

В.О. Гадецкий, В.В. Кабаченко, С.Ю. Каперусов, А.В. Кострицкий, А.В. Хмельников

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАБИНЕТА ПОДВИЖНОГО МАММОГРАФИЧЕСКОГО ЦИФРОВОГО

Аннотация

В статье описаны оборудование и функционал системы архивации и передачи изображений (PACS), входящие в состав подвижных цифровых маммографических кабинетов производства ЗАО «Рентгенпром». Система предназначена для автоматизации процесса проведения как диагностических, так и скрининговых маммографических обследований населения. Описываются особенности работы, детали устройства и опыт эксплуатации данной системы.

Маммографический скрининг рака молочной железы (РМЖ) в настоящий момент является основным методом доклинической диагностики опухолей молочной железы. Скрининг молочной железы – массовое профилактическое обследование здорового контингента женщин с целью первичного выявления злокачественных новообразований.

Начиная с 2007 г. ЗАО «Рентгенпром» выпускает подвижные маммографические кабинеты (Кабинет маммографический подвижной цифровой – КМПЦ). В дополнение к аппарату «Маммо-Р-Амико» КМПЦ комплектуется системой компьютеризированной рентгенографии (Computed Radiography – CR-система), которая способна работать в маммографическом режиме. Данная система позволяет получать цифровое рентгеновское изображение посредством сканирования кассет со специальным экраном, содержащим стимулируемый люминофор. CR-система – это аппаратный комплекс, состоящий из CR-сканера и компьютеризированного рабочего места, со специальным программным обеспечением, предназначенным для работы со сканером и проведения процесса обследования.

Совокупность аппарата «Маммо-Р» и CR-системы превращает их в целостную цифровую маммографическую систему. Работа с цифровыми снимками диктует необходимость наличия у такой маммографической системы определенных аппаратно-программных средств, описанию которых посвящена данная статья.

Общий вид КМПЦ на базе шасси «КАМАЗ-65115» с маммографом «Маммо-Р» представлен на *рис. 1*. Все пространство фургона разделено на две части: процедурную и помещение для работы персонала. В процедурной находятся маммографический аппарат «Маммо-Р» и рентгенозащитная ширма с окном из свинцового стекла и вешалкой для одежды.

Помещение с персоналом отделено от процедурной прозрачной поликарбонатной перегородкой. В отдельном боксе под фургоном может быть установлена дизельная миниэлектростанция, что дает возможность проводить обследования вдали от электрических сетей.

В состав компьютерного оборудования, установленного в помещении для персонала, входят следующие элементы:

- **автоматизированное рабочее место (АРМ) лаборанта** – включает в себя программное обеспечение (ПО) для первичной регистрации пациентов и формирования очереди для прохождения обследования, а также программу для просмотра цифровых снимков с целью контроля качества выполненной экспозиции;
- **ID-станция** – является периферийным устройством и предназначена для маркировки маммографических кассет. С ее помощью в микрочип, расположенный внутри кассеты, вносится служебная информация о пациенте, исследовании и планируемой проекции снимка;
- **аппарат рентгеновский маммографический** – выполняет маммографическую съемку пациента;
- **CR-сканер** – предназначен для оцифровки маммограмм;
- **рабочая диагностическая станция (АРМ врача-маммолога)** – на рабочей станции установлено программное обеспечение для работы врача-маммолога и вместе с ним серверная часть системы, состоящая из DICOM¹ сервера, сервера приложений, сервера БД, архива цифровых снимков;
- **медицинский принтер для печати снимков на пленке** – специализированный медицинский принтер, предназначенный для печати как на голубой пленке, так и на специальной бумаге. Подключается к локальной компьютерной сети КМППЦ и имеет сетевой DICOM-интерфейс.

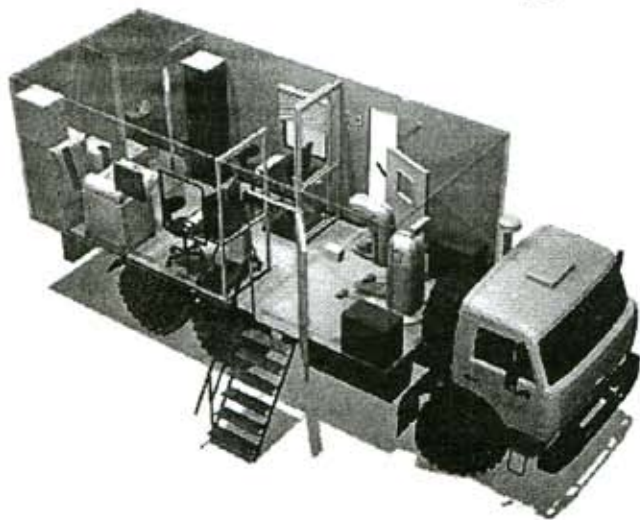


Рис. 1. Общий вид КМППЦ на базе шасси «КАМАЗ-65115» и расположение оборудования внутри фургона

