

# Методика малодозовой микрофокусной цифровой маммографии

К. К. Жамова\*, А. Ю. Грязнов

ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## The Method of Digital Low-Dose Microfocus Mammography

K. K. Zhamova\*, A. Yu. Gryaznov

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

### Реферат

Представлен способ получения высокоинформативных рентгеновских снимков с прямым многократным увеличением изображения, неиспользуемый пока в диагностике молочной железы. В методах рентгеновской маммографии используются источники излучения с размером фокусного пятна около 100–300 мкм и коэффициентом увеличения изображения не более чем в 2 раза. В предложенном способе используется источник излучения с размером фокусного пятна 25–50 мкм, а коэффициент увеличения изображения при рентгенологическом обследовании молочной железы составляет от 3 до 10 раз. Сравнительные исследования специализированного маммографического фантома позволяют оценить преимущества, даваемые микрофокусной съемкой. Снимки, полученные на микрофокусном аппарате с 5-кратным увеличением, обладают большей информативностью и содержат изображения более мелких и менее контрастных структур, что может оказаться решающим для правильной и своевременной оценки патологического процесса.

**Ключевые слова:** маммография, микрофокусная рентгенодиагностика, прямое увеличение рентгеновского изображения.

### Abstract

A method of obtaining high informative X-ray images with high geometric enlargement of the object is described in this work. Presently this method is not used for mammary gland diagnostic. Unlike the common methods of X-ray mammography in which the X-ray tube focal spot is about 100–300  $\mu\text{m}$  and the coefficient of object enlargement is not more than two times. In the proposed method the X-ray tube with focal spot of about 25–50  $\mu\text{m}$  is used that allows obtaining sharp X-ray images of mammary gland with

\* **Жамова Карина Константиновна**, ассистент кафедры электронных приборов и устройств, ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)». Адрес: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5. Тел.: +7 (812) 234-21-59. Электронная почта: kzhamova@gmail.com

**Zhamova Karina Konstantinovna**, Assistant of Department of Electron Devices and Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI» (ETU). Address: 5, ul. Professora Popova, Saint Petersburg, 197376, Russia. Phone number: +7 (812) 234-21-59. E-mail: kzhamova@gmail.com

coefficient of object enlargement of 3 to 10 times. Comparative researches using specialized mammography phantom allows to evaluate benefits of microfocus method compared with traditional methods. Images with 5-times object enlargement obtained using microfocus X-ray tubes have much higher information content and contain images of smaller and less contrastive structures than images obtained by traditional mammography. It may be significant for the correct and timely assessment of the pathologic process. It is shown that the exposure with multiply object enlargement allows using X-ray detectors with lower spatial resolution. It allows reducing the exposure dose by increasing the size of a digital detector's pixel.

**Key words:** Mammography, Microfocus X-ray Diagnostic, Direct Enlargement of X-ray Image.

## Актуальность

Рак молочной железы (РМЖ) по числу смертей занимает второе место среди других онкологических заболеваний [1]. В Российской Федерации за последние годы порядка 18 % всех видов опухолей у женщин приходится на рак груди [2].

Низкая выявляемость РМЖ на ранних стадиях (в том числе и в поликлинических условиях) обусловлена тем, что пациентки чаще всего обращаются к специалистам уже при наличии пальпируемого узлового образования. Очевидно, что ценность раннего выявления онкологических заболеваний заключается в том, что становится возможным обнаружить рак на первой стадии, когда он носит локальный характер и может быть эффективно излечен. В связи с этим чрезвычайно важно развитие как организационных мер (скрининговые исследования), направленных на обнаружение РМЖ на ранних стадиях, так и совершенствование диагностической аппаратуры и методик обнаружения рак.

В настоящее время в маммологии используются различные методы технической диагностики, при этом маммография является одним из наиболее эффективных, зачастую превосходя другие методы по информативности исследований, особенно на ранних ста-

диях заболевания. При этом точность и своевременность постановки диагноза при проведении рентгенологического исследования в значительной степени определяется используемыми техническими средствами, поэтому требования к качеству изображения для маммографов становятся все выше. Современный маммограф позволяет получать снимки молочной железы в разных проекциях, осуществлять прицельные снимки «подозрительных» участков, а также проводить под визуальным контролем диагностическую пункцию молочной железы для гистологического исследования.

**Цель:** разработка методики съемки с прямым многократным увеличением изображения, позволяющей повысить точность и информативность диагностики различных заболеваний молочной железы при проведении рентгенодиагностических исследований.

