

# «Умная» больница как инструмент цифровой медицины

Б.А. Кобринский

Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление"  
Российской академии наук", г. Москва, Россия

**Аннотация.** В статье рассматриваются различные аспекты организации так называемых «умных» или «цифровых» больниц, количество которых в мире более 200. Это больницы, в которых повсеместно реализуются информационные технологии, включая интеллектуальный уровень решения задач, что должно обеспечивать совершенствование процесса и качества оказания медицинской помощи, административный процесс и инфраструктуру коммуникаций, обязательно включая возможность мониторинга с датчиков аппаратуры, укрепленных на теле пациентов. Полномасштабный контроль физиологических параметров и полнота доступности всей остальной информации о больных для всего медицинского персонала в любом месте его нахождения и комфортность для пациентов за счет использования мобильных приложений и интернета вещей являются необходимым условием «умной» больницы. «Умная» больница представлена с позиций киберфизической системы. В качестве перспективы рассматривается расширение спектра методов искусственного интеллекта для поддержки различных решений, математические модели физических процессов и применение роботов.

**Ключевые слова:** электронное здравоохранение, цифровая больница, интеллектуальная больница, киберфизическая система, мониторинг физиологических параметров, физико-математическое моделирование.

DOI 10.14357/20718632180401

## Введение

Информатизация здравоохранения в мире идет уже в течение десятилетий. Она началась с поддержки отдельных врачебных решений, впоследствии изменила направление на автоматизацию управленческих процессов, а затем вернулась к дифференцированным информационным системам по отдельным клиническим направлениям и по проблемам, обеспечивающим реализацию различных бизнес-процессов. Впоследствии медицинские информационные системы (МИС, в английском варианте наиболее близко HIS – информационные системы здравоохранения), обеспечивающие традиционную компьютеризацию процессов медицинской организации, начали трансформироваться в гибридные МИС, вклю-

чающие модули поддержки принятия решений, реализованные различными способами [1-4]. Интеллектуальные медицинские системы позволили поднять на новый уровень поддержку процессов принятия клинических решений в диагностике, прогнозировании течения заболеваний, выборе лечебной тактики, позволили сделать предлагаемые гипотезы понятными для врачей. Переход к электронному здравоохранению (eHealth) определил этап интеграции баз медицинских данных различного уровня и создание на этой основе единого информационного пространства государств с возможностью обмена необходимыми персональными данными внутри стран и между странами. Это – перспектива мирового здравоохранения, включая Россию. Концепция e-Health была принята Всемирной организацией здравоохранения в 2005 г. [5]. В рамках принципов

электронного здравоохранения формируется киберфизическая среда умной больницы, предполагающая цифровизацию всех процессов функционирования медицинской организации и персонализированную цифровизацию жизнеобеспечения и мониторинга процессов жизнедеятельности организма пациентов наряду с полномасштабной цифровизацией деятельности медицинского персонала.

### 1. Принципы киберфизической системы в медицине

В киберфизических системах (КФС) [6] вычислительные элементы взаимодействуют с датчиками, которые обеспечивают мониторинг показателей, и с исполнительными элементами, которые вносят изменения в киберфизическую среду. Обработка биосигналов вычислительными системами должна сопровождаться их интеллектуальным анализом, т.е. вычислительные элементы и интеллектуальные решатели взаимодействуют с мониторирующими системами. Таким образом, в системе охраны здоровья в реальном времени осуществляется дистанционный мониторинг параметров различных систем организма с их количественной и контекстной оценкой, выдачей контролирующей информации и, при необходимости, решений или рекомендаций. В схематическом виде это представлено на Рис. 1.

Архитектура киберфизической системы в рассматриваемом варианте цифровой больницы предполагает интеллектуальный анализ любых мониторируемых данных.

Киберфизическая система представляет собой сложную распределенную систему, тесно интегрированную с Интернет и его пользователями. В КФС физические и программные компоненты тесно взаимосвязаны. Каждая компонента работает в разных пространственных и временных масштабах, проявляет множество различных поведенческих модальностей и взаимодействует с другими множеством способов, которые меняются в зависимости от поступающих сигналов и контекста.

