

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ РАДИОГРАФИИ В УСЛОВИЯХ МАЛОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

COMPUTER RADIOGRAPHY APPLICATION IN SHORT-TERM EXPOSURE CONDITIONS

*Н. И. Егоров, Ю. П. Куропаткин, Г. В. Борисков, И. С. Стрелков, В. Н. Павлов, А. Л. Макаров,
Д. М. Гришин, А. А. Лебедев*

*N. I. Egorov, Yu. P. Kuropatkin, G. V. Boriskov, I. S. Strelkov, V. N. Pavlov, A. L. Makarov,
D. M. Grishin, A. A. Lebedev*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» г. Саров Нижегородской обл.

Russian Federal Nuclear Center –All-Russia Scientific Research Institute of Experimental Physics

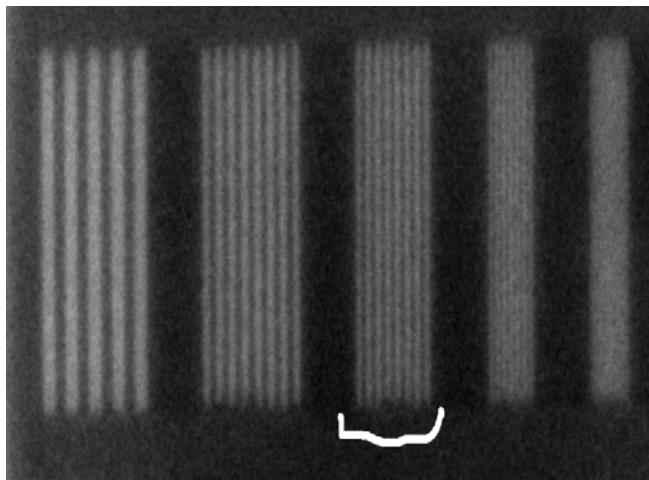
В докладе приводятся результаты экспериментального исследования возможностей регистратора на основе запоминающих люминофоров в условиях малых экспозиций. Найдена простая методика, позволяющая повысить чувствительность компьютерной радиографии, т.е. уменьшить ширину «мертвой зоны» регистратора. В докладе также рассмотрена возможность повышения разрешения регистратора на основе запоминающих люминофоров путем изменения состава радиографического комплекта.

The results of the experimental research of the recorder possibilities based on the storage phosphors in short-term exposure conditions are provided in the report. A simple method is found that can allow increasing the computer radiography sensitivity, i.e. decreasing the dead space width of the recorder. The possibility of increasing the recorder resolution at the usage of storage phosphors is also considered in the report.

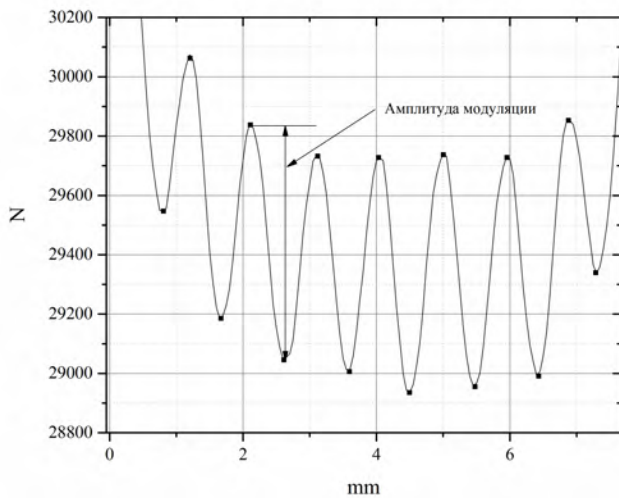
В медицинской рентгенографии находят широкое применение цифровые системы регистрации рентгеновских изображений с использованием фотохромных экранов. В настоящее время эти системы стали использоваться и для газодинамических исследований. Однако, отдельный экран имеет недостаточную квантовую эффективность при экспонировании жестким рентгеновским излучением, используемом в радиографических исследованиях газодинамических процессов. С целью увеличения квантовой эффективности регистрации рентгеновских изображений используется регистратор, состоящий из большого числа фотохромных экранов в комбинации с металлическими конверторами [1]. При использовании танталовых конверторов последовательность (вдоль луча) расположения слоев в регистраторе выглядит следующим образом: тантал – экран – тантал – экран – тантал и т. д. Количество экранов зависит от решаемой задачи. Комбинация «тантал – экран – тантал» называется стандартным радиографическим комплектом (СРК).