Рабочие места врача и лаборанта объединены в одну локальную компьютерную сеть, в которую

также включены CR-сканер и медицинский принтер (см. рис. 2). Интеграция оборудования в единую систему (обмен данными и совместная работа) обеспечивается за счет поддержки и использования протокола DICOM.

Программное обеспечение, установленное в комплексе, является разработкой компании ЗАО «Рентгенпром» и представляет собой автономную медицинскую информационную систему, построенную по технологии «Клиент-Сервер»² и использующую стандарт DICOM. Подобная архитектура информационной системы представляет собой полноценную систему PACS, основным предназначением которой является автоматизация процесса обследования пациентов в передвижном маммографическом комплексе.

Система PACS, установленная в КМППЦ, состоит из отдельных функциональных модулей, каждый из которых отвечает за выполнение своих строго определенных задач:

- модуль «Регистратор» – установлен на рабочем месте лаборанта, отвечает за ввод демографических данных пациента и назначение пациентов на исследование;
- модуль «NX» – установлен на рабочем месте лаборанта, отвечает за проведение процедуры выполнения исследования: добавление новых проекций, идентификация кассет, получение снимка от CR-сканера, первичная обработка и контроль качества снимка;
- модуль «Маммолог» – установлен на рабочем месте врача-маммолога, позволяет просматривать полученные снимки, добавлять к ним описания и заключения;
- вывод изображений на печать может производиться с любого рабочего места;
- хранение исследований в специальном архиве осуществляется посредством специального модуля «Архиватор», установленного на рабочем месте врача-маммолога;
- модуль «Отчеты» – может быть установлен на любое рабочее место и отвечает за составление итоговых отчетов.

Программное обеспечение, которое обрабатывает запросы всех клиентских модулей, является серверной частью системы. Как правило, серверное ПО работает на выделенном компьютере и является центром по реализации всей бизнес-логики системы. В КМППЦ серверная часть расположена на компьютере врача-маммолога.

Серверная часть включает в себя следующее прикладное программное обеспечение.

DICOM-сервер является сервером стандартной сетевой архитектуры «Клиент-Сервер», базирующейся на индустриальном стандарте создания, хра-

¹ DICOM (сокр. от англ. Digital Imaging and Communication in Medicine – цифровые изображения и их передача в медицине) – основной стандарт, определяющий передачу и хранение медицинских диагностических изображений и сопутствующей им информации.

² Клиент-сервер (англ. Client-Server) – сетевая архитектура, в которой все выполняемые системой операции распределены между поставщиками услуг (сервисов), называемых серверами, и заказчиками услуг, называемых клиентами.

нения, передачи и визуализации медицинских изображений и документов обследованных пациентов – DICOM (англ. Digital Imaging and Communications in Medicine). DICOM-сервер обеспечивает сохранение информации о пациенте, его исследованиях, DICOM-сериях и изображениях, находящихся в этих DICOM-сериях (файлах).

Использование DICOM-сервера также позволяет взаимодействовать со сторонним аппаратно-программным обеспечением, которое поддерживает стандарт протокола DICOM.

Модуль «Архиватор» является самостоятельной частью системы и может работать автономно в качестве системного сервиса на удаленной машине. Задача модуля – управление архивом цифровых снимков. Более подробно о работе модуля «Архиватор» читайте в главе «Модуль «Архиватор»: управление архивом снимков».

Сервер приложений является промежуточным звеном между клиентскими приложениями и такими частями сервера, как DICOM-сервер, архив снимков и сервер базы данных. Сервер приложений реализует общую бизнес-логику всей системы, в то время как клиентские прикладные модули, взаимодействуя с этим сервером, лишь вызывают необходимые им прикладные функции.

Сервер базы данных – это промышленный SQL-сервер базы данных. Является долговременным хранилищем любых данных за исключением изображений. С уровнем базы данных взаимодействуют только серверные модули комплекса (клиентские приложения с базой данных напрямую не взаимодействуют): DICOM-сервер, сервер приложений, архиватор изображений.