## Материалы и методы

В процессе реализации маммографии используется низкоэнергетический диапазон рентгеновского излучения (от 15 до 40 кэВ), в котором при минимальной дозе, получаемой пациенткой, достигается максимальное отличие в рентгеновском изображении патологических и нормальных тканей [3]. Одним из

важнейших параметров любого рентгенодиагностического аппарата является размер фокусного пятна рентгеновской трубки, определяющий предельно допустимую мощность аппарата и влияющий на пространственное разрешение получаемого снимка. Традиционно в маммографии применяются острофокусные трубки (0,1 и 0,3 мм) [4] с вращающимся анодом, что позволяет достичь требуемых эксплуатационных параметров. Для оптимизации спектра излучения используют фильтры, срезающие низкоэнергетическую часть рентгеновского спектра, которая лишь повышает радиационную нагрузку на пациентку и не участвует в формировании рентгеновского изображения.

В настоящее время в рентгеновской технике четко прослеживается мировая тенденция перехода к цифровой рентгенологии. Характеристики цифровых приемников рентгеновского излучения:

- чувствительность;
- динамический диапазон;
- разрешающая способность и др. постоянно повышаются, что обусловлено ростом требований к информативности получаемых изображений [4].

Однако существующая методика цифровой маммографии требует совершенствования и адаптации ко все возрастающим требованиям обнаружения признаков заболеваний молочной железы на самых ранних стадиях, поскольку в традиционных приборах размер фокусного пятна составляет в основном 0,1–0,3 мм, что затрудняет обнаружение мелких и малоконтрастных деталей. Для получения резкого изображения таких деталей на аппаратах с традиционным фокусным пятном объект необходимо располагать практически на

приемнике излучения и на достаточном удалении от источника, поскольку при удалении объекта от приемника мелкие детали размываются. При этом в случае традиционной контактной съемки для обнаружения деталей размером менее 50 мк необходимо разрешение 20 пар лин/мм и более [4], поскольку структура исследуемых тканей однородна, а микрокальцинаты имеют очень малые размеры и слабо отличаются по плотности от основной ткани.

Для повышения информативности исследований целесообразно использовать метод двухэтапной микрофокусной маммографии, включающий в себя получение обзорного контактного снимка молочной железы и увеличенного в 3–5 раз изображения «зоны интереса» при использовании источников излучения с размером фокусного пятна от нескольких единиц до нескольких десятков микрон [5].

Как видно из схемы, представленной на рис. 1, размер фокусного пятна и расстояние между источником излучения и объектом существенно влияют на качество (нерезкость НГ) изображения. Микрофокусный источник излучения, пользуясь фотографическими определениями, обеспечивает большую глубину резкости в процессе съемки. В данном случае под глубиной резкости  $F$  понимается диапазон расстояний  $f_2$  между объектом и приемником излучения при фиксированном расстоянии между фокусным пятном рентгеновской трубки и объектом съемки, в котором сохраняется требуемая резкость изображения:

$$\Delta F = f_{2\max} - f_{2\min}$$

Исследования, проводимые на протяжении ряда лет в СПбГЭТУ, показали, что особенности формирования рент-