*Компоненты КФС функционируют в различных пространственных и временных масштабах, характеризуются множеством модальностей и взаимодействуют множеством способов, изменяющихся в зависимости от контекста.*

В медицине: киберфизические системы используются для дистанционного мониторинга физиологических и физических показателей пациентов в реальном времени с целью уменьшения потребностей в госпитализации (например, пациентов с болезнью Альцгеймера) или для улучшения ухода за инвалидами и пожилыми людьми. В нейробиологических исследованиях КФС применяются для изучения функций организма человека с использованием

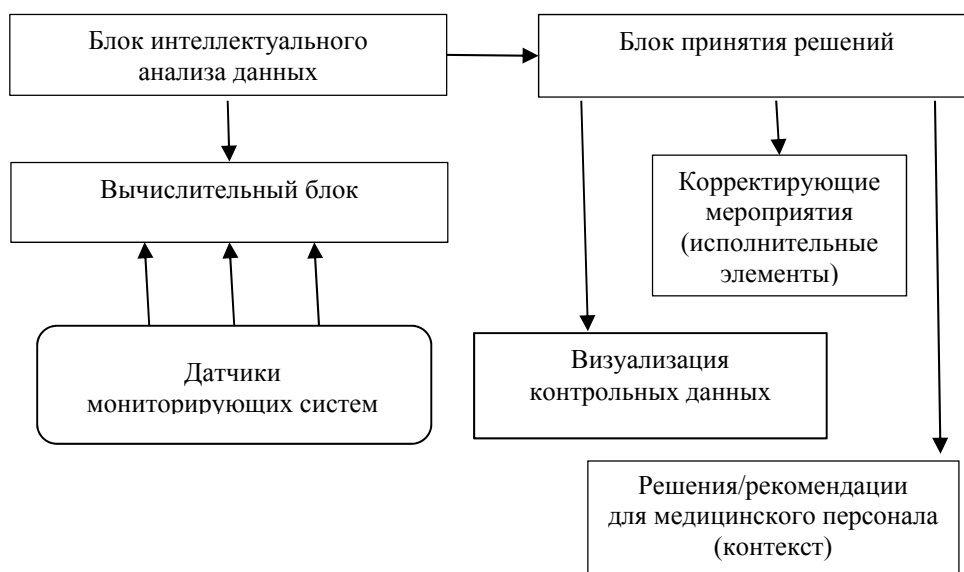


Рис. 1. Архитектура киберфизической системы медицинского назначения

интерфейсов между мозгом и оборудованием для биоуправления в реабилитации [7]. Это способствует мобилизации резервных возможностей организма и «разрушению» патологических очагов [8].

## 2. Понятие «умной» больницы

Существует ряд терминов, соответствующих понятию «умной» больницы. Их различие не скрывает общих принципов, лежащих в основе создания «умных» больниц. Различия связаны с выделением различных аспектов и упором на те или иные функции. Рассмотрим основные предложенные формулировки зарубежных коллег и сформировавшееся мнение автора.

**Intelligent hospital** – интеллектуальный анализ и мониторинг данных, процессов и запросов, виртуальное сотрудничество, различные мобильные и переносные устройства для просмотра, передачи и получения важной информации, поддержка клинических решений и создание безопасной и комфортной среды для пациентов и работы персонала, начало чему было положено использованием радиочастотной идентификации (РЧИ) или Radio Frequency Identification (RFID) для пациент-центрической концентрации диагностических, лечебных устройств и ухода за пациентом [9]. К сожалению, широкое использование этого термина невозможно, так как Intelligent Hospital™ зарегистрирован как товарный знак.

**Digital hospital** – комплекс или своего рода экосистема аппаратных средств, программного обеспечения, взаимосвязанных решений на основе функционирования многочисленных и разнообразных бизнес-процессов и консалтинговых услуг в качестве основы для цифровой трансформации медицинской помощи [10]. Сетевая интеграция процессов позволяет объединить больных, врачей, вспомогательный персонал, информационные потоки и материальные ценности больницы, предоставляя требующиеся данные и ресурсы в нужное время к нужному месту с учетом потребностей оказания медицинской помощи конкретному пациенту.