В состав ПО КМПЦ входит специальный модуль «Регистратор», который установлен на рабочем месте лаборанта и позволяет выполнять следующие действия:

- первичную регистрацию пациентов в системе и ввод их демографических данных;
- редактирование уже существующих записей пациентов;
- поиск пациентов в базе данных по Ф.И.О.;
- назначение исследования пациентам;
- удаление записей о назначенных исследованиях;
- удаление записей о пациентах из базы данных.

В соответствии с рекомендациями Минздрава России при назначении пациенту исследования происходит автоматическая проверка его возраста и даты последнего прохождения маммографии. Если на момент назначения исследования пациенту еще не исполнилось 39 лет, то программа выдаст предупреждение о нежелательности проведения исследования. При возрасте пациента от 39 до 50 лет выполняется проверка даты предыдущего обследования. Если прошло менее

1,5 лет (9 месяцев для пациентов старше 50 лет), то на экране появится предупреждение о преждевременном назначении исследования.

В обоих случаях лаборант имеет возможность принудительно назначить и провести пациенту необходимое обследование.

Начать процедуру выполнения исследования можно только в том случае, если в системе имеется запись о назначении исследования данному пациенту. Выполнение исследования осуществляется лаборантом посредством специализированного программного модуля NX (далее – просто NX), который является разработкой компании «Agfa-Gevaert». Этот модуль находится на компьютере лаборанта и выполняет следующие функции:

- составление плана по выполнению исследования – планируемый список проекций, входящих в исследование;
- идентификацию кассет посредством ID-станции;
- прием оцифрованных изображений с CR-сканера;
- сопоставление данных пациентов и исследований с конкретными маммографическими изображениями;
- предоставляет инструменты для оптимизации качества изображений и подготовки их к использованию в диагностических целях;
- пересылку изображений на DICOM-сервер.

В состав ПО КМПЦ входит специальный программный модуль «Маммолог», располагающийся на АРМ врача-рентгенолога, с помощью которого осуществляются следующие операции:

- отбор исследований, имеющих статус «требующее описания» (выполняется автоматически при запуске приложения). Кроме того, имеется быс-

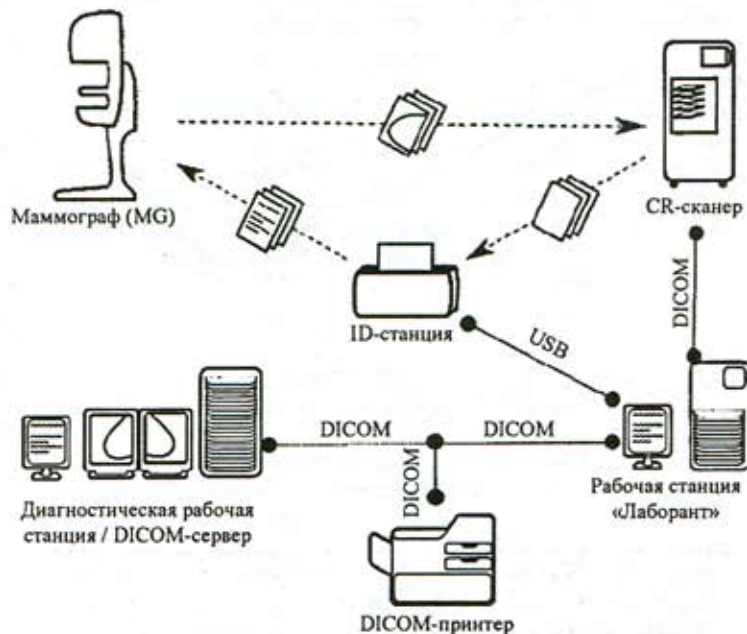


Рис. 2. Общая схема проведения маммографического обследования в КМПЦ

трая возможность отбора исследований по различным критериям: выполненных, но не описанных, выполненных в указанном временном интервале, по типу заключения, по типу исследования, по методу исследования, поиск архивных исследований и пр.;

- поиск исследований в базе данных по Ф.И.О. пациентов, периоду времени, в течение которого было выполнено исследование, выбор только диагностических исследований, исследований без описания, по медицинскому заключению, названию рабочего места, на котором было выполнено исследование;
- визуализация снимков для выполнения диагностики врачом-маммологом с возможностью дополнительной математической обработки, улучшающей восприятие изображения;
- формирование рентгенологического отчета по исследованию (составление описания и заключения) в виде структурированного отчета DICOM (DICOM Structure Report);
- экспорт исследований (в том числе на внешние носители информации) для передачи снимков другому врачу для дополнительной диагностики, при необходимости – на руки пациенту или в другое ЛПУ;
- вывод снимков на печать.

