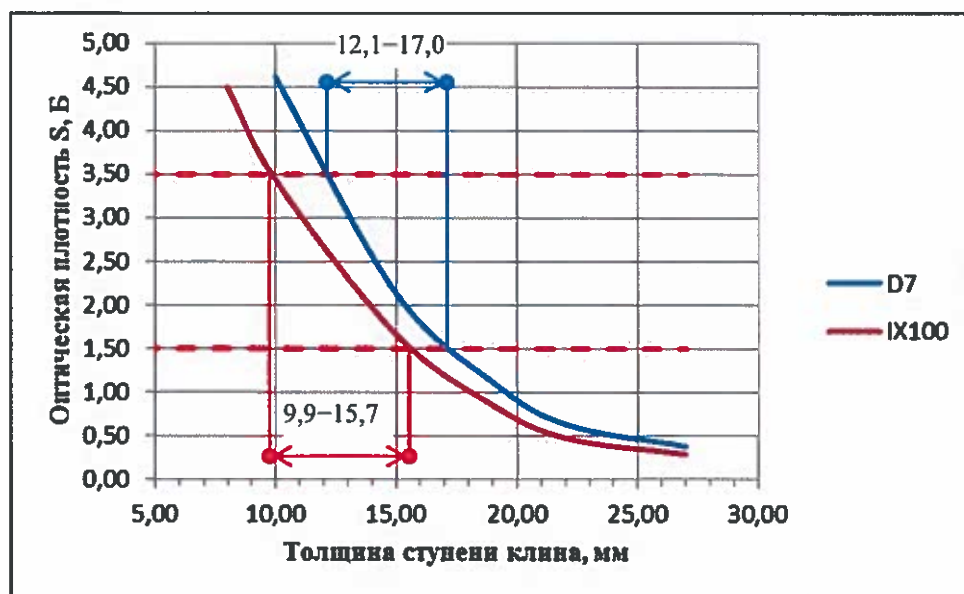
а) Ширина радиографических пленок D3, IX30



б) Ширина радиографических пленок D4, IX50

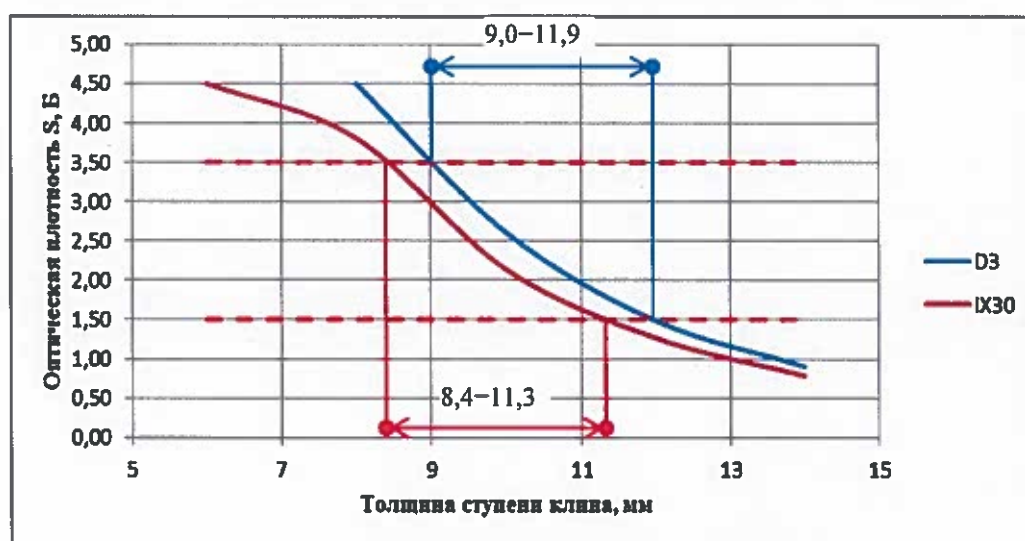


в) Ширина радиографических пленок D5, IX80

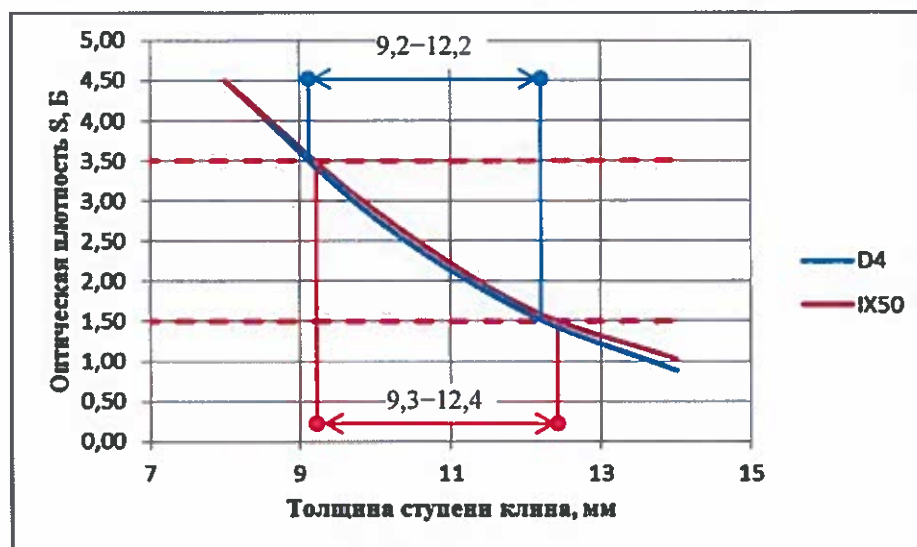


г) Ширина радиографических пленок D7, IX100

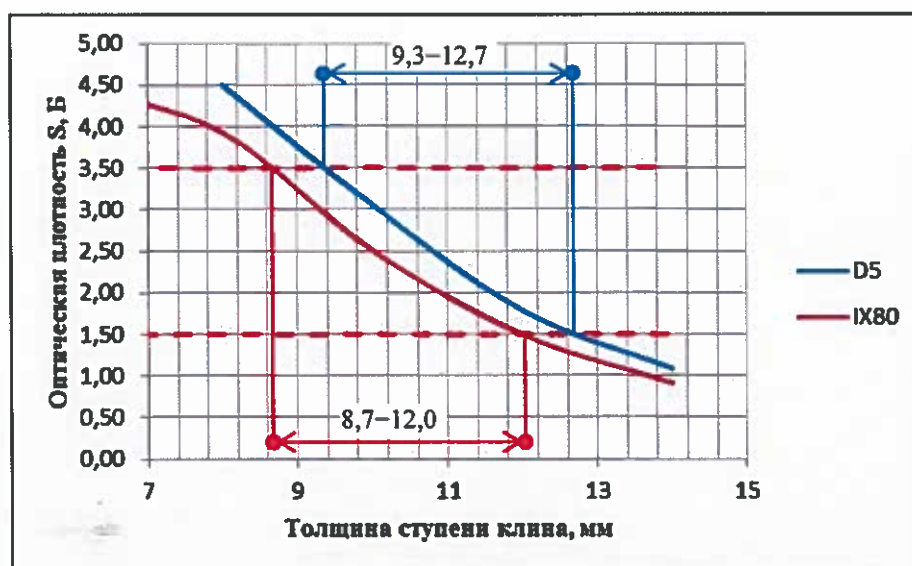
Рис. 4. Зависимость оптической плотности от толщины магниевого клина и ширина для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



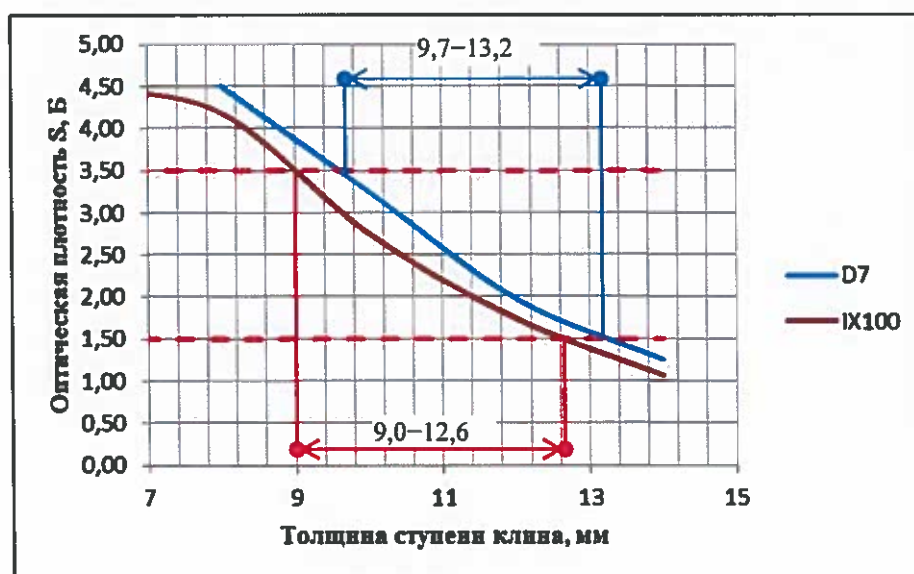
а) Ширина радиографических пленок D3, IX30