**Smart hospital** – это интерактивная среда многообразных электронных вычислительных устройств для решения контекстно-зависимых задач медицинской помощи в физико-цифровой экосистеме больницы. Оптимизированные ме-

дицинские процессы, основанные на информационно-компьютерных технологиях и на внедрении понятия «Интернет вещей», ориентированы на создание новых возможностей для пациентов в процессе их пребывания в стационаре [11]. Однако термин Smart, более отвечающий понятию «умного» медицинского учреждения в американской форме английского языка (ум, мозги<sup>1</sup>), несколько сужает в общепринятом варианте представление об интеллектуальной больнице, хотя и используется в понятии умного дома.

**Умная больница** ближайшего будущего, как представляется, может быть определена как интерактивная интеллектуальная цифровая среда, представляющая собой метасистему для управления клиническими путями на основе on-line мониторинга жизненно важных функций в сочетании с оперативным доступом персонала и больных к информации (включая виртуальные консилиумы) при широком использовании мобильных приложений и робототехники.

В соответствии с принятыми в мире рекомендациями HIMSS (Healthcare Information and Management Systems Society) определяется соответствие «умных» больниц одному из 7 этапов информатизации. Для этого HIMSS была создана модель Analytics Electronic Medical Record Adoption для отслеживания прогресса организаций здравоохранения в достижении безбумажной среды [12]. Больницы и учреждения амбулаторной помощи оцениваются на основе их уровня электронной медицинской информации с этапа 0 по 7-й этап. Не останавливаясь на деталях, отметим основные характеристики каждого этапа, начиная, как это принято, с самого высокого.

Этап 7. Полная реализация электронной медицинской карты, обмен информацией о здоровье пациентов с другими медицинскими организациями, аналитика данных, управление, аварийное восстановление, конфиденциальность и безопасность.

Этап 6. Технологии администрирования, поддерживающие обеспечение лекарствами, кровью и ее компонентами; сообщения о рисках для здоровья пациентов, полная поддержка принятия клинических решений.

<sup>1</sup> Агло-русский словарь американского сленга. М.: Инфо-серв, 1994.

Этап 5. Врачебная документация с использованием структурированных шаблонов; защита от вторжений.

Этап 4. Компьютеризированный ввод назначений практикующими специалистами с поддержкой клинических решений и медицинской документации для медсестер; непрерывность выполнения бизнес-процессов снабжения необходимыми средствами.

Этап 3. Электронное управление лекарственным обеспечением; безопасность на основе ролей (лечащий врач, дежурный врач и т.п.).

Этап 2. Хранилище клинических данных, внутренняя интероперабельность, базовая безопасность.

Этап 1. Лабораторные, фармакологические и радиологические / кардиологические информационные системы; системы передачи и архивации DICOM изображений (PACS – Picture Archiving and Communication System), управление цифровыми изображениями без DICOM.

Этап 0. Все три системы 1 этапа не установлены.

Клиника Сеульского национального университета (Южная Корея) Bundang Hospital является признанным лидером среди «умных» больниц. Реализованная в этой больнице цифровая система BESTCare – «Электронная система больницы Bundang для полного ухода» – отвечает понятию всех семи выше рассмотренных этапов, разработанных HIMSS. Она представляет собой интегрированную систему, включающую электронную медицинскую карту, системы компьютерного заказа назначений и рекомендаций предупреждающего характера (когда врачебные назначения несут в себе определённые риски) для врачей и медсестер, систему поддержки клинических решений, администрирование движением лекарственных средств с закрытым контуром, хранилище клинических данных, обмен медицинской информацией и аварийное восстановление. Такой уровень системы был достигнут за период с 2003 по 2011 г.г. Затем начался этап внедрения гибкой системы, в соответствии с быстро меняющейся средой здравоохранения, который включает HIS-приложения следующего поколения, основанные на сервис-ориентированной архитектуре, что позволяет использовать многоцветные, модульные и совместимые приложения [13].

### 3. Этапы цифровизации медицины

Можно попытаться выстроить этапность цифровизации здравоохранения, которая явилась базисом для создания «умных» больниц, отмечая основные вехи на пути медицинской информатики в мире в 21 веке.

1. Цифровая и интеллектуальная обработка клинической информации, включая использование физико-математических моделей в радиологии (например, методы гидродинамики позволяют по построенным изображениям потоков крови проводить вычисления изменения давления в этих потоках).