Ниже приводятся результаты экспериментов по повышению разрешения регистратора путем дополнения СРК новыми элементами. В качестве рентгеновского источника использовался бетатрон [2]. Его излучением просвечивалась специальная конструкция под названием рентгеновская мира, предназначенная для определения разрешающей способности в выбранном направлении и представляющая собой набор пакетов танталовых пластин, разделенных пластинами из пластмассы такой же толщины. В качестве чувствительного элемента использовался экран, извлеченный из кассет CR MD4.0R General Se. Оцифровка производится на сканере AGFA CR 30-Xm в 16-и битном формате. Типичная рентгенограмма миры приведена на рис. 1.

Аналогичное изображение миры получается и на рентгеновской пленке, поэтому в дальнейшем будем пользоваться привычной терминологией (как для рентгеновских пленок). Для работы используется часть изображения миры, а именно – рентгенограмма центрального пакета. Для наглядности



а)



б)

Рис. 1. Экспериментальные результаты: а – рентгенограмма мира, б – денситограмма мира

выбрана следующая методика представления экспериментальных данных. Для каждой рентгенограммы строится ее денситограмма, по ней измеряются значения локальных экстремумов. Вычисляется среднее значение (μ) плотности почернения. Вычисляется среднее значение (σ) амплитуды модуляции плотности почернения, которая связана с разрешением рентгенографического комплекта (РК). Затем находится отношение этих значений. Чем больше это отношение, тем выше разрешение РК. В табл. 1 приведены результаты одного из экспериментов.

Экраны с первого по пятый находились в СРК, а за шестым экраном вместо танталовой пластины находилась алюминиевая пластина. Денситограммы мира оказались приблизительно одинакового качества. Отличие в средней плотности почерне-

ния первых пяти денситограмм объясняется ослаблением рентгеновского излучения веществом, находящимся впереди экрана, а именно – конверторами из тантала (толщиной 1 мм). Средняя же величина плотности почернения шестой денситограммы заметно меньше средней плотности почернения, тогда как среднее значение амплитуды модуляции больше чем у стоящих впереди экранов.

Таблица 1

Экран	μ	σ	σ/μ
1	30092,27	1131,577	0,03760
2	29815,1	1057,37	0,03546
3	29277,9	1046,62	0,03575
4	28594,7	1043	0,03648
5	28248,7	1027,36	0,03637
6	27122,2	1136,29	0,0419

Из полученных результатов следует, что лучшее разрешение достигается в комбинации «конвертор из тантала – экран – конвертор из алюминия», а не в комбинации «конвертор из тантала – пластина – конвертор из тантала», как следовало бы ожидать. А если перейти к отношению σ/μ , которое, по нашему мнению, учитывает последовательность расположения экранов в кассете, то преимущество становится еще более очевидным. В дальнейшем по значению этого отношения будем определять РК с лучшим разрешением: чем больше число, тем лучше разрешение РК.

В одном из экспериментов экраны в кассете располагались в таком порядке: тантал – экран (1) – экран (2) – тантал – экран (3) – экран (4) – тантал – экран (5) – экран (6) – тантал. Экраны первый, третий и пятый следующие за танталом располагались чувствительной стороной к источнику излучения. Экраны же второй, четвертый и шестой – чувствительной стороной от источника. В табл. 2 приведены результаты этого эксперимента.

Таблица 2

Экран	μ	σ	σ/μ
1	19979,5	828,566	0,04147
2	20286,1	344,37	0,01697
3	19068	790,327	0,04145
4	19379,7	332,7	0,01716
5	18434,6	781,5	0,04239
6	18770,2	247,29	0,01317

Результат оказался неожиданным, а именно, средние значения плотности почернения на четных экранах оказались больше чем на не четных экранах, тогда как средняя модуляция в несколько раз меньше. Из представленных результатов следует, что задний конвертор из тантала ухудшает разрешение регистратора. Поэтому с целью уменьшения влияния излучения идущего от заднего конвертора между ним и впереди стоящим экраном были установлены подложки. В качестве материала для подложки использовали бумагу для принтера.