б) Ширина радиографических пленок D4, IX50

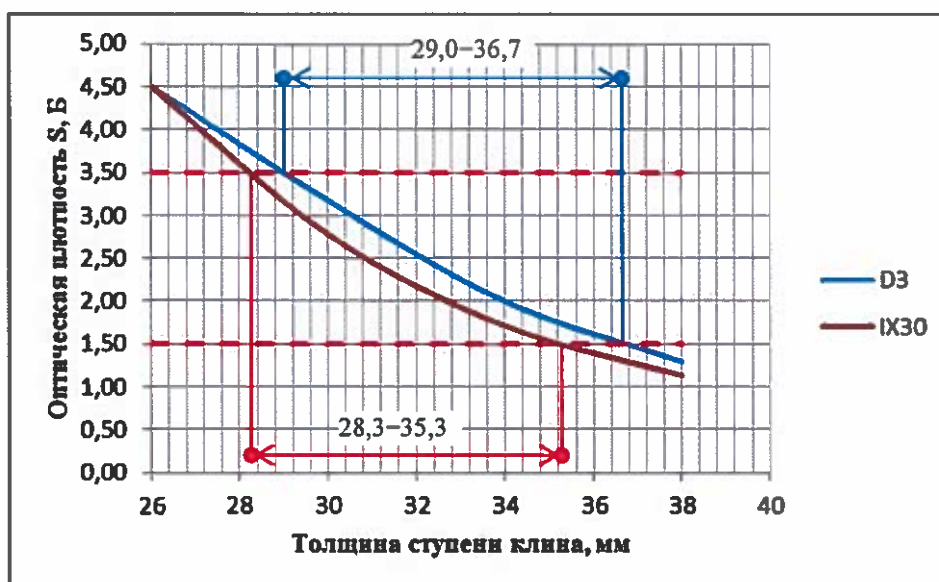


в) Ширина радиографических пленок D5, IX80

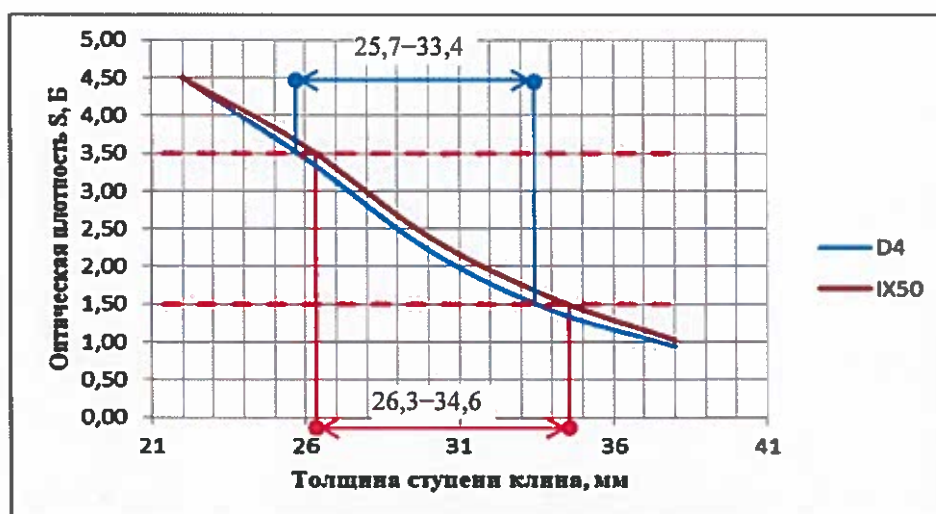


г) Ширина радиографических пленок D7, IX100

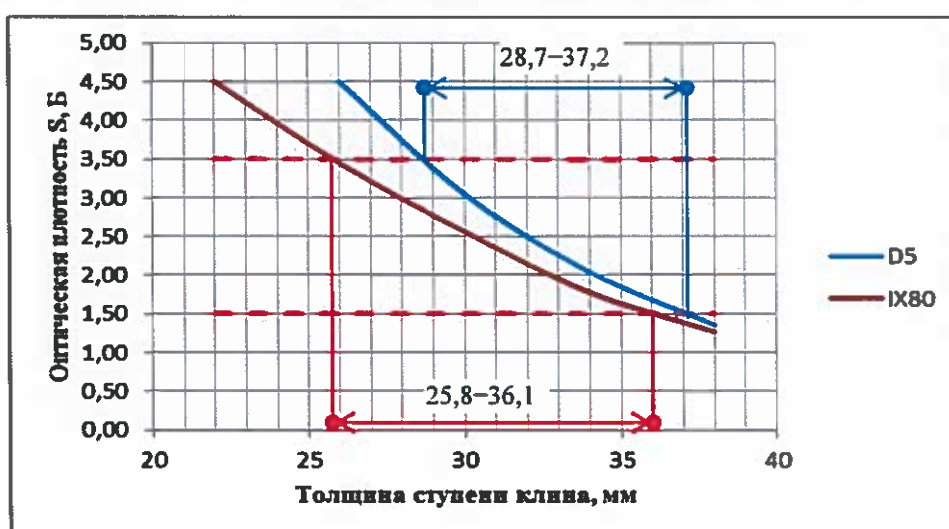
Рис. 5. Зависимость оптической плотности от толщины стального клина Fe1 и ширина для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



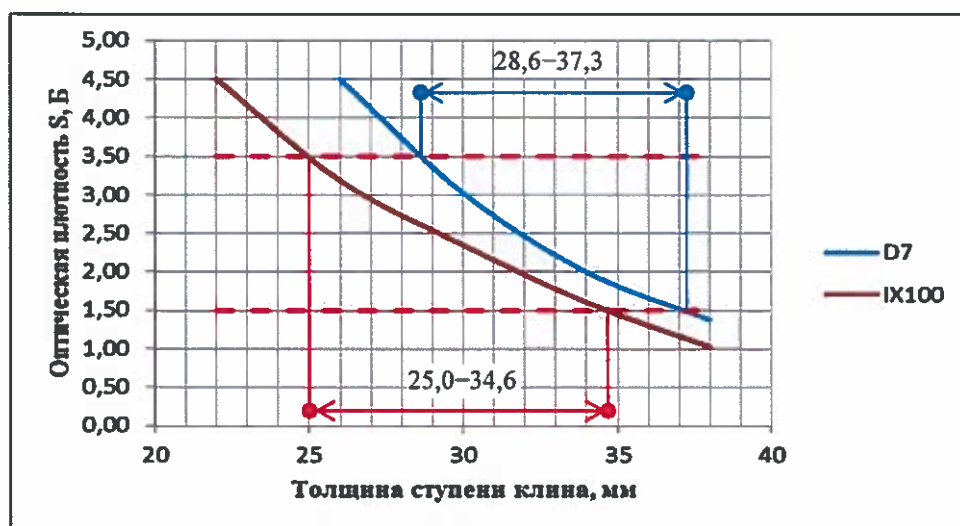
а) Ширина радиографических пленок D3, IX30



б) Ширина радиографических пленок D4, IX50

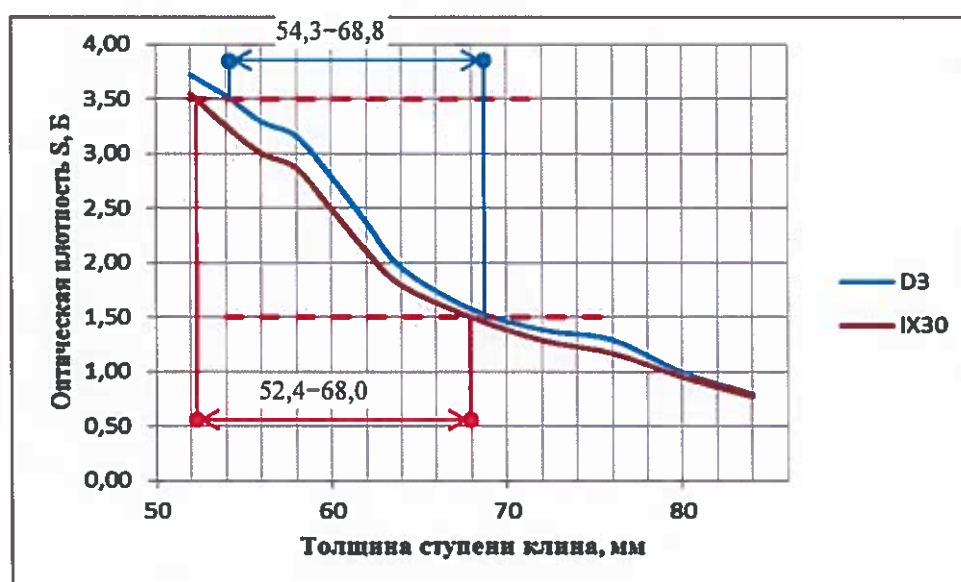


в) Ширина радиографических пленок D5, IX80

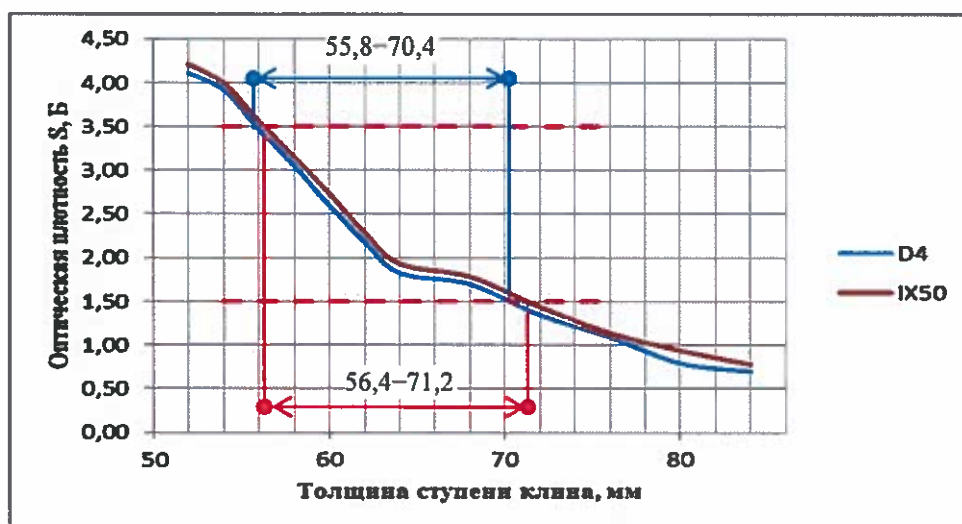


г) Ширина радиографических пленок D7, IX100

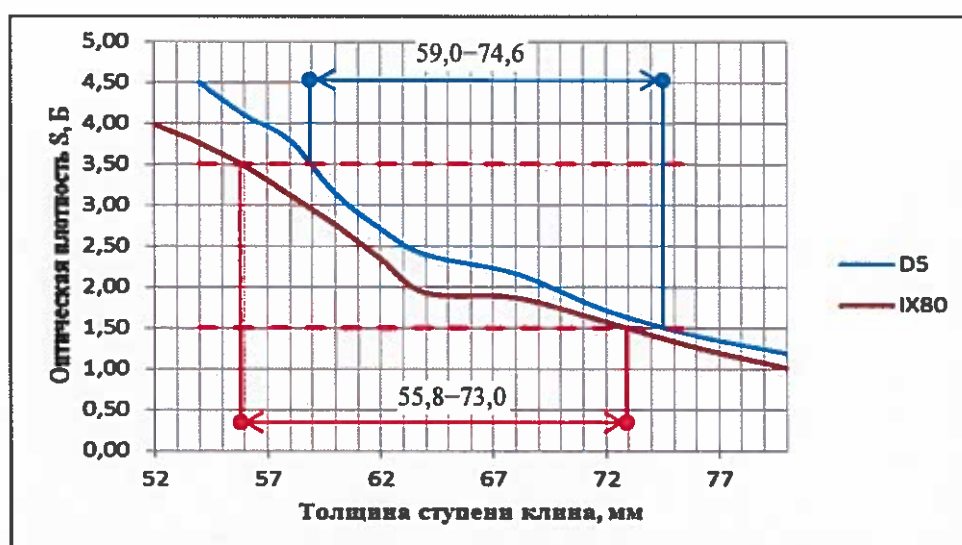
Рис. 6. Зависимость оптической плотности от толщины стального клина Fe2 и ширина для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



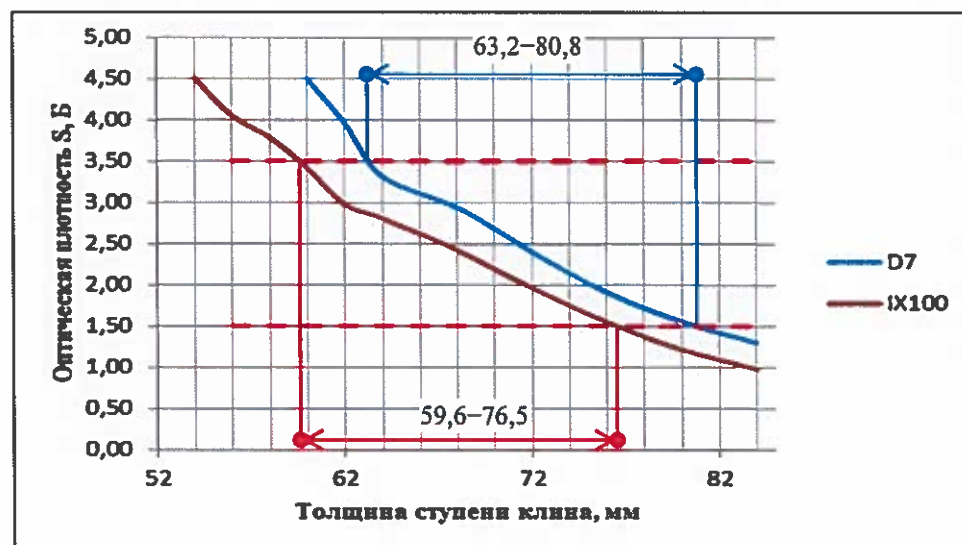
а) Ширина радиографических пленок D3, IX30



б) Ширина радиографических пленок D4, IX50



в) Ширина радиографических пленок D5, IX80



г) Ширина радиографических пленок D7, IX100

Рис. 7. Зависимость оптической плотности от толщины клина для 450 кВ и ширина для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.