2. Цифровые стандарты медицины (LOINC, SNOMED и др.), обеспечивающие сопоставимость и совместимость информации, без чего невозможно создание больших систем и последующее использование больших данных; кроме того, интеграция баз данных при использовании стандарта HL7 может значительно ускорить поиск медицинской информации для диагностики и лечения.

3. Цифровые технологии, позволяющие поддерживать электронный документооборот (диспансеризация, диагностика, лечение, реабилитация), обработку и анализ результатов исследований, принятие решений, оценку эффективности применяемых методов лечения. В этом направлении в России предложен клинический путь диагностического и лечебного процессов [14], операторная теория автоматизации медицинских технологических процессов [15].

4. Интеллектуальность и интеграция медицинских устройств и мобильных приложений для своевременного получения различных данных в наиболее удобной для восприятия форме.

5. Полнофункциональный персоно-центрированный подход на всех этапах жизни человека, который обеспечивается путем интеграции медицинских документов и ссылок на первоисточники, включая визуальные данные инструментальных исследований (с использованием магнитно-резонансной томографии, ультразвуковой и другой диагностической аппаратуры).

6. Мультифункциональное процессное управление в лечебно-диагностической практике и функционировании медицинской организации.

Перспективой является переход к безбумажной технологии в здравоохранении, что обеспе-

чит врачам доступ к электронным медицинским документам пациентов независимо от места и времени их первичного создания и хранения.

#### 4. Технологии наблюдения и контроля в «умной» больнице

Система видео-мониторинга позволяет обеспечить на различных уровнях больничной иерархии (главный врач, лечащие врачи, дежурный врач, медицинские сестры и др.) удаленное получение визуальной информации в своей зоне ответственности:

- состояние лечебно-диагностического процесса;
- наблюдение за состоянием пациентов и действиями персонала;
- контроль безопасности медицинской помощи;
- оперативное разрешение конфликтных ситуаций в ходе обследования и лечения пациентов.

Мониторинг физиологических показателей с выведением информации в визуальной форме, включая графическую за выбранный период времени, позволяет врачу получать более полное представление о жизненно важных системах организма на рабочем месте. Интересным направлением являются роботы телеприсутствия, передвигающиеся по палатам и обеспечивающие визуальный контакт врачей с пациентами, наблюдение за системами поддержания жизнедеятельности организма больных в реанимации (своего рода дистанционный обход больных, который можно осуществлять в любое время). Клиника Changi General Hospital в Сингапуре, наряду с японскими больницами, внедряет систему роботизации. Автономные роботы Panasonic Hospi будут оказывать помощь персоналу клиники [16]. Перспективой «умных» больниц является все более широкая роботизация клинических процессов.

Значительно облегчает работу персонала и одновременно резко повышает качество и оперативность оказания медицинской помощи пациентам «умной» больницы система видеонаблюдения, где также находят свое место роботы.

Одним из общепринятых подходов для идентификации, мониторинга и контроля пациентов, персонала, оборудования и лекарств являются информационная система радиочастотной иден-

тификации (на основе технологии RFID или сеть физических объектов со встроенными датчиками для взаимодействия друг с другом и с внешней средой [17]), что позволяет:

- контролировать использование приборов, оборудования и лекарств;
- сократить время ожидания пациентами проведения медицинских процедур;
- обеспечить быстрый поиск передвижения пациентов по технологической цепочке и поиск необходимого оборудования;
- оптимизировать нагрузку на персонал;
- внедрить систему оплаты труда персонала по результатам объективной оценки его деятельности и др.

RFID-метки позволяют перейти к системе распределения лекарств на основе штрихкодирования с автоматической верификацией по 5 параметрам: соответствующий пациент, определенное лекарство, доза, путь, время введения. *Перспектива – интеллектуальная роботизация* в раздаче лекарств в соответствии с программой, использующей вышеперечисленные пять ключевых параметров, а также временные характеристики приема медикаментов. Хотя применение RFID намного шире, так как система радиочастотной идентификации рассматривается в качестве инструмента для внедрения "медицинского технологического процессора" в многопрофильной больнице [18].