В следующих двух экспериментах геометрия рентгенографии была одна и та же, а регистраторы имели особенные комплектации. В первом эксперименте регистратор имел следующую комплектацию: конвертор из тантала – экран – четыре листа бумаги – конвертор из тантала – экран – восемь листов бумаги – конвертор из тантала – экран – 12 листов бумаги – конвертор из тантала – экран – 16 листов бумаги – конвертор из тантала. Результаты вычислений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Экран	μ	σ	σ/μ
1	20610,9	843,235	0,04091
2	19793,2	849,38	0,04291
3	-	-	-
4	18856,6	1008,43	0,05348
5	18747,8	767,163	0,04092

Во втором эксперименте регистратор имел комплектацию: конвертор из тантала – экран – 16 листов бумаги – конвертор из тантала – экран – 12 листов бумаги – конвертор из тантала – экран – восемь листов бумаги – конвертор из тантала – экран – четыре листа бумаги – конвертор из тантала – экран – конвертор из тантала. Результаты вычислений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Экран	μ	σ	σ/μ
1	20395	1092,62	0,05357
2	20533	986,488	0,04804
3	20343,7	912,665	0,04486
4	19897,1	863,773	0,04341
5	19403,3	860,987	0,04437

Сравнение качества рентгенограмм в этих двух экспериментах приведено графически на рис. 2.

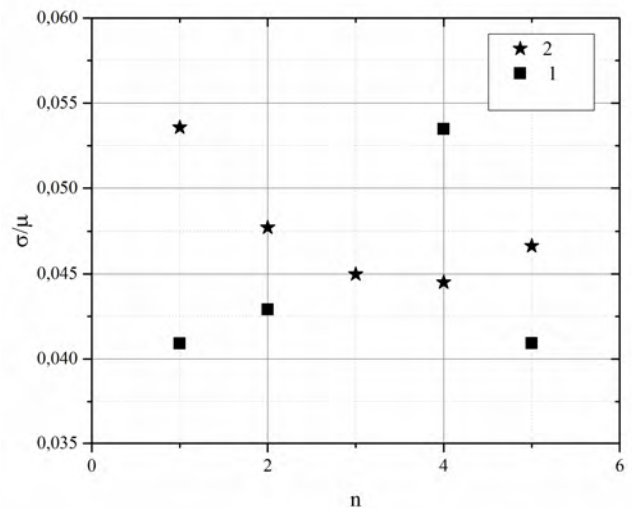


Рис. 2. Разрешение в зависимости от РК

Здесь квадратами приведены результаты первого эксперимента, а звездами второго эксперимента.

В табл. 5 приведены результаты вычислений со следующим составом регистратора: конвертор из тантала – экран – 10 листов бумаги – конвертор из тантала – экран – конвертор из тантала – экран – 10 листов бумаги – конвертор из тантала – экран – конвертор из тантала – экран – 10 листов бумаги – конвертор из алюминия.

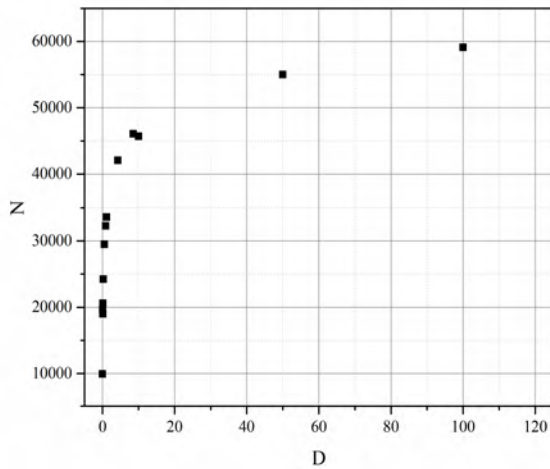
Таблица 5

Экран	μ	σ	σ/μ
1	23127,8	897,42	0,0388
2	23099,4	786,207	0,03404
3	22337	808,326	0,03619
4	22099,5	752,262	0,03404
5	20403,2	939,055	0,04602

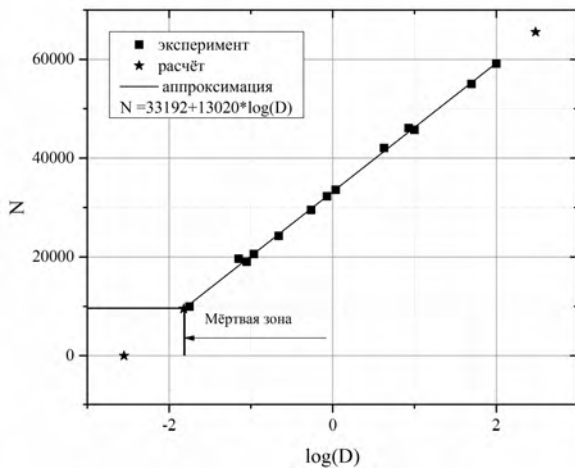
Таким образом, по выбранному нами критерию разрешение регистратора улучшается, если стандартный радиографический комплект дополнить подложкой.