Всю работу с программным модулем «Маммолог» можно условно разделить на три основные крупные части: поиск пациентов, просмотр изображений, составление рентгенографического отчета.

Поиск пациентов. Сразу же после запуска программного модуля «Маммолог» появляется окно работы со списком исследований пациентов; по умолчанию в нем отображаются все исследования, требующие описания. При этом у врача есть достаточно гибкая возможность задавать необходимые критерии для того, чтобы можно было вывести список только тех исследований, которые необходимы врачу в настоящий момент для работы. В перечень этих критериев входят следующие опции:

- фамилия, имя, отчество пациента(ов) с возможностью использования масок поиска (например все пациенты, чья фамилия начинается на «Ива»);
- период времени, в который проводились искомые исследования;
- возможность производить поиск исследований, имеющих определенные заключения;
- поиск исследований с учетом классификации по Bi-Rads³;
- поиск исследований, которые проводились пациентам определенной возрастной группы;
- поиск пациентов, проживающих в определенном городе.

Поиск происходит по всем исследованиям, зарегистрированным в БД, учитывая архивные исследования, снимки которых находятся в архиве на сменном носителе. На компьютере, на котором запущен модуль «Архиватор», появляется информация об архивном диске, на котором находится снимок.

Просмотр изображений. Модуль «Маммолог» поддерживает работу трех мониторов. В стандартную комплектацию КМПЦ входит один монитор, на котором находится окно работы со списком исследований, и два диагностических монитора с высоким расширением для просмотра медицинских изображений.

При визуальном исследовании снимков используется специальный протокол раскладки, который заключается в том, что при открытии нового исследования, по умолчанию, на экране отображаются все четыре снимка, расположенные попарно в две строки. Соответственно предусмотрена возможность быстрого переключения в режимы попарного просмотра прямых кранио-каудальных и боковых косых проекций.

Программный модуль «Маммолог» обладает рядом возможностей по изменению отображения снимка на экране монитора. Ниже представлен список самых значительных из них:

- вывод всех изображений исследования на просмотрный стол «в одно нажатие»;
- вывод одновременно на просмотрный стол до 8 изображений;
- плавное масштабирование от 0,05 до 10 раз;
- вывод изображения в размер экрана, вывод изображения в ширину экрана;
- наличие инструмента «линза» с переключаемым увеличением в 2 и 4 раза;
- поворот изображения на угол, кратный 90 градусам;
- зеркальное отображение изображения (вертикальное/горизонтальное);
- управление яркостью/контрастностью (Window/Level) изображения;
- просмотр изображения в негативе, позитиве;
- измерение площадей для прямоугольных и эллиптических областей;
- измерение статистических характеристик изображения и/или выделенной зоны интереса (минимальная, максимальная, средняя яркость, среднеквадратичное отклонение яркости).

Составление рентгенографического отчета. Рентгенологический отчет врача-диагноста является главным результатом работы любого рентгенологического кабинета. Врач составляет описание просматриваемого исследования, выбирает подходящее заключение из списка ранее вводимых или вводит новое заключение, указывает к какому класси-

³ Система BI-RADS (сокр. от англ. Breast Imaging-Reporting and Data System) предназначена для стандартизации отчетности, разрабатывалась множеством здравоохранительных организаций, но в настоящее время все права на этот товарный знак и все публикации имеет Американский институт радиологии (American College of Radiology – ACR). Более подробную информацию можно получить по адресу: <http://www.acr.org>.

фикатору по системе Bi-Rads относится данное заключение, и при необходимости может написать рекомендации.

В списке заключений по системе Bi-Rads имеются следующие заключения:

- требует дообследования;
- отсутствуют узловые образования;
- доброкачественные узловые образования;
- узловые образования неясного генеза, контроль в динамике;
- подозрение на злокачественные образования;
- злокачественные образования.

Модуль «Архиватор» отвечает за работу архива цифровых снимков – хранилища всех цифровых изображений, полученных на аппарате при выполнении исследований. Архив представляет собой трехуровневую систему хранения файлов: первый уровень – это «горячий архив», второй уровень – «среднесрочный архив» и третий – «долгосрочный архив». Главными задачами модуля «Архиватор» являются: проверка заполненности архива снимками, перемещение их между различными уровнями в соответствии с заданными настройками и выдача снимков клиенту по запросу.