#### 5. Средства информатизации для пациента и о пациенте

Информационные технологии в «умной» больнице – это принципиально новый этап их применения, обеспечивающий пациенту и персоналу максимальные удобства и уровень информированности. Следует представить некоторые из них:

- интеллектуальный анализ мониторируемой информации о состоянии пациента,
- возможность для врачей в любом месте просмотреть и внести данные в электронную медицинскую карту (ЭМК) больного;
- информационная панель (на внешней стороне палаты) для отображения важной текущей информации для врачей и необходимой информации о больном для гостей пациента,

- взвешивание пациентов на кровати с помощью встроенных весов,
- адаптация кровати к положению тела и распределению веса,
- автоматическая сигнализация о падении пациента,
- автоматическая и ручная (с клавиатуры) отправка со стороны пациента различной клинически значимой информации в ЭМК,
- доступ пациента к его ЭМК, к врачам, Интернету, обучающим медицинским материалам.

Одним из важных условий является обеспечение пациента Wi-Fi для контактов и психологической поддержки при полном дистанционном контакте в любое время.

На основе персон-центрированной технологии интернета вещей (Internet of Things, IoT) [19], принципы которой широко используются в умной больнице для комфортного пребывания в палате, даже тяжело больной из любого положения может регулировать по своему желанию работу кондиционера, вентилятора, жалюзи и всего остального [19, 20].

## 6. Моделирование на данных инструментальных исследований

Несомненно, важным направлением в развитии «умных» больниц является моделирование и интеллектуальный анализ различных визуальных структур, получаемых в процессе обследования пациентов. Данные радиологических и ультразвуковых, а также других исследований в настоящее время представляются не просто в оцифрованной форме, но и подвергаются значительным преобразованиям, повышающим их качество и выявляющим невозможные ранее для наблюдения элементы. Этот подход должен найти еще более широкое применение в будущих «умных» больницах. Он должен обеспечить врачам получение не только первичной информации снимаемой с современной аппаратуры, но и результатов обработки с использованием математических методов и интеллектуального анализа данных. Уже широко применяемое в настоящее время параметрическое моделирование радиологических изображений позволяет выявлять многочисленные невидимые при исследовании изменения. Для этого применяются построение, визуализация и сегментация трехмерных (3D) изображений

статических органов и трехмерных динамических (3D+T) изображений подвижных органов и систем, наложение изображений различной модальности, 3D визуализация стенозирующего субстрата при облитерирующих поражениях артерий как следствие обработки данных после внутрисосудистых ультразвуковых исследований, что позволяет провести измерения объемов разной выраженности атеросклеротических бляшек, а также проконтролировать качество установки стентов [21-23].

*Эволюция медицинских изображений*, сформулированная А.В. Гавриловым в выступлении на VIII Всероссийском национальном конгрессе по лучевой диагностике и терапии «Радиология-2014»<sup>2</sup>, можно рассматривать как перспективу пути от уходящего в прошлое рентгена (2D-изображения), анатомических изображений рентгено-компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии (3D), через динамические изображения Voxel-man (4D), с оценкой структурно-функциональных и перфузионных изменений при позитронно-эмиссионной томографии [24], в глубину пятой размерности молекулярных изображений (5D). Основанием к дальнейшему поиску послужили различные методы исследования в области обнаружения признаков высокого риска дестабилизации атеросклеротической бляшки в кардиологии [25, 26]. В этих случаях визуализация может оказаться полезным инструментом исследования молекулярных звеньев патогенеза атеросклероза [27], включая апоптоз [28] и ангиогенез [29].

В этом плане проект «Цифровой пациент» [30] ориентирован на построение 3D анатомических моделей с наложением на них физиологических, биофизических, биохимических параметров, характеризующих разные аспекты состояния и функционирования исследуемых органов, начиная с генного уровня. На этой основе предполагается строить диагностику и «проигрывать» наиболее адекватные лечебные воздействия.

В перспективе планируется применение в анализе строящихся изображений различных методов искусственного интеллекта для поиска неизвестных фактов, аналогичных случаев и прецедентов, формирование заключений.

<sup>2</sup> VIII Всероссийский национальный конгресс по лучевой диагностике и терапии «Радиология - 2014». М., 28-30 мая 2014 г.