Передаточная характеристика системы регистрации рентгеновских изображений с использованием фотохромных экранов получена при использовании рентгеновского источника АРИНА. Вариация экспозиции достигалась изменением длительности работы источника и перемещением

его относительно кассеты CR MD4.0R General Se. Результаты измерений представлены на рис. 3.



а)

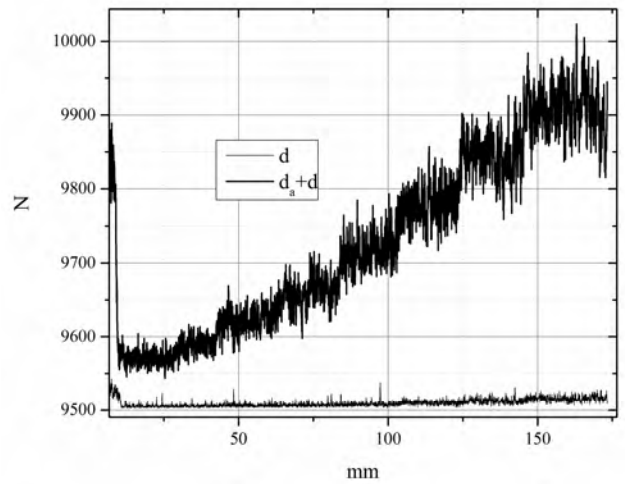


б)

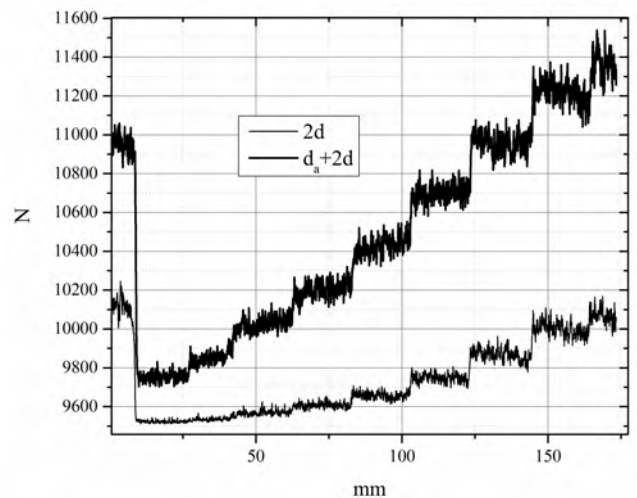
Рис. 3. Передаточная характеристика системы регистрации: а – число отсчетов системы регистрации в зависимости от экспозиции, б – то же самое в логарифмическом масштабе

Здесь D – относительная величина экспозиции, а N – плотность почернения снимка оцифрованного в 16-битном формате. Экспериментально измеренный динамический диапазон превышает 3,5 порядка. Расчетный же диапазон, вычисленный на основе экстраполяции аппроксимирующей прямой, достигает 4,3 порядка. На графике показана граница «мертвой зоны», т. е. если экспозиция меньше значения $10^{-1,82}$, то число отсчетов сканера AGFA CR 30-Xm постоянно и равно 9500. В импульсной рентгенографии просвечивающая способность системы источник – РК ограничивается попаданием экспозиции в мертвую зону. При этом увеличение числа экранов в СР не

приводит к увеличению просвечивающей способности системы. Возникает вопрос, возможно ли получение информации, если доступная для экспозиции доза находится около «мертвой зоны», либо объект исследования необходимо экспонировать очень маленькой дозой. Для этого предлагается, используя «память» фотохромного экрана, предварительно подсветить его минимальной дозой, переводящей его в состояние «над порогом». Определение порогового значения экспозиции и визуализация эффективности предварительной подсветки экранов радиографического комплекта проводилось просвечиванием алюминиевого клина. Денситограммы приведены на рис. 4.