Такое разбиение на уровни сделано в первую очередь для уменьшения времени доступа к наиболее актуальным для врача исследованиям и их снимкам. В основном врач работает с недавно проведенными лабораторно исследованиями, снимки которых хранятся в «горячем» и «среднесрочном» архивах. Эти архивы располагаются на жестком(их) диске(ах) компьютера врача, поэтому время ожидания доступа к данным снимкам будет минимальным и зависит только от скорости работы самого дискового накопителя. Совокупная емкость этих архивов может составлять несколько сотен гигабайт и более, что обеспечивает хранение в них всех снимков, сделанных за последние 8-12 месяцев работы.

«Долговременный» архив может быть размещен на внешнем носителе и поэтому практически не имеет ограничений по емкости; это могут оптические диски любого типа: CD/DVD-ROM, DVD-RAM, Blu-ray, а также возможно использование внешних дисковых накопителей – USB-HDD, NAS⁴ и пр. – любого объема и уровня надежности⁵. Тип внешнего носителя для «долговременного» архива определяется требованиями заказчика и указывается при монтаже и настройке аппарата инженерами службы сервиса

посредством специальной административной утилиты, входящей в состав пакета ПО КМШЦ.

Сама процедура архивации состоит в следующем: снимки переносятся из «горячего» архива в «среднесрочный» и одновременно копируются на сменные носители «долгосрочного» архива. По мере заполнения «среднесрочного» архива наиболее старые снимки из него удаляются.

Все изображения в исследованиях получаемые в системе и хранящиеся в архивах сжимаются при помощи алгоритма сжатия JPEG2000⁶, который поддерживается стандартом DICOM и обеспечивает очень высокий коэффициент сжатия информации без потери диагностического качества изображения.

При необходимости процедуру архивации можно прервать в любой момент. А в случаях возникновения ошибок, сообщение о которых будет выводиться на экран компьютера, есть возможность игнорировать их и принудительно продолжить процедуру архивации.

В системе поддерживается автоматическое создание статистических отчетов о работе маммографического кабинета. За составление отчетов отвечает программный модуль «Отчетность». В нем реализованы следующие виды отчетов:

- *журнал проведенных исследований* – отчет, который формируется на основании учета всех пациентов, прошедших обследование за определенный период времени. При необходимости в отчет можно включить группу по Bi-Rads, к которой относится пациент, вывести заключение по снимку и рекомендации врача-маммолога;
- *журнал описанных исследований* – отчет, который формируется на основании учета исследований, которые были описаны врачом-маммологом в течение определенного периода времени. При необходимости также в отчет можно включить группу по Bi-Rads, к которой относится пациент, вывести заключение по снимку и рекомендации врача-маммолога;
- *справки* – это отчет, с помощью которого можно организовать выдачу свидетельств о прохождении пациентами маммологического обследования;
- *итоговый отчет* – отчет, позволяющий подсчитать пациентов, прошедших обследование за указанный срок, как общий, так и с разделением по группам. Итоговый отчет представляет

⁴ NAS (англ. Network-attached storage) – сетевая система хранения данных, представляет собой небольшое устройство с функциональностью практически полноценного ПК, не имеющего экрана и клавиатуры, но с некоторым дисковым массивом. Устройство подключается к сети (обычно локальной) и по принятым в ней протоколам настраивается, управляется и поддерживает работу с данными. Часто диски в NAS объединены в RAID-массив.

⁵ Под уровнем надежности имеется в виду возможность дискового накопителя организовывать зеркалирование массива дисков – RIAD 1.

⁶ JPEG 2000 (или jr2) – это графический формат, который вместо дискретного косинусного преобразования, характерного для JPEG, использует технологию вейвлет-преобразования, основывающуюся на представлении сигнала в виде суперпозиции некоторых базовых функций – волновых пакетов. В результате такой компрессии изображение получается более гладким и четким, а размер файла по сравнению с JPEG при одинаковом качестве уменьшается еще на 30 %.

собой сводную таблицу, в которой все данные разбиты по возрастным группам и параметру, указанному в поле справа (по населенным пунктам, диагнозам, диагностировавшим врачам или группам по классификации Bi-Rads).