## 7. Медицина 4P

Концепция «умной» медицинской организации имеет большой потенциал *для поддержки концепции медицины P4* [31], которая включает:

*predictive (предсказательную)* и *preventive (предупредительную)*, которые невозможны без интеллектуального анализа данных, поступающих с датчиков в реальном времени,

*personalize (персонализированную)*, включающую обязательный контроль показателей организма при использовании портативные медицинских устройств (portable medical device) или гаджетов,

*participant (соучаствующую)*, что предполагает активное участие пациента в борьбе за свое здоровье, в частности, используя ауторегуляцию и компьютерное биоуправление.

Развивающаяся медицина 4P невозможна без применения гаджетов (например, в форме специальных браслетов или часов), используемых больными дома, на работе, в других местах. Заслуживает внимания современное портативное устройство для диагностики атеросклероза коронарных артерий в домашних условиях (без инвазивного вмешательства). Используя эффект турбулентности при прохождении крови через артерии, оно генерирует аудио сигнал, который улавливается, анализируется и передается. В результате он возвращается к пациенту в форме медицинского заключения.

Перспектива – гаджеты интеллектуальные самонастраивающиеся (заранее настроенные для конкретного индивидуума) или, кроме того, дистанционно контролируемые медицинской системой «Умной больницы», которая выдает пользователю в режиме on-line советы о необходимой коррекции физической нагрузки. Это крайне важно, поскольку общая рекомендация «бегом от инфаркта» в определенных случаях может, наоборот, спровоцировать острую коронарную недостаточность.

## 8. Ситуационное управление и логистика

Отдельное направление «умной» больницы связано с административно-управленческой деятельностью. Здесь находит применение предсказательная аналитика, которая включает в себя

множество статистических методов из областей прогнозного моделирования. Также можно думать о применении машинного обучения и интеллектуального анализа данных.

Продуктивным представляется ситуационное управление [32], реализуемое как на тактическом, так и на стратегическом уровне. При этом появляется возможность на едином языке описывать как объект управления и его функционирование, так и процедуру управления им в «умном» стационаре, характеризующемся полномасштабной цифровизацией процессов различного типа. Такой подход может обеспечить:

- анализ текущих ситуаций (с оценкой ключевых показателей);
- планирование тактических решений с учетом их влияния на стратегию развития;
- определение ключевых показателей достижения тактических задач и стратегических целей;
- оценку эффективности выполнения запланированных показателей и предложения по устранению выявленных отклонений;
- формирование решений по актуализации стратегии.

К этим проблемам примыкают вопросы логистики в осуществлении поставок широкого ассортимента, необходимого для бесперебойного функционирования «умной» больницы (медикаменты, оборудование, различные сменные материалы, питание и др.). Для этого в цифровой больнице предусматривается применение бизнес-аналитической технологии в вопросах поставок, обработки и распределения, включающей ряд уровней [33]:

1 уровень – источника процедурных данных – структурированные, полуструктурированные и неструктурированные исходные данные, предоставляемые основными узлами цепочек больничной логистики, включая разные отделения больницы;

2 уровень – сбора данных – обеспечивает подключение и доступ к информации, отображает различные источники для извлечения, преобразования и обновления данных;

3 уровень – интеграции информации – объединяет многие базовые источники, использует исходную информацию из хранилища, чтобы описать данные, извлеченные с уровня сбора, изменить синтаксис и семантику следующего

уровня, реализовать построение общего хранилища и завершить преобразование данных из нескольких источников и интеграцию цепи поставок в больницу;

4 уровень – модели знаний – описывает процессы и информационные модели управления логистикой больницы и семантику их взаимозависимости, реализует логику моделирования бизнес-процессов между основными узлами цепи больницы логистики;

5 уровень – анализа запросов – предоставляет инструменты и приложения, являющиеся ядрами совместной функции Business Intelligent (запрос, отчет, корреляционный, трендовый и прогнозный анализ), которые можно вызывать на уровне виртуального сотрудничества, а также осуществлять визуализированное исследование данных в реальном времени для облегчения сравнения и прогнозирования окончательной информации;

6 уровень – виртуального сотрудничества – обеспечивает пользовательский интерфейс и виртуальные пространства, основанные на настройке специфических параметров логистического бизнеса, которые используются для отображения проблем, включая выбор поставщиков медицинских расходных материалов, оптимизацию запасов, распределение продуктов, координацию информации и бизнес координацию и, наконец, реализацию оценки пользователей и принятия решений.