а)



б)

Рис. 4. Денситограммы клина при различных экспозициях: а – денситограммы клина при минимальной экспозиции с подсветкой и без нее, б – денситограммы клина при двойной минимальной экспозиции с подсветкой и без подсветки

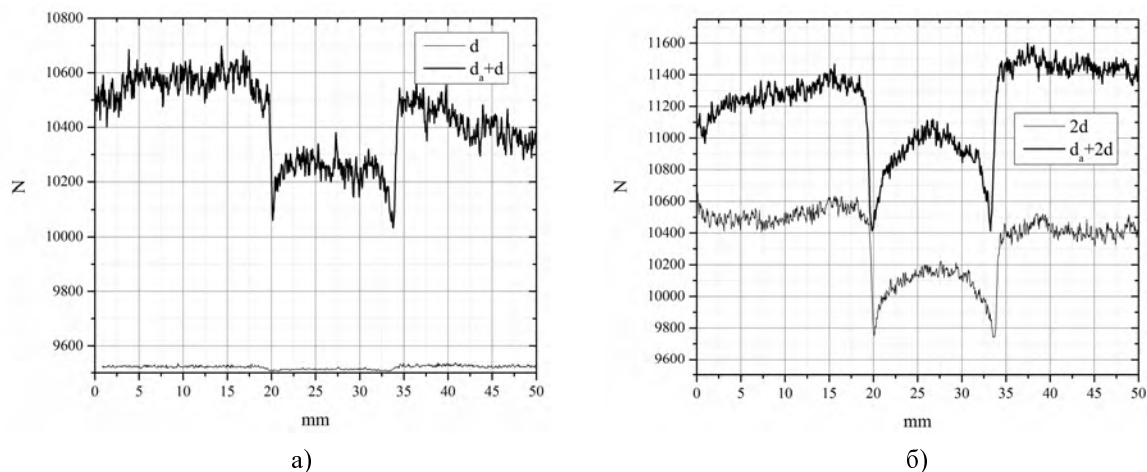


Рис. 5. Денситограммы трубки при различных дозах экспозиции: а – денситограммы трубки при минимальной экспозиции с подсветкой и без неё, б – денситограммы трубки при двойной минимальной экспозиции с подсветкой и без подсветки

Толщина ступенек клина имела размеры (мм): 2, 5, 8, 12, 16, 20, 25, 30. В экспериментах экспозиция была либо минимальной (d), либо двухкратной ($2d$). Экспозиция d_a+d , d_a+2d означает, что сначала минимальной экспозицией проводилась подсветка экрана, затем на этот же экран проводилось рентгенографирование клина экспозицией кратной минимальной. Результаты экспериментов показывают, что при одинаковой экспозиции качество рентгенограммы предварительно подсвеченной и без подсветки отличается. С целью демонстрации полученного эффекта в аналогичных условиях проведено рентгенографирование стальной трубки. Денситограммы трубки приведены на рис. 5.

Денситограммы трубки показывают, что предварительная подсветка экрана близкой к пороговой экспозицией позволяет получить информацию об объекте исследования без вмешательства в штатную работу сканера. При увеличении экспозиции эффект предварительной подсветки исчезает. Следовательно, в экспериментах, с ограничениями дозы подсветка экрана просто необходима, а в остальных экспериментах предварительная подсветка экрана не помешает.

Заключение

В работе показан способ повышения разрешения регистратора на основе фотохромных экранов. Получена передаточная характеристика системы регистрации рентгеновских изображений с использованием фотохромных экранов, определена пороговая экспозиция. Продемонстрирован метод повышения просвечивающей способности системы источник – РК и получения информации при минимальных экспозициях путем предварительной подсветки фотохромных экранов минимальной дозой, эквивалентной пороговому значению. Экспериментальный материал, на базе которого выполнена данная работа, получен при поддержке коллектива сотрудников, включая А. И. Быкова, П. Б. Репина, А. С. Коршунова, О. И. Сурдина. Авторы выражают им свою благодарность.

Список литературы

1. Гайдовский В. Исследование материалов рентгеновыми и γ -лучами. М.: Государственное научно-техническое издательство. 1959.
2. Kuropatkin Y. P. et al. Characteristics of the installation for flash radiography based on the uncored betatron BIM – M. In: 11th IEEE Pulsed Power Conference // Digest of technical papers / Eds. G. Cooperstein and I. Vitkovitsky. Piscataway NJ USA, IEEE, 1998. P. 1663–1668.