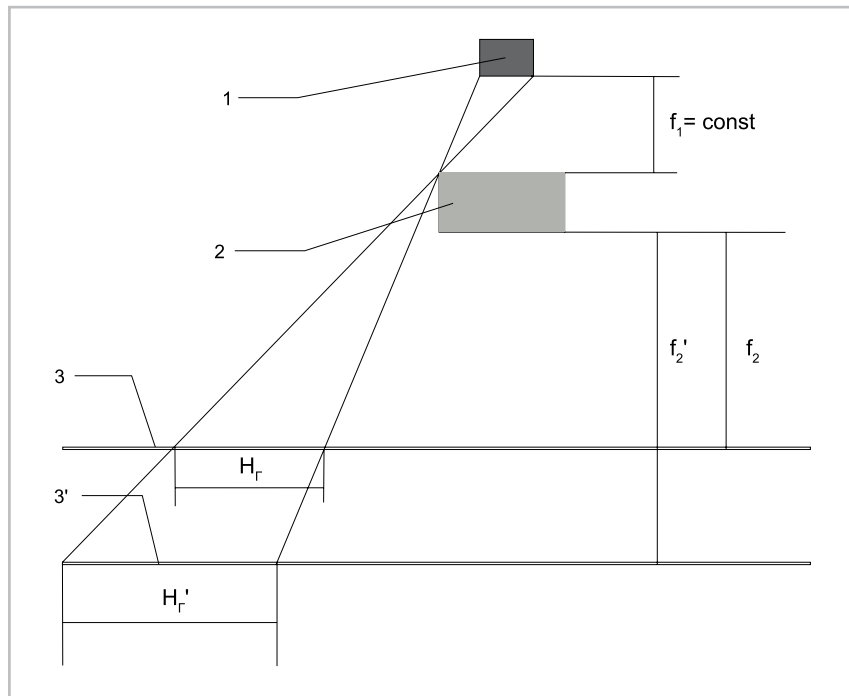


Рис. 1. Схема определения понятия глубины резкости  $\Delta F$  в рентгенографии: 1 — фокусное пятно; 2 — объект; 3 и 3' — плоскость изображения объекта

геновского изображения в медицинской диагностике при использовании источников излучения с размером фокусного пятна от нескольких единиц до нескольких десятков микрон позволяют принципиально повысить резкость и контрастность изображения мелких объектов на рентгеновских снимках [6]. Кроме повышения информативности рентгеновских снимков, использование подобного способа получения изображений позволяет проводить исследования со значительно меньшей радиационной нагрузкой на пациентку, чем в случае контактной съемки, например, за счет увеличения размеров пикселя цифрового приемника и соответствующего повышения его чувствительности [7].

### Экспериментальные результаты

В качестве тест-объектов для проверки технических возможностей предлагае-

мого метода использовались специализированные маммографические фантомы Kodak (США) и CIRS Phototimer Consistency Testing Slabs (США). Схема расположения дефектов в фантоме Kodak (США) и его обзорный снимок на традиционном маммографе представлены на рис. 2, а, б.

При соблюдении равенства экспозиции контактные снимки, получаемые на аналоговом маммографе MammoDiagnost (Германия, Siemens) и на макете микрофокусного рентгенодиагностического аппарата, сопоставимы по качеству. Снимки с трехкратным увеличением (оптическим для MammoDiagnost и прямым геометрическим для микрофокусного рентгенодиагностического аппарата «ПАРДУС» (Россия) [8]) показывают уже уверенное преимущество микрофокусного аппарата перед традиционным (рис. 3 а, б)

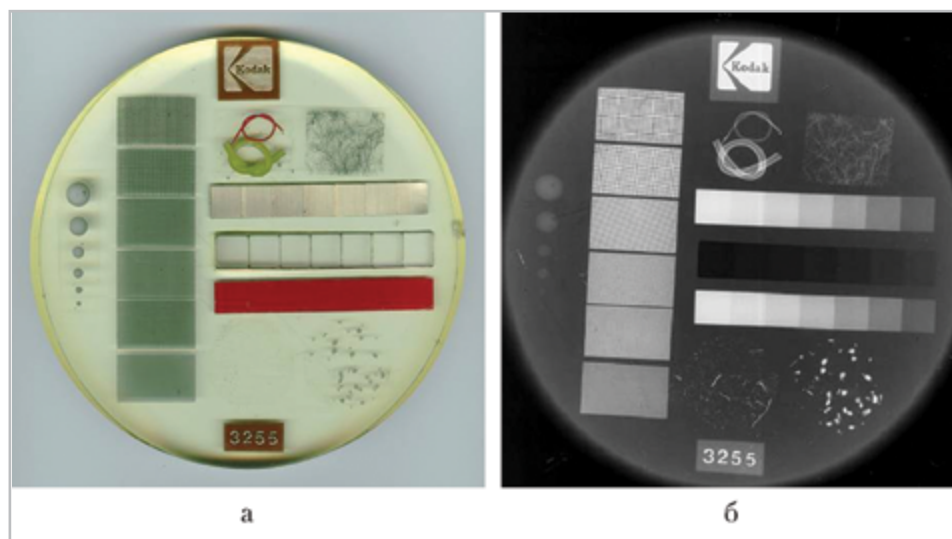


Рис. 2. Фотографии фантома фирмы Kodak (США): *а* – внешний вид; *б* – рентгеновский снимок фантома, полученный контактным способом