Для эффективной поддержки полного цикла процесса функционирования медицинского учреждения провайдеры должны интегрировать огромное количество разрозненных данных в реальном времени. Этот многосторонний процесс особенно важен для отделений реанимации и интенсивной терапии. Роль когнитивной эргономики в принятии решений в ежедневной работе таких отделений включает учет многозадачности и ответы на непредсказуемые заранее события в состоянии пациентов, когда крайне важно определение приоритетов по выполнению задач. Повышение уровня взаимодействия участников, оперативно получающих необходимую информацию, медикаменты и оборудование, своевременно поставляемые провайдерами, в том числе по оперативным запросам, является залогом эффективного принятия медицинских решений и снижает диагностические и терапевтические

ошибки. В этих ситуациях особенно возрастает роль когнитивного агента. Разработка общей ментальной модели поддержки и действий врачей, медсестер и других участников лечебного процесса усложняется вследствие отличающейся интерпретации данных, получаемых из разных источников, что может оказать существенное воздействие на результаты оказания помощи в критический период [34]. В подобных ситуациях Zhang и Norman [35] ссылались на теорию распределенного познания. С этой точки зрения система с многочисленными провайдерами, пациентами, физиологическими мониторами, диагностическими данными и членами семьи могут рассматриваться как распределенная когнитивная сеть.

## 9. Обсуждение

Порядка 250 больниц в мире, которые признаны «умными» – это медицинские организации госпитального типа, которые достигли различных ступеней цифровизации. Общеизвестным лидером является корейская больница, хотя и в их планах дальнейшее развитие. Но это уже за рамками принятого на сегодня как высший седьмого уровня, уже достигнутого в этом стационаре.

В то же время, с позиций методов искусственного интеллекта, применяемых в медицинских системах, можно видеть возможность более глубокого анализа данных и принятия решений в «умных» больницах, чем это имеет место в настоящее время. Углубленная интеллектуальная обработка различных данных, получаемых с аппаратуры и мониторируемых в постоянном режиме индивидуальных датчиков, позволит повысить качество диагностики и контроль эффективности выбираемой тактики лечения. По мере накопления историй болезней, что позволит перейти к понятию big data, появится возможность извлечения новых знаний с помощью machine learning. Одновременно повысится возможность диагностики, прогноза и подбора лечения по прецедентам.

## Заключение

Умная больница – цифровая (киберфизическая) среда медико-технологических и медико-организационных системных компонентов. В



контуре КФС обеспечивается не только контроль физиологических показателей, но и осуществляется обращение контекстной информации. Цифровая больница обеспечивает виртуальный характер оперативного взаимодействия данными, создавая вокруг каждого пользователя (медицинского работника, пациента, посетителя) необходимую контекстную среду. Интеллектуальный анализ и мониторинг данных, процессов и запросов на основе интегрируемой информации направлен на всемерную поддержку решений медицинского характера и создание комфортной среды для пациентов. Возможность аналитики в режиме “real-time” способствует повышению эффективности решений, которые принимаются в соответствии с ситуацией. Логистическое управление движением клинических, медико-организационных данных и запасов обеспечивает непрерывность контроля текущего состояния и качество менеджмента.

Концентрируя мировую и отечественную медицинскую информацию, «умная больница» представляет собой центр компетентности. В ее базе данных аккумулируется информация о больных с традиционно протекающими и нетипичными формами заболеваний, результаты их лечения различными способами, что позволяет обращаться как к интегрированному опыту, так и к прецедентам.

Системы поддержки принятия клинических решений могут быть реализованы как консультативные на основе методов искусственного интеллекта или обеспечивать информационную поддержку с использованием мирового опыта в вопросах диагностики и лечения. Примером может служить система САКРАЛ [36], опирающаяся на отечественные и зарубежные рекомендации, из которых врач может выбирать соответствующие конкретному случаю и научной школе, к которой он принадлежит.

Основная цель «умных» больниц – улучшить качество обследования пациентов, их безопасность в процессе проведения лечебно-диагностических мероприятий, комфортность пребывания больных и функциональную совместимость медико-технологических процессов внутри больницы и во внебольничном периоде контроля и восстановления здоровья.

Опыт «умных» больниц по модернизации и созданию новых модулей цифровой медицины является незаменимым для дальнейшего продвижения различных медицинских организаций по пути электронного здравоохранения.