По графикам, представленным на рис. 4–7, были определены значения ширины пленок при разных значениях анодного напряжения (табл. 5). Под шириной понимают диапазон просвечиваемой толщины материала, изображение которого на рентгенограмме укладывается в диапазон оптической плотности, допускаемый к расшифровке 1,5–3,5 Б.

Таблица 5

Ширина радиографических пленок		
Анодное напряжение, кВ	Тип пленок	Ширина, мм
40 (рис. 4)	FUJI IX30	9,5–15,2 (5,7)
	Agfa D3	10,5–15,6 (5,1)
	FUJI IX50	9,5–15,2 (5,7)
	Agfa D4	9,2–14,7 (5,5)
	FUJI IX80	10,9–16,8 (5,9)
	Agfa D5	13,1–19,6 (6,5)
	FUJI IX100	9,9–15,7 (5,8)
	Agfa D7	12,1–17,0 (4,9)
120 (рис. 5)	FUJI IX30	8,4–11,3 (2,9)
	Agfa D3	9,0–11,9 (2,9)
	FUJI IX50	9,3–12,4 (3,1)
	Agfa D4	9,2–12,2 (3,0)
	FUJI IX80	8,7–12,0 (3,3)
	Agfa D5	9,3–12,7 (3,4)
	FUJI IX100	9,0–12,6 (3,6)
	Agfa D7	9,7–13,2 (3,5)
220 (рис. 6)	FUJI IX30	28,3–35,3 (7,0)
	Agfa D3	29,0–36,7 (7,7)
	FUJI IX50	26,3–34,6 (8,3)
	Agfa D4	25,7–33,4 (7,7)
	FUJI IX80	25,8–36,1 (10,3)
	Agfa D5	28,7–37,2 (8,5)
	FUJI IX100	25,0–34,6 (9,6)
	Agfa D7	28,6–37,3 (8,7)
450 (рис. 7)	FUJI IX30	52,4–68,0 (15,6)
	Agfa D3	54,3–68,8 (14,5)
	FUJI IX50	56,4–71,2 (14,8)
	Agfa D4	55,8–70,4 (14,6)
	FUJI IX80	55,8–73,0 (17,2)
	Agfa D5	59,0–74,6 (16,6)
	FUJI IX100	59,6–76,5 (16,9)
	Agfa D7	63,2–80,8 (17,6)

Выводы:

Из данных табл. 5 видно, что при энергии излучения, соответствующей анодному напряжению 40 кВ ширина радиографической пленки IX80 (FUJI) меньше соответствующей пленке Agfa D5 на 0,6 мм. Ширина пленок IX30, IX50, IX100 больше соответствующим пленкам Agfa D3, D4, D7 на 0,6 мм, 0,2 мм и 0,9 мм соответственно.

При энергии излучения, соответствующей напряжению 120 кВ, ширина радиографических пленок:

- IX30 равна D3;
- IX50 больше D4 на 0,1 мм;
- IX80 меньше D5 на 0,1 мм;
- IX100 больше D7 на 0,1 мм.

При энергии излучения, соответствующей напряжению 220 кВ, ширина радиографических пленок:

- IX30 меньше D3 на 0,1 мм;
- IX50 больше D4 на 0,6 мм;
- IX80 больше D5 на 1,8 мм;
- IX100 больше D7 на 0,9 мм.

При энергии излучения, соответствующей напряжению 450 кВ, ширина радиографических пленок:

- IX30 больше D3 на 1,1 мм;
- IX50 больше D4 на 0,2 мм;
- IX80 больше D5 на 0,6 мм;
- IX100 меньше D7 на 0,7 мм.

5. Определение чувствительности пленки к излучению.

В таблице 5 числа, отмеченные жирным курсивом, соответствуют значениям толщины клиньев, при которых на радиографическом снимке достигается оптическая плотность 1,5 Б. Проведено сравнение этих значений для пленок FUJI IX30 и Agfa D3, FUJI IX50 и Agfa D4, FUJI IX80 и Agfa D5, FUJI IX100 и Agfa D7:

– в диапазоне энергий, соответствующих анодным напряжениям 40–450 кВ радиографические пленки Agfa D3, D5, D7 демонстрируют несколько большую чувствительность к излучению, чем пленки FUJI IX30, IX80, IX100 (рис.4, рис.6, рис.7), т.е. оптической плотности 1,5 Б соответствует большая толщина клиньев на пленках Agfa, а Agfa D4 меньшую чем FUJI IX50 (рис.5).

Вывод:

Чувствительность радиографических пленок FUJI IX30, IX80, IX100 к рентгеновскому излучению ниже, чем радиографических пленок Agfa D3, D5, D7 в диапазоне энергий, соответствующих анодным напряжениям 40–450 кВ, а чувствительность радиографической пленки FUJI IX50 выше, чем Agfa D4. При этом разница не превышает 4,3 мм.

6. Определение дефектоскопической чувствительности и показателя контрастности.

В табл. 6 приведены результаты измерения оптической плотности рентгенографического изображения канавок на образцах с канавками с оптической плотностью, 1,5–2,5 Б при разных значениях анодного напряжения. Фактически, это показатель дефектоскопической чувствительности. При сравнении значений оптической плотности выявляемых канавок видно, что:

- пленки FUJI IX30, IX50, IX80, IX100 не уступают по чувствительности к выявлению искусственных дефектов пленкам Agfa D3, D4, D5, D7 на всем диапазоне напряжений 40-450 кВ.

По данным табл. 6, построены графики зависимости $\Delta S/S = f(\Delta d/d)$ – относительного изменения оптической плотности от относительного изменения толщины просвечиваемого материала (рис. 8–11).

Таблица 6

Результаты измерения оптической плотности изображения канавок на изображении образца с канавками Al.

глубина лунок, % от высоты ступеней	IX30	D3	IX50	D4	IX80	D5	IX100	D7
	12мм/ 1,53Б	12мм/ 1,91Б	12мм/ 1,50Б	12мм/ 1,52Б	12мм/ 1,29Б	12мм/ 1,67Б	12мм/ 1,62Б	12мм/ 2,17Б
	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$
1%	0,03	0,02	0,04	0,05	0,01	0,03	0,04	0,03
2%	0,08	0,07	0,06	0,11	0,08	0,07	0,08	0,07
3%	0,12	0,09	0,12	0,13	0,12	0,09	0,10	0,10
4%	0,16	0,13	0,16	0,15	0,14	0,12	0,14	0,12
5%	0,18	0,16	0,19	0,17	0,17	0,14	0,15	0,15
10%	0,28	0,29	0,27	0,28	0,26	0,24	0,28	0,25

Результаты измерения оптической плотности изображения канавок на изображении образца с канавками Ti.

глубина лунок, % от высоты ступеней	IX30	D3	IX50	D4	IX80	D5	IX100	D7
	14мм/ 1,43Б	14мм/ 1,96Б	14мм/ 1,83Б	14мм/ 1,78Б	14мм/ 1,87Б	14мм/ 2,39Б	14мм/ 1,49Б	14мм/ 1,99Б
	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$
1%	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04
2%	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,07
3%	0,06	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09	0,10
4%	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,11	0,14
5%	0,12	0,15	0,13	0,14	0,12	0,12	0,14	0,15
10%	0,23	0,25	0,22	0,24	0,20	0,21	0,24	0,24

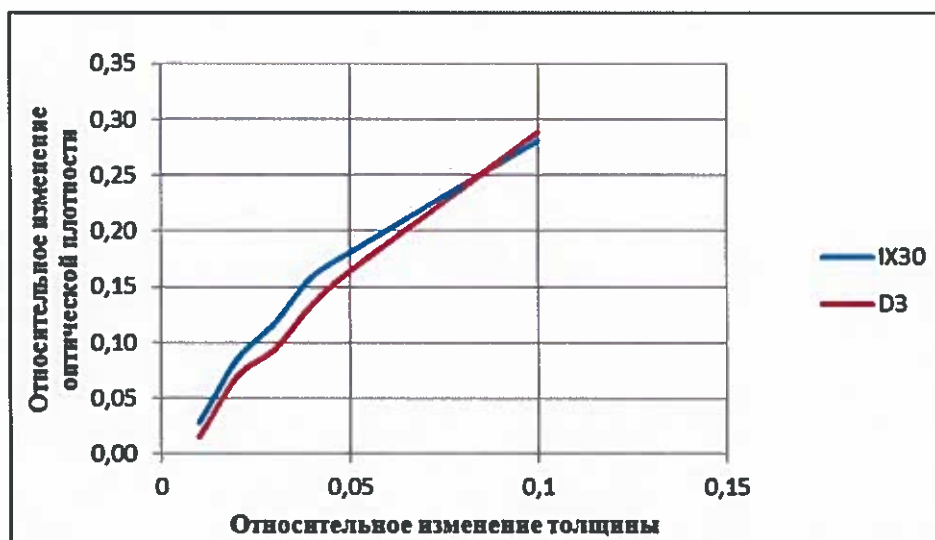
Результаты измерения оптической плотности изображения канавок на изображении образца с канавками FeI.