Сформированные отчеты создаются в виде pdf-файла, который можно, как стандартный документ, распечатать на офисном принтере, сохранить на внешний носитель или передать файл по сети на другой компьютер или по электронной почте.

Начиная с 2007 г. ЗАО «Рентгенпром» выпустило 10 КМППЦ. Все они эксплуатировались и продолжают эксплуатироваться в лечебных учреждениях с разной степенью интенсивности, выполняя за год от 2500 до 10000 маммографических исследований (примерно от 6000 до 40000 снимков). Несмотря на небольшое количество КМППЦ, уже сейчас можно подвести некоторые итоги, связанные с работой оборудования и организацией процесса обследования. Вопросы, касающиеся опыта эксплуатации подвижных маммографических кабинетов в целом, хорошо освещены в специальной работе на примере пленочных систем.

Несмотря на новизну и сложность такой техники, как CR-сканер и компьютерное оборудование (компьютерные системные блоки, 5-Мпиксельные монохроматические мониторы, медицинский принтер), оно отработало хорошо в непростых (подчас полевых) условиях эксплуатации на базе шоссейных вариантов шасси «КАМАЗ 65115, 53215». Количество отказов оборудования, связанных с эксплуатацией в условиях повышенной вибрации и тряски, не превышало соответствующее количество отказов в кабинетах подвижных пленочных флюорографических, которые выпускаются ЗАО «Рентгенпром» на протяжении последних 10 лет.

Если в первых поставках КМППЦ в качестве внешних устройств для долговременного хранения в архиве устанавливались и использовались оптические носители, такие как Blu-ray и DVD-RAM, то со временем стали очевидны некоторые недостатки: высокая стоимость как специальных приводов для записи информации на данные носители, так и самих оптических дисков; малая популярность на рынке, что снижает удобство закупки расходных материалов. В итоге, в качестве оптимального варианта для организации внешнего хранилища, были выбраны сетевые дисковые накопители типа NAS, которые обеспечивают надежность хранения данных, легкость доступа для многих пользователей, легкость администрирования и гибкую масштабируемость.

Также нельзя не отметить, что при разработке ПО для КМППЦ был упущен тот факт, что в маммографической лечебной практике часто используется схема работы, когда врач-маммолог находится не в кабине подвижного комплекса, а в своем кабинете, находящимся в ЛПУ, в то время как в передвижном маммографе исследования проводит лаборант. Таким образом, реализация возможности выноса рабочего места врача-маммолога из КМППЦ в ЛПУ в настоящий момент стала приоритетной задачей следующей версии ПО. Тем не менее даже в такой кон-

фигурации маммографические комплексы успешно эксплуатируются и в настоящий момент.

ЗАО «Рентгенпром» создало систему PACS, которая обеспечивает весь цикл действий, необходимых для выполнения цифрового маммологического исследования. Это регистрация пациентов, проведение обследований пациентов, создание автономного архива цифровых снимков, автоматическое ведение отчетов. Использование международного стандарта DICOM позволило успешно интегрировать в одной системе программное обеспечение и оборудование различных производителей.

Несмотря на достигнутые успехи, система продолжает совершенствоваться: учитывается опыт нескольких лет эксплуатации, расширяется функционал, увеличивается удобство работы медперсонала.

Список литературы:

1. Корженкова Г.П., Тютюшиков Е.Б., Попович М.И. Опыт эксплуатации подвижного маммографического кабинета // Медицинский бизнес. 2006. № 10.
2. Зеликман М.И. Цифровые системы в медицинской рентгенодиагностике. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2007. 208 с.
3. Oosterwijk H. PACS Fundamentals / O. Tech. Inc., 2004.
4. Huang H.K. PACS and Imaging Informatics: Basic Principles and Applications, 2nd Edition. – John Wiley & Sons, April 2004.
5. NEMA, Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) / PS3.4 «Service Class Specifications», 2008.
6. NEMA, Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) / PS3.5 «Data Structures and Encoding», 2008.
7. Clunie D.A. DICOM Structured Reporting // PixelMed Publishing. 2000. 00-191700.

Виктор Олегович Гадецкий,
инженер-программист,

Василий Васильевич Кабаченко,
канд. физ-мат. наук,
инженер-программист,

Сергей Юрьевич Каперусов,
инженер-программист,

Александр Валерьевич Кострицкий,
зам. директора по науке,

Александр Владимирович Хмельников,
инженер-программист,

ЗАО «Рентгенпром»,

г. Москва,

e-mail: gadetsky@roentgenprom.ru