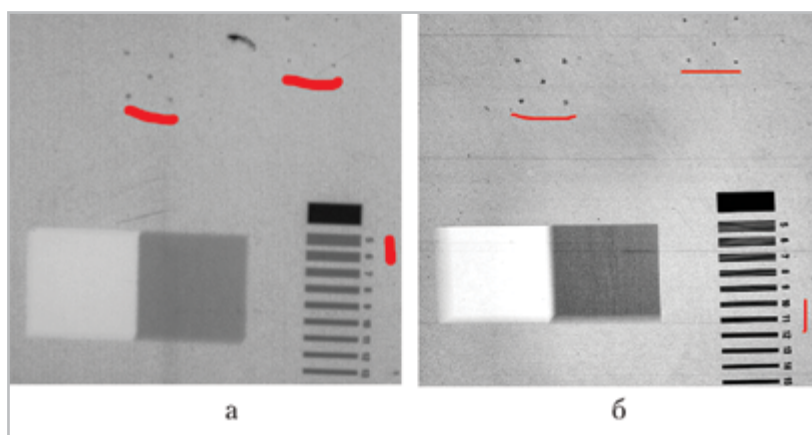


Рис. 3. Рентгенограммы фрагмента фантома CIRS с 3-кратным увеличением: *а* – оптически; *б* – прямым геометрическим

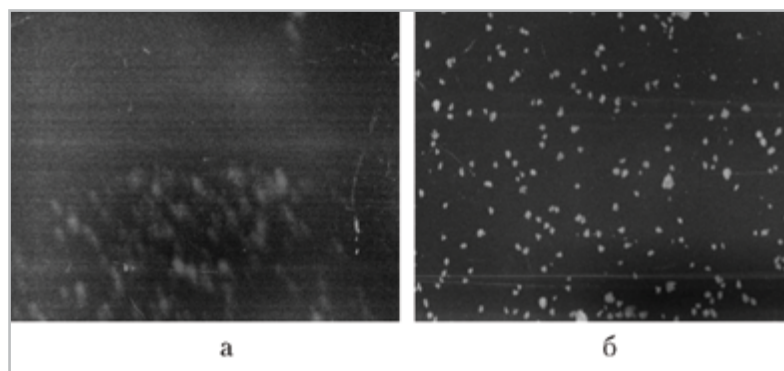


Рис. 4. Рентгенограммы фрагмента фантома Kodak (США) с 5-кратным увеличением: *а* – оптически; *б* – прямым геометрическим

фантомом CIRS (США). Хорошо заметна разница в контрасте мелких деталей изображения и в разрешающей способности снимка (рис. 3: *a* — темное подчеркивание; *b* — светлое).

На рис. 4, *a, б* (фрагмент фантома Kodak (США) представлены снимки с 5-кратным увеличением (на стандартном приемнике при таком коэффициенте могут быть получены снимки участков молочной железы размером около  $3 \times 3$  см), показывающие значительное преимущество микрофокусного маммографа по разрешающей способности.

Очевидно, что физические ограничения тока микрофокусного аппарата требуют компенсации снижения дозы в плоскости приемника, это возможно добиться либо повышением времени экспозиции (что практически невозможно в случае традиционной маммографии молочной железы), либо повышением напряжения на рентгеновской трубке (при этом за счет использования микрофокусного источника снижения контраста в области высоких пространственных частот не происходит [4, 6].

Представленная таблица экспозиций показывает, что повышение напряжения на 25–30 % компенсирует снижение дозы, вызванное малым током микрофокусного источника излучения.

## Заключение

Представленные результаты показывают преимущества микрофокусной съемки перед традиционной контактной. Важнейшей отличительной особенностью микрофокусной рентгенодиагностики в маммологии является более высокая информативность получаемых изображений. Результаты проведенных исследований позволяют предположить, что использование метода микрофокусной рентгенодиагностики с прямым многократным увеличением изображения в маммологии может позволить повысить точность ранней диагностики, вероятность проведения своевременного лечения и как следствие повышения процента выживаемости больных.

Работавыполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых — докторов наук «Разработка методики микрофокусной маммографии и аппаратуры для ее реализации» (договор от 03.02.2014 г. № 14.Z56.14.2919-МД).

## Список литературы

1. Маммология: Национальное руководство / Под ред. В. П. Харченко, Н. И. Рожковой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 328 с.