глубина лунок, % от высоты ступеней	IX30	D3	IX50	D4	IX80	D5	IX100	D7
	20мм/ 1,79Б	20мм/ 1,83Б	20мм/ 2,15Б	20мм/ 2,17Б	20мм/ 1,90Б	20мм/ 2,49Б	20мм/ 1,66Б	20мм/ 2,37Б
	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$
1%	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,06	0,04
2%	0,05	0,05	0,03	0,07	0,07	0,06	0,09	0,07
3%	0,07	0,11	0,08	0,11	0,10	0,10	0,13	0,11

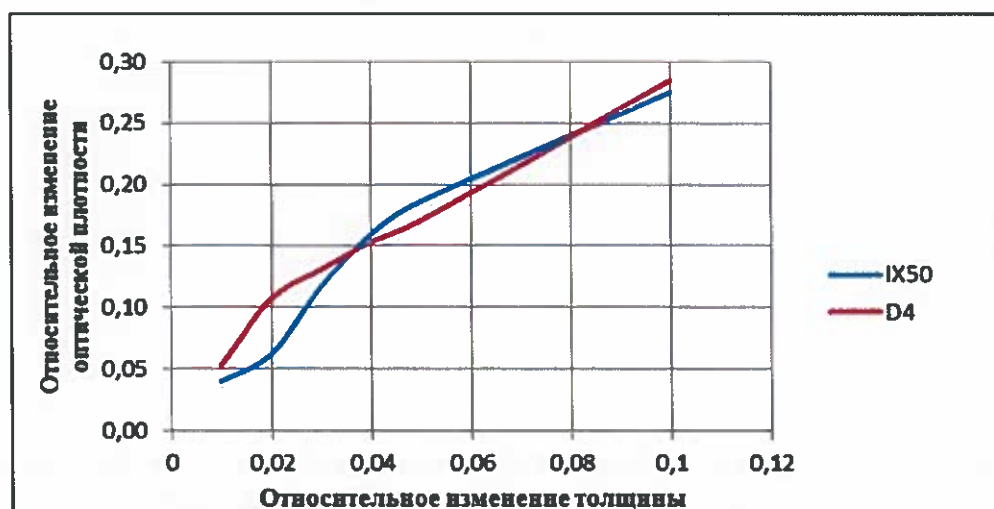
4%	0,11	0,14	0,12	0,15	0,13	0,14	0,16	0,14
5%	0,14	0,16	0,13	0,18	0,16	0,16	0,17	0,16
10%	0,26	0,30	0,23	0,29	0,23	0,29	0,30	0,26

Результаты измерения оптической плотности изображения канавок на изображении образца с канавками Fe2.

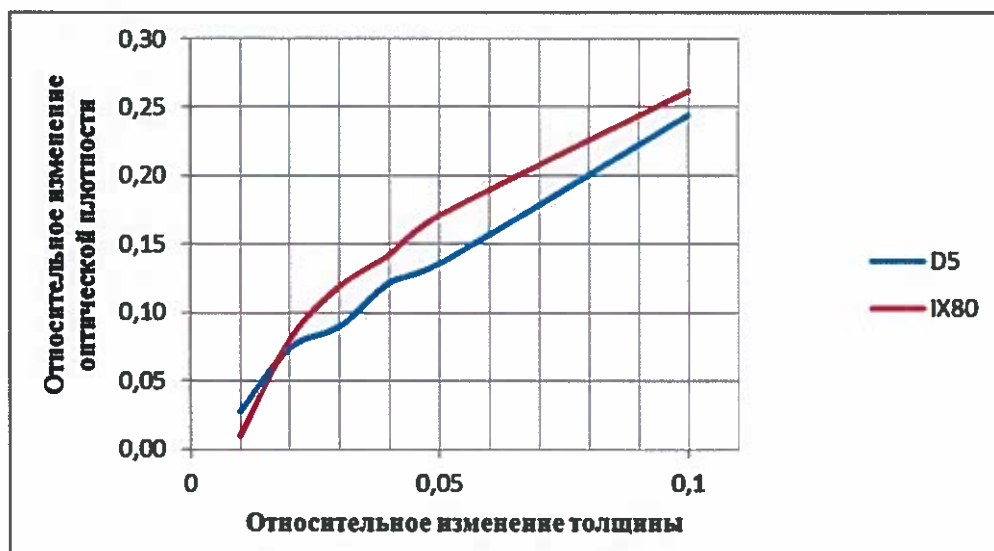
глубина лунки, % от высоты ступеньки	IX30	D3	IX50	D4	IX80	D5	IX100	D7
	70мм/ 1,81Б	70мм/ 2,43Б	70мм/ 1,76Б	70мм/ 1,58Б	70мм/ 1,69Б	70мм/ 1,94Б	70мм/ 1,80Б	70мм/ 2,15Б
	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$	$\Delta S/S$
1%	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01
2%	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02
3%	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04
4%	0,11	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,09	0,07
5%	0,15	0,15	0,12	0,13	0,14	0,13	0,12	0,09
10%	0,21	0,21	0,16	0,21	0,21	0,17	0,15	0,14



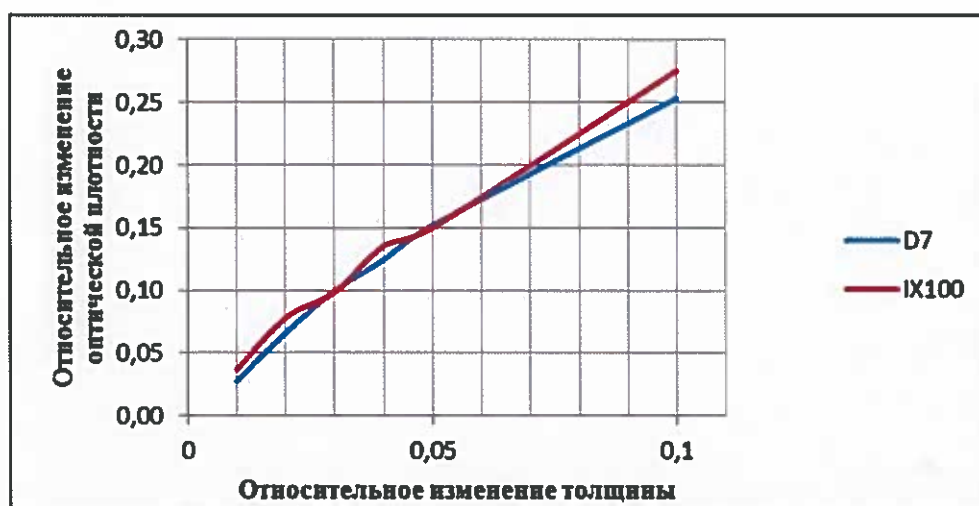
а) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D3, IX30.



б) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D4, IX50.

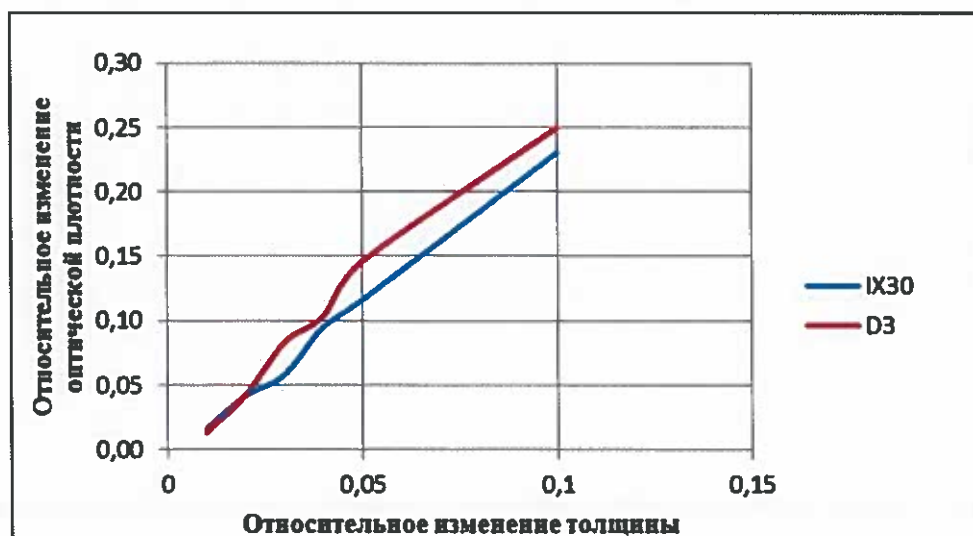


в) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D5, IX80.

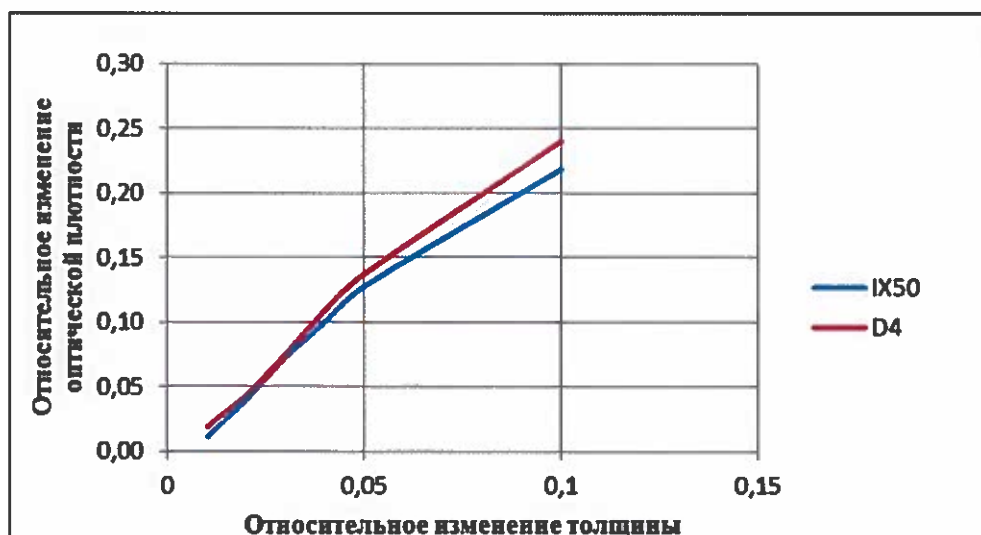


г) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D7, IX100.

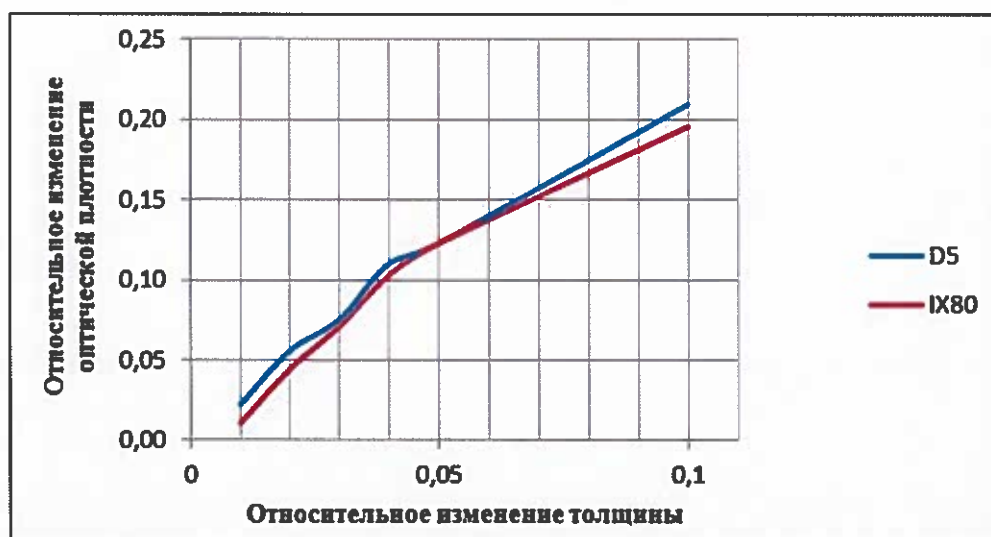
Рис.8. Зависимость $\Delta S/S(\Delta d/d)$ при напряжении 50 кВ (Al образец) для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



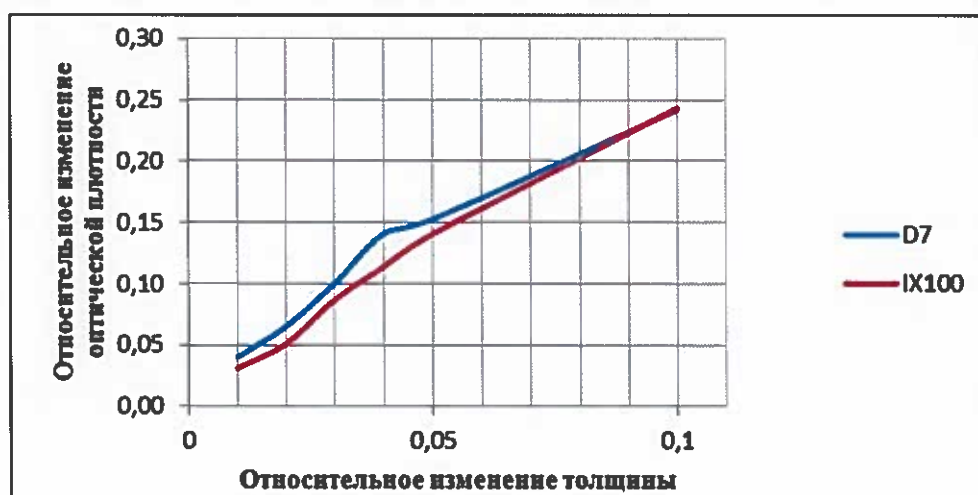
а) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D3, IX30.



б) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D4, IX50.

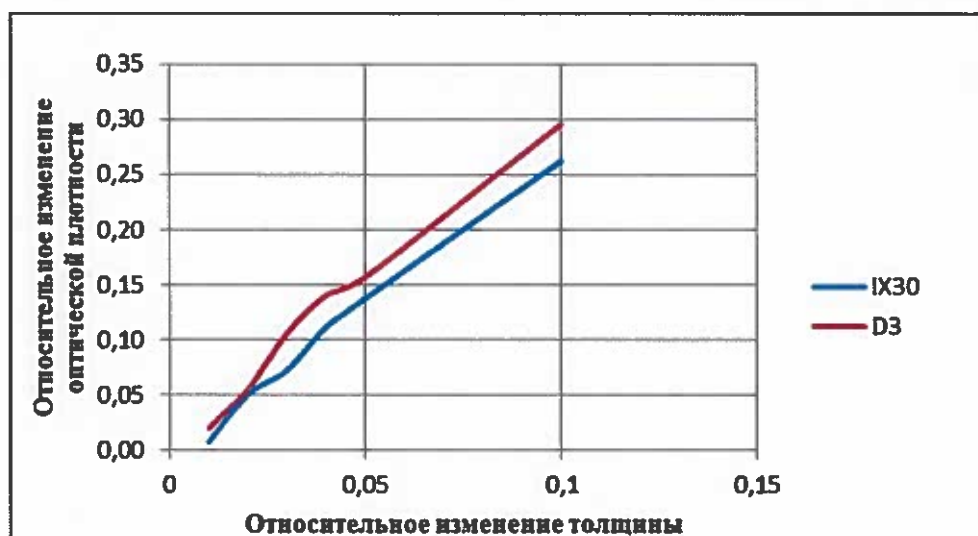


в) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D5, IX80.

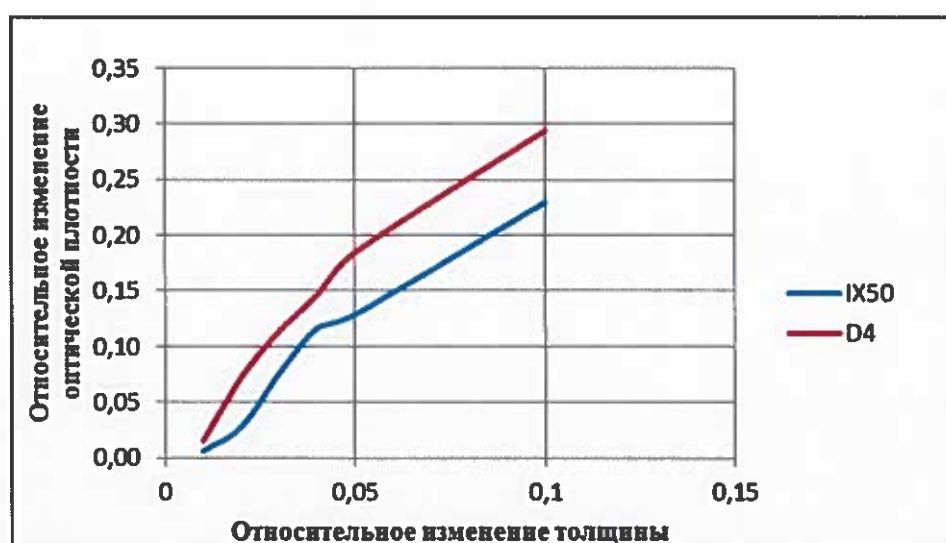


г) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D7, IX100.

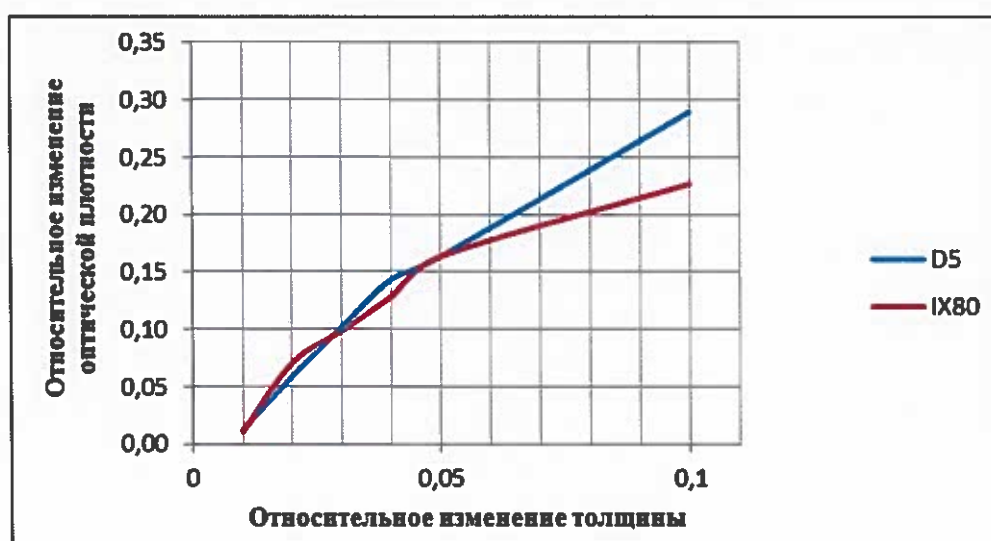
Рис.9. Зависимость $\Delta S/S(\Delta d/d)$ при напряжении 120 кВ (Ti образец) для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



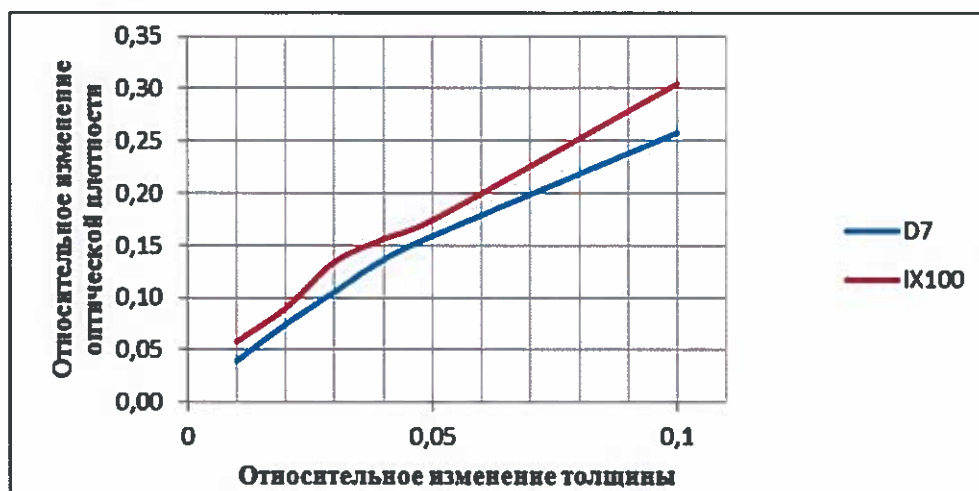
а) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D3, IX30.



б) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D4, IX50.

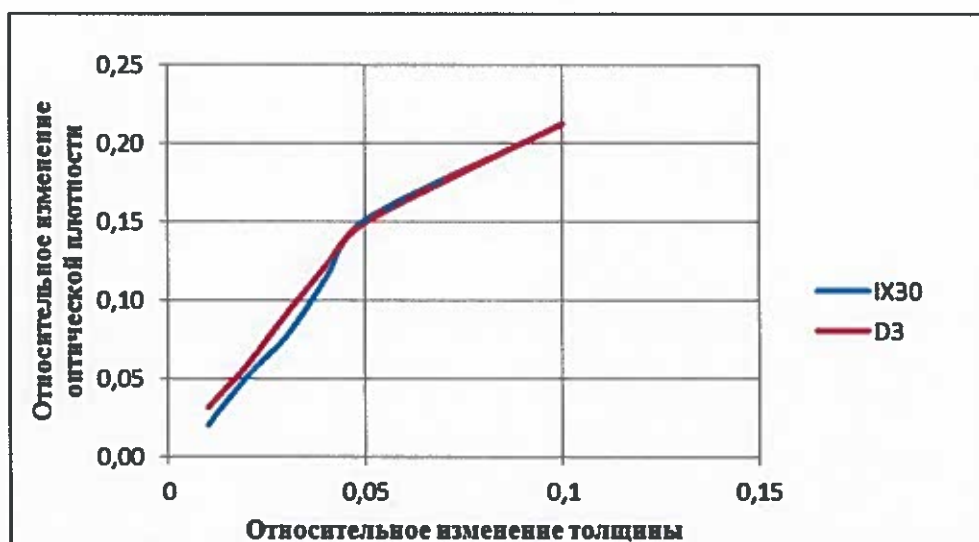


в) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D5, IX80.