### Рекомендуемые режимы эксплуатации маммографа при различных фокусных расстояниях

Расстояние источник — приемник, см	Традиционный аналоговый маммограф		Микрофокусный маммограф	
	Напряжение, кВ	Экспозиция, мАс	Напряжение, кВ	Экспозиция, мАс
50	22	10	28	1
60	25	10	33	1,2
70	28	10	36	1,4

2. Профили рака в разных странах, 2014 / Всемирная организация здравоохранения. URL: [http://www.who.int/cancer/country-profiles/rus\\_ru.pdf?ua=1](http://www.who.int/cancer/country-profiles/rus_ru.pdf?ua=1) (дата обращения: 24.08.2015).
3. Основы рентгенодиагностической техники / Под ред. Н. Н. Блинова. М.: Медицина, 2002. 392 с.
4. Блинов Н. Н., Васильев А. Ю., Бессонов В. Б. и др. Зависимость разрешающей способности радиовизиографа от размеров фокусного пятна рентгеновской трубки // Мед. техника. 2014. № 2. С. 2–5.
5. Жамова К. К., Бессонов В. Б., Грязнов А. Ю. Возможности микрофокусной маммографии с прямым увеличением изображения // Биомед. радиоэлектроника. 2013. № 1. С. 71–72.
6. Потрахов Н. Н. Малодозовая рентгенодиагностика на микрофокусных рентгеновских аппаратах // VI Науч.-техн. конф. «Медико-технические технологии на страже здоровья «Медтех-2004»: Сб. трудов. М., 2004. С. 90–91.
7. Грязнов А. Ю., Барковский А. Н., Потрахов Н. Н. Радиационная нагрузка при проведении рентгенодиагностических исследований методами микрофокусной рентгенографии // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1. № 1. С. 36–40.
8. Санитарно-эпидемиологическое заключение № 7.99.27.944.Д.006281.04.10 от 19.04.2010.
- GEOTAR-Media, 2009. 328 p. (in Russian).
2. Profiles of cancer in different countries, 2014. World health organization. URL: [http://www.who.int/cancer/country-profiles/rus\\_ru.pdf?ua=1](http://www.who.int/cancer/country-profiles/rus_ru.pdf?ua=1) (date of access: 24.08.2015) (in Russian).
3. Fundamentals of X-ray diagnostic equipment. Pod red. N. N. Blinova. M.: Medicina, 2002. 392 p. (in Russian).
4. Blinov N. N., Vasil'ev A. Yu., Bessonov V. B., Grjaznov A. Yu., Zhamova K. K., Potrahov E. N., Potrahov N. N. The dependence of the resolving power of intraoral radiology from the size of focal spot X-ray tube. Medicinskaja tehnika. 2014. No. 2. P. 2–5 (in Russian).
5. Zhamova K. K., Bessonov V. B., Gryaznov A. Yu. Opportunities microfocus mammography with direct image magnification. Biomedicinskaja radiojelektronika. 2013. No. 1. P. 71–72 (in Russian).
6. Potrahov N. N. Low-dose X-ray on microfocus X-ray machines. VI NTK «Mediko-tehnicheskie tehnologii na strazhe zdorov'ja «Medteh-2004». Sb. trudov. 2004. P. 90–91 (in Russian).
7. Gryaznov A. Yu., Barkovskiy A. N., Potrahov N. N. Radiation exposure when conducting X-ray studies of microfocus X-ray methods. Radiacionnaja gigiena. 2008. T. 1. No. 1. P. 36–40 (in Russian).
8. Sanitarно-jepidemiologicheskoe zakljuchenie № 77.99.27.944.D.006281.04.10 ot 19.04.2010 (in Russian).

## References

### Сведения об авторах

**Жамова Карина Константиновна**, ассистент кафедры электронных приборов и устройств, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)». Адрес: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5. Тел.: +7 (812) 234-21-59. Электронная почта: kzhamova@gmail.com

**Zhamova Karina Konstantinovna**, Assistant of Department of Electron Devices and Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI» (ETU).  
Address: 5, ul. Professora Popova, Saint Petersburg, 197376, Russia.  
Phone number: +7 (812) 234-21-59. E-mail: kzhamova@gmail.com

**Грязнов Артем Юрьевич**, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой электронных приборов и устройств СПбГЭТУ по учебной работе, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)».  
Адрес: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5.  
Тел.: +7 (812) 234-21-59. Электронная почта: ay-gryaznov@yandex.ru

**Gryaznov Artem Yurevich**, Ph.D. Med., professor, Deputy Head of Department of Electron Devices and Systems on educational work of Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI» (ETU).  
Address: 5, ul. Professora Popova, Saint Petersburg, 197376, Russia.  
Phone number: +7 (812) 234-21-59. E-mail: ay-gryaznov@yandex.ru.

**Финансирование исследования и конфликт интересов.**

*Исследование финансировалось из средств Гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых — докторов наук «Разработка методики микрофокусной маммографии и аппаратуры для ее реализации» (договор от 03.02.2014 г. №14.Z56.14.2919-МД).  
Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*