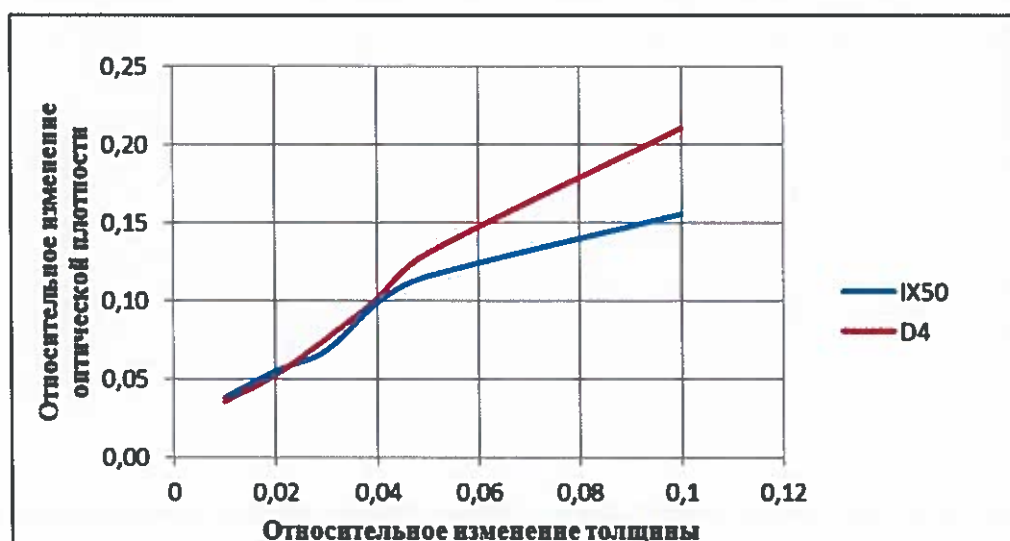


г) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D7, IX100.

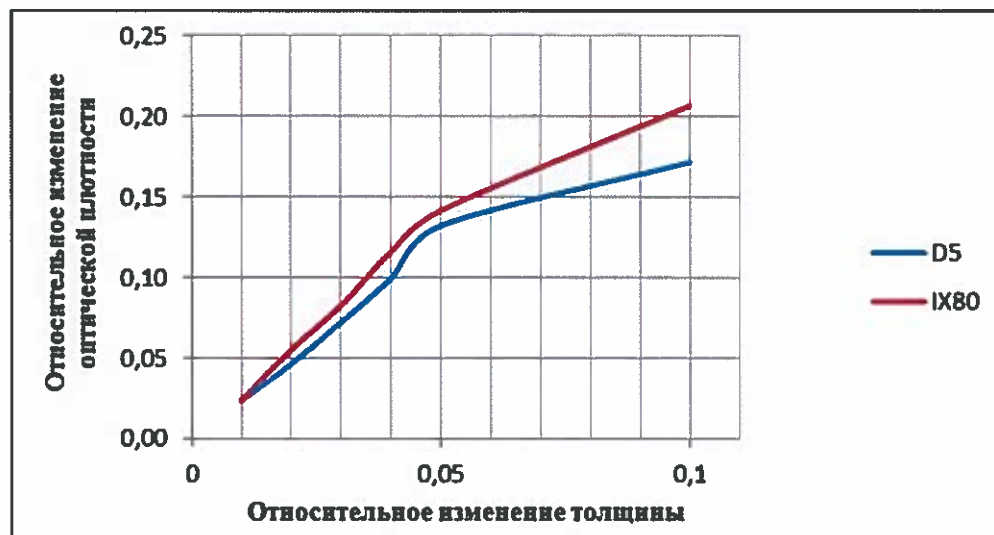
Рис. 10. Зависимость $\Delta S/S(\Delta d/d)$ при напряжении 200 кВ (FeI образец) для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



а) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D3, IX30.



б) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D4, IX50.



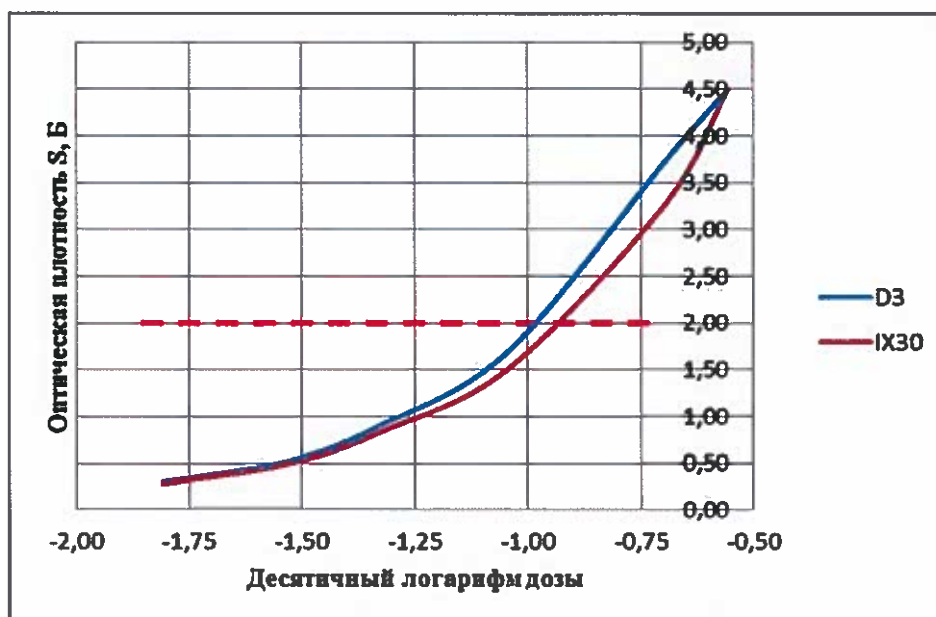
в) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D5, IX80.



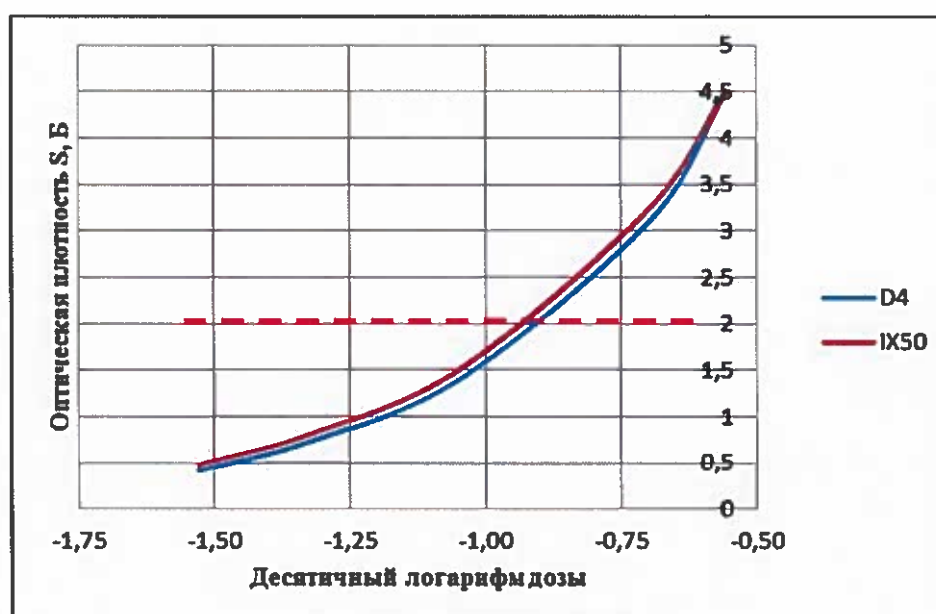
г) относительное изменение оптической плотности радиографических пленок D7, IX100.

Рис. 11. Зависимость $\Delta S/S(\Delta d/d)$ при напряжении 450 кВ (Fe2 образец) для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.

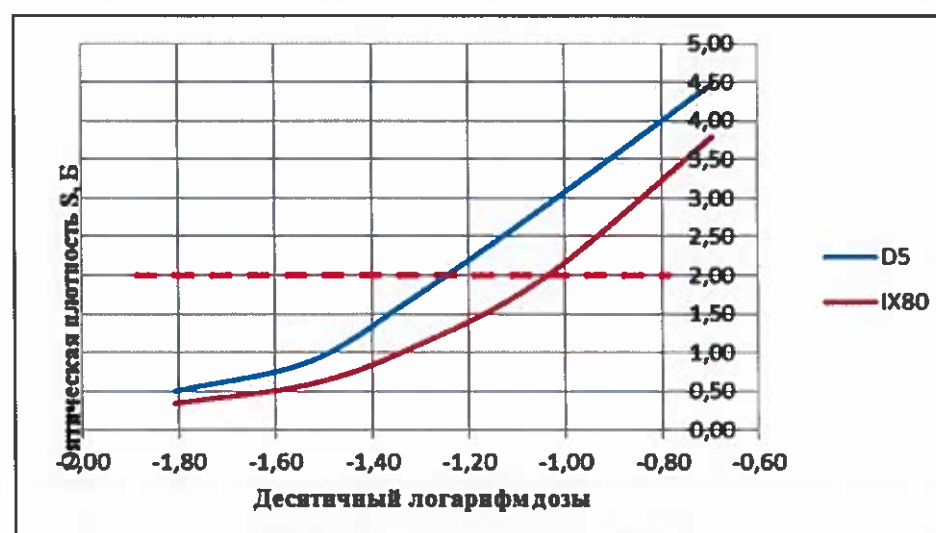
Показатель контрастности радиографической пленки определяли как тангенс угла наклона к кривой зависимости $S=f(\lg(e^{-\mu d}))$, при значении $S=2,0$ Б, где μ – линейный коэффициент ослабления излучения материалом объекта контроля, см^{-1} ; d – толщина объекта контроля в направлении оси пучка излучения, см (рис. 12–15).



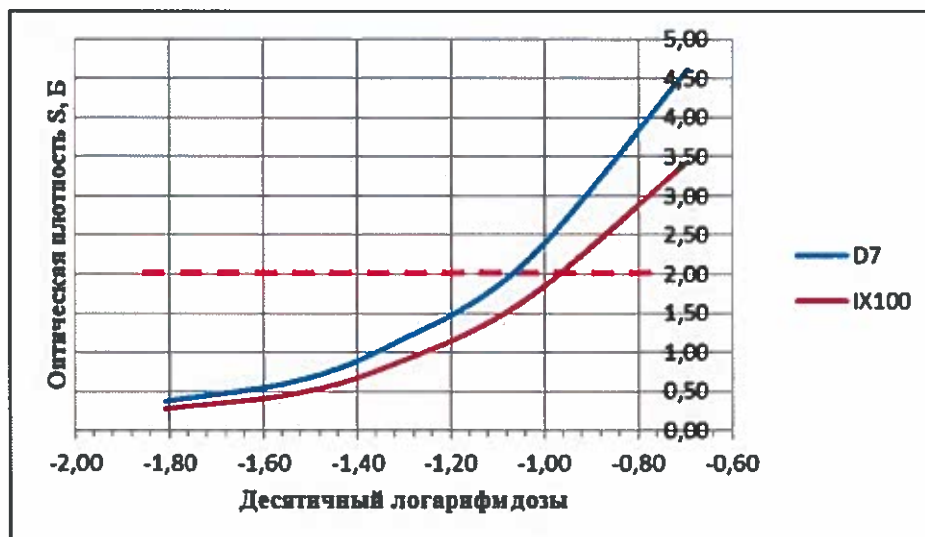
а) изменение оптической плотности радиграфических пленок D3, IX30.



б) изменение оптической плотности радиграфических пленок D4, IX50.



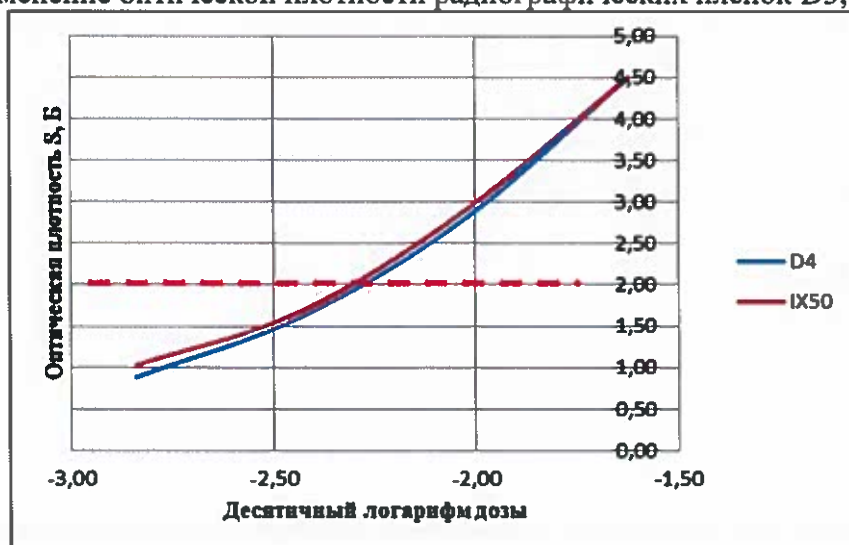
в) изменение оптической плотности радиграфических пленок D5, IX80.



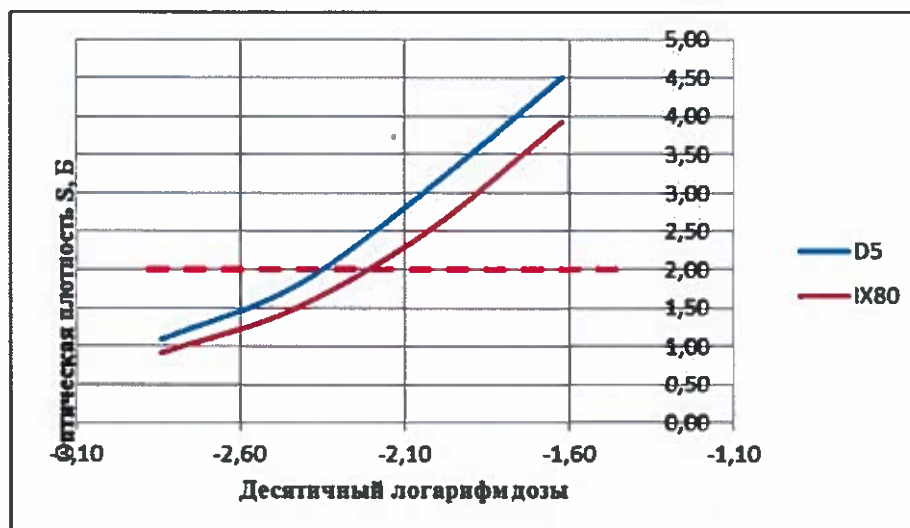
г) изменение оптической плотности радиографических пленок D7, IX100.
Рис. 12. Зависимость оптической плотности от десятичного логарифма дозы излучения при напряжении 40 кВ для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



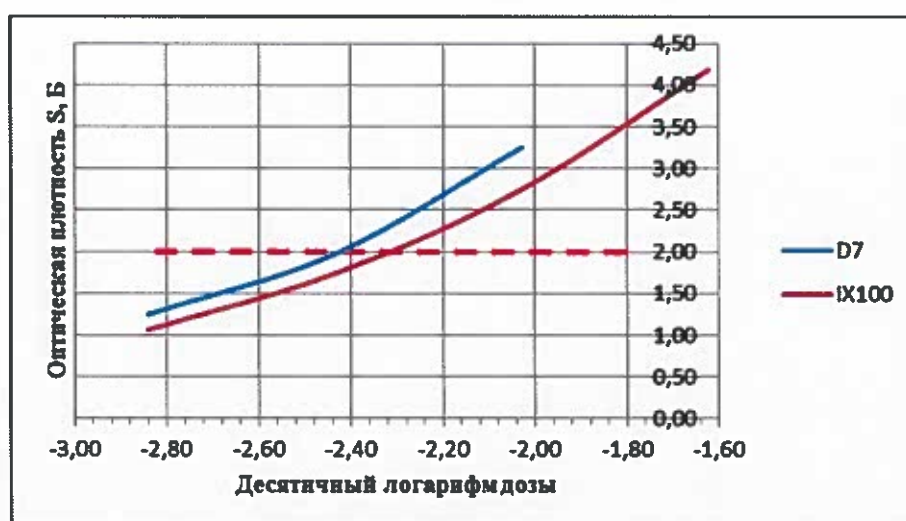
а) изменение оптической плотности радиографических пленок D3, IX50.



б) изменение оптической плотности радиографических пленок D4, IX50.

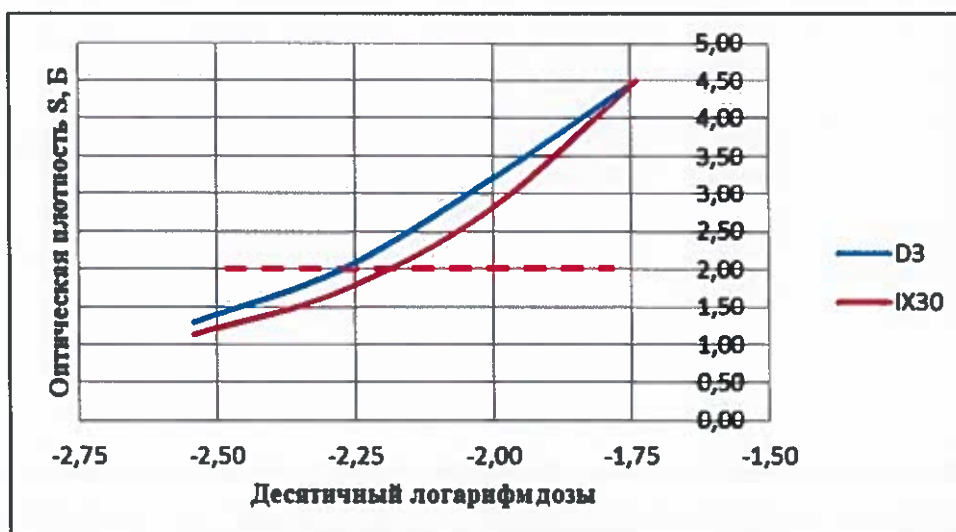


в) изменение оптической плотности радиографических пленок D5, IX80.

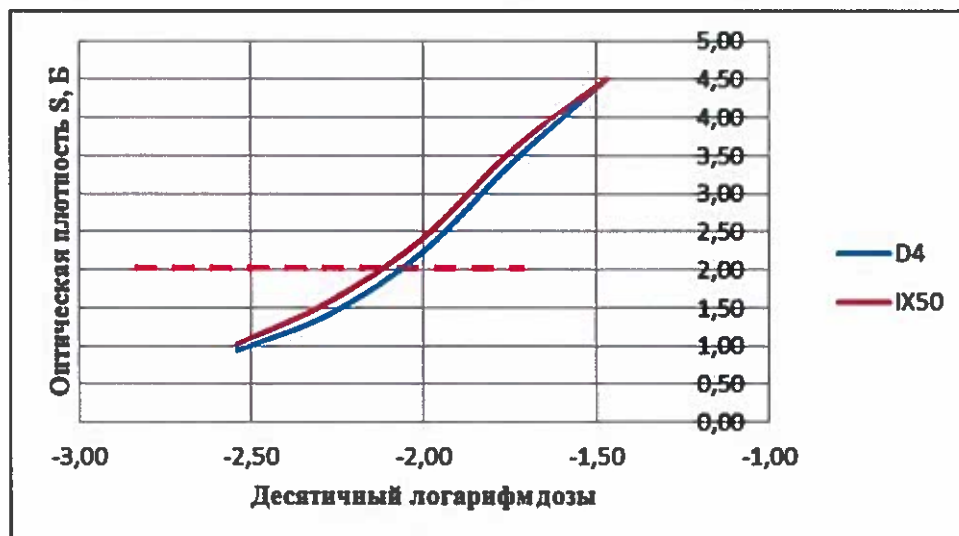


г) изменение оптической плотности радиографических пленок D7, IX100.

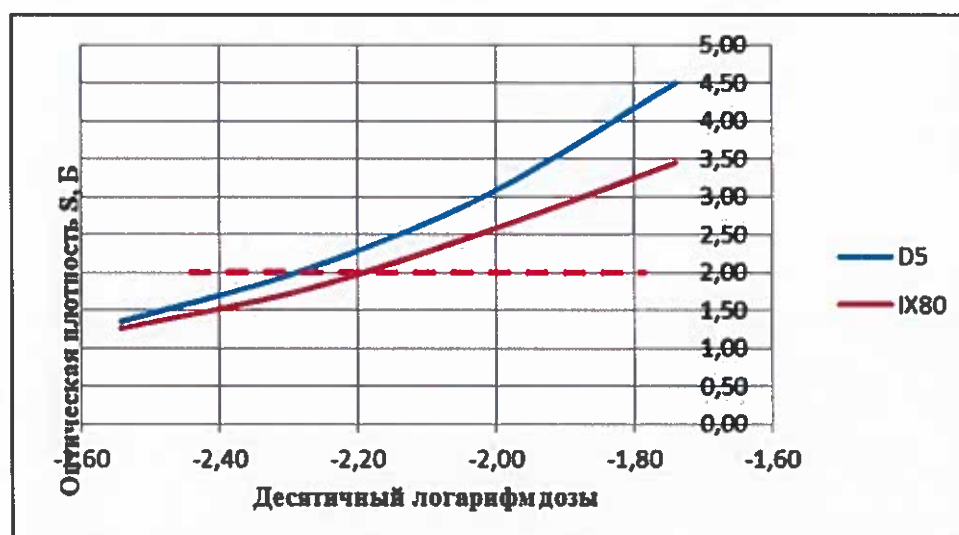
Рис. 13. Зависимость оптической плотности от десятичного логарифма дозы излучения при напряжении 120 кВ для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



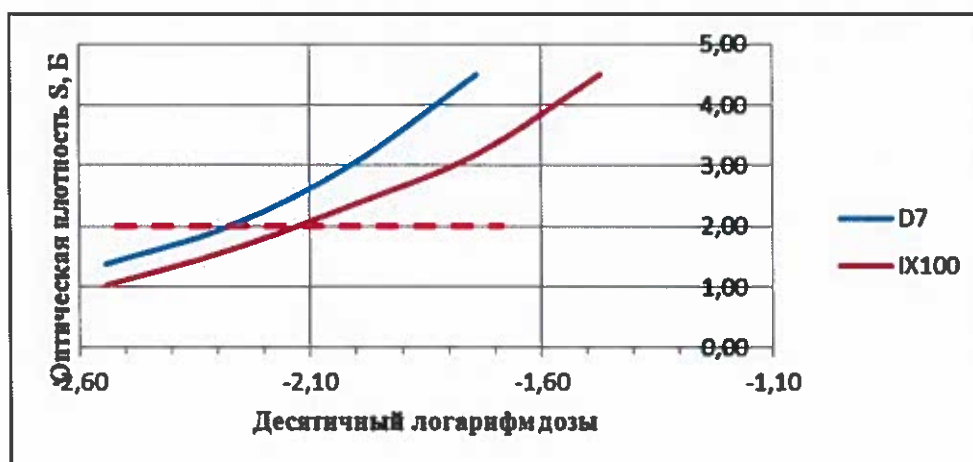
а) изменение оптической плотности радиографических пленок D3, IX30.



б) изменение оптической плотности радиографических пленок D4, IX50.



в) изменение оптической плотности радиографических пленок D5, IX80.



г) изменение оптической плотности радиографических пленок D7, IX100.

Рис. 14. Зависимость оптической плотности от десятичного логарифма дозы излучения при напряжении 220 кВ для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.



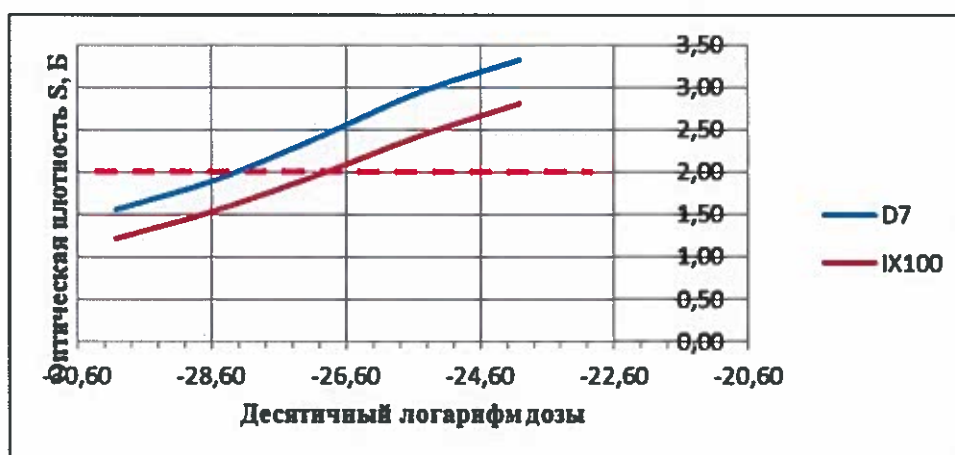
а) изменение оптической плотности радиографических пленок D3, IX30.



б) изменение оптической плотности радиографических пленок D4, IX50.



в) изменение оптической плотности радиографических пленок D5, IX80.



г) изменение оптической плотности радиографических пленок D7, IX100.

Рис. 15. Зависимость оптической плотности от десятичного логарифма дозы излучения при напряжении 450 кВ для радиографических пленок: а) Agfa D3, IX30, б) Agfa D4, IX50, в) Agfa D5, IX80, г) Agfa D7, IX100.

Значения показателей контрастности приведены в табл.7.

Таблица 7

Показатель контрастности		
Анодное напряжение, кВ	Тип радиографических пленок	Показатель контрастности, $tg\alpha$
40	FUJI IX30	4,51
	Agfa D3	4,59
	FUJI IX50	4,66
	Agfa D4	4,96
	FUJI IX80	4,48
	Agfa D5	4,10
	FUJI IX100	4,66
	Agfa D7	4,67
120	FUJI IX30	2,63
	Agfa D3	2,73
	FUJI IX50	2,50
	Agfa D4	2,74
	FUJI IX80	2,47
	Agfa D5	2,40
	FUJI IX100	2,32
	Agfa D7	2,41
220	FUJI IX30	3,57
	Agfa D3	3,24
	FUJI IX50	2,87
	Agfa D4	3,28
	FUJI IX80	2,58
	Agfa D5	3,05
	FUJI IX100	2,77
	Agfa D7	3,11

450	FUJI IX30	0,43
	Agfa D3	0,48
	FUJI IX50	0,28
	Agfa D4	0,29
	FUJI IX80	0,24
	Agfa D5	0,26
	FUJI IX100	0,29
	Agfa D7	0,29

Выводы:

- показатель контрастности радиографической пленки FUJI IX30 ниже показателя контрастности радиографической пленки Agfa D3 при энергии излучения, соответствующей анодному напряжению 40 кВ, 120 кВ и 450кВ, а при энергии излучения, соответствующей анодному напряжению 220 кВ – выше;
- показатель контрастности радиографической пленки FUJI IX50 ниже показателя контрастности радиографической пленки Agfa D4 при энергиях излучения, соответствующих анодным напряжениям 40 кВ, 120 кВ, 220 кВ и 450 кВ;
- показатель контрастности радиографической пленки FUJI IX80 ниже показателя контрастности радиографической пленки Agfa D5 при энергиях излучения, соответствующих анодным напряжениям 220 кВ и 450кВ, а при энергиях излучения, соответствующих анодным напряжениям 40кВ и 120 кВ – выше;
- показатель контрастности радиографической пленки FUJI IX100 ниже показателя контрастности радиографической пленки Agfa D7 при энергиях излучения, соответствующих анодным напряжениям 40 кВ, 120 кВ и 220 кВ, а при энергии излучения, соответствующей анодному напряжению 220 кВ – аналогичен;
- максимальная разница показателей контрастности составила 0,47 между FUJI IX80 и Agfa D5 при напряжении 220 кВ.

7. Определение разрешающей способности

В результате расшифровки рентгенограмм с изображением стальной пластины и индикатора качества изображения двупроволочного типа по ISO 19232-5 выявлено:

- разрешающая способность радиографических пленок FUJI IX50, IX80, IX100 как и Agfa D4, D5, D7 составляет 5,0 пар линий/мм (отчетливо различима 10-я пара проволок индикатора).
- разрешающая способность радиографической пленки FUJI IX30 как и Agfa D3 составляет 6,25 пары линий/мм (отчетливо различима 11-я пара проволок индикатора).

8. Обобщенные результаты испытаний.

Радиографическая пленка FUJI IX30:

- при напряжениях 40 кВ и 450 кВ дефектоскопическая ширина больше, чем у радиографической пленки Agfa D3, при 220 кВ меньше, при 120 кВ равна;
- чувствительность к излучению ниже, чем у радиографической пленки Agfa D3;
- не уступает по чувствительности к выявлению искусственных дефектов пленке Agfa D3 на всем диапазоне напряжений 40-450 кВ;
- показатель контрастности ниже при напряжениях 40 кВ, 120 кВ и 450 кВ, а при напряжении 220 кВ показатель контрастности выше, чем у радиографической пленки Agfa D3.

Радиографическая пленка FUJI IX50:

- на всем диапазоне напряжений 40-450 кВ дефектоскопическая ширина больше, чем у радиографической пленки Agfa D4;
- чувствительность к излучению ниже, чем у радиографической пленки Agfa D4;
- не уступает по чувствительности к выявлению искусственных дефектов пленке Agfa D4 на всем диапазоне напряжений 40-450 кВ;
- показатель контрастности ниже показателя контрастности Agfa D4 на всем диапазоне напряжений 40-450.

Радиографическая пленка FUJI IX80:

- при 40 кВ и 120 кВ дефектоскопическая ширина меньше, чем у радиографической пленки Agfa D5, а при 220 кВ и 450 кВ;
- чувствительность к излучению ниже, чем у радиографической пленки Agfa D5;
- не уступает по чувствительности к выявлению искусственных дефектов пленке Agfa D5 на всем диапазоне напряжений 40-450 кВ;
- показатель контрастности ниже при напряжениях 220 кВ и 450 кВ, а при напряжении 40 кВ и 220 кВ показатель контрастности выше чем у радиографической пленки Agfa D5.

Радиографическая пленка FUJI IX100:

- дефектоскопическая ширина больше, чем у радиографической пленки Agfa D7 при напряжениях 40 кВ, 120 кВ и 220 кВ, при напряжении 450 кВ меньше.
- чувствительность к излучению ниже, чем у радиографической пленки Agfa D7;
- не уступает по чувствительности к выявлению искусственных дефектов пленке Agfa D7 на всем диапазоне напряжений 40-450 кВ;
- при напряжениях 40 кВ, 120 кВ и 220 кВ показатель контрастности ниже, чем у радиографической пленки Agfa D7, а при напряжении 450кВ аналогичен.

Разрешающая способность:

- разрешающая способность радиографических пленок FUJI IX50, IX80, IX100 как и Agfa D4, D5, D7 составляет 5,0 пар линий/мм (отчетливо различима 10-я пара проволок индикатора).
- разрешающая способность радиографической пленки FUJI IX30 как и Agfa D3 составляет 6,25 пары линий/мм (отчетливо различима 11-я пара проволок индикатора).

Чувствительность радиографических пленок FUJI к рентгеновскому излучению ниже, чем радиографических пленок Agfa в диапазоне энергий, соответствующих анодным напряжениям 40–450 кВ. Однако, в этом же диапазоне энергии рентгеновского излучения показатель контрастности, более важная характеристика пленки, определяющая выявляемость дефектов, отличается в сторону уменьшения для пленки FUJI IX30 и ее аналога D3, в среднем, на 5,1 %. Соответственно, для пленки FUJI IX50 показатель контрастности ниже, чем у пленки D4 в среднем на 6,9 %. Для пленки FUJI IX80 показатель контрастности ниже, чем у пленки D5 в среднем на 7,2 %. Для пленки FUJI IX100 показатель контрастности ниже, чем у пленки D7 в среднем на 6,2 %. При этом выявляемость к искусственным дефектам у всех пленок одинаковая – 1-2% от просвечиваемой толщины.

ВЫВОДЫ

Радиографические пленки FUJI IX30, IX50, IX80, IX100 являются аналогами пленок Agfa D3, D4, D5, D7 соответственно, и рекомендованы для радиографического контроля изделий авиационной промышленности.

В соответствии с требованиями ПИ1.2.226–2008 «Неразрушающий контроль металлических изделий рентгеновскими методами», при контроле изделий авиационной техники рекомендованы радиографические пленки класса C5 (FUJI IX100) с экспонированием при анодном напряжении свыше 250 кВ.

Зам. начальника лаборатории 22

И.о. начальника сектора

Главный научный сотрудник

Инженер

Инженер

Лаптев А.С.

Демидов А.А.

Косарина Е.И.

Турбин Е.М.

Крупнина О.А.