## Литература

1. Kobrinsky B., Tester I., Demikova N. et al. A Multifunctional System of the National Genetic Register // *Medinfo'98: Proceedings of 9th International Congress on Medical Informatics*. Pt.1. Seoul, 1998. P.121-125.
2. Handler Th.J., Hieb B.R. Gartner's 2007 Criteria for the Enterprise CPR. (URL: [http://rsept.wikispaces.com/file/view/Gartner\\_Criteria\\_for\\_the\\_Enterprise\\_CPR\\_2007.pdf](http://rsept.wikispaces.com/file/view/Gartner_Criteria_for_the_Enterprise_CPR_2007.pdf)).
3. Шульман Е.И., Рот Г.З. Цель и задачи внедрения клинической информационной системы нового поколения // *Врач и информационные технологии*. 2004. №12. С.39-43.
4. Малых В.Л., Рудецкий С.В., Хаткевич М.И. Активная МИС // *Врач и информационные технологии*. 2016. № 6. С.16-24.
5. eHealth. Fifty-eighth world health assembly. Resolutions and decisions. Document A58/21. Ninth plenary meeting, 25 May 2005. Committee A, seventh report. P.121-123.
6. Monostori L., Kádár B., Bauernhansl T. et al. Cyber-physical systems in manufacturing // *CIRP Annals*. 2016. Vol.65, Iss.2. P.621-641.
7. Джафарова О.А., Донская О.Г., Соколов А.В., Тарасов Е.А., Штарк М.Б. Программно-аппаратный комплекс БОСЛАБ. Траектория развития / М.Б. Штарк, М. Шварц (отв. ред.) // *Биоуправление-4: Теория и практика*. Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. С.279-286.
8. Святогор И.А., Моховикова И.А. Нейрофизиологические, психологические и клинические аспекты биоуправления потенциалами мозга у больных с дезадаптационными расстройствами / М.Б. Штарк, М. Шварц (отв. ред.) // *Биоуправление-4: Теория и практика*. Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. С.44-51.
9. Frisch P. What is an intelligent hospital? // *IEEE Pulse*. 2014. Vol.5. P.10-15.
10. Borden S. Digital hospital // *MIT Technology Review*. 2001. (URL: <https://www.technologyreview.com/s/401089/digital-hospital/>).
11. Holzinger A., Rocker C., Ziefle M. From smart health to smart hospitals // *Smart Health: Open Problems and Future Challenges* / A. Holzinger, Rocker C., Ziefle M. (Eds.). Cham: Springer International Publishing Switzerland. 2015. P.1–20.
12. HIMMS Analytics: Electronic medical record adoption model. 2017. (URL: <https://www.himssanalytics.org/emram>).
13. Yoo S., Lee K.H., Lee H.J. et al. Seoul National University Bundang Hospital's Electronic System for Total Care // *Healthcare Informatics Research*. 2012. Vol.18. No.2. P.145–152.
14. Назаренко Г.И., Осипов Г.С. Медицинские информационные системы и искусственный интеллект. Вып.3. Под науч. ред. акад. Ю.И. Журавлева / Сер. Информа-

- ционные системы в медицине: Науч. пособ. М.: Медицина XXI, 2003. 240 с.
15. Карпов О.Э., Клейменова Е.Б., Назаренко Г.И., Силаева Г.И. Автоматизированное проектирование медицинских технологических процессов / Под ред. Г.И. Назаренко. М.: Деловой экспресс, 2016. 200 с.
  16. Робоконплексы, Робосестры // Medrobot.ru. 2015 (URL: <http://medrobot.ru/nurse/>)
  17. Hendrickson D. Study: RFID in hospitals shows ROI promise // Mass High Tech: The Journal of New England Technology. 2004. 15 p. (URL: <http://masshightech.bizjournals.com/masshightech/stories/2004/12/06/story9.html>).
  18. Назаренко Г.И., Клейменова Е.Б., Ладохин И.А., Матросова Е.В., Туров М.А., Фомин А.А., Пающик С.А., Яшина Л.П. Система радиочастотной идентификации как инструмент внедрения "медицинского технологического процессора" в многопрофильной больнице // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. Т.12, № 10. С.75-81.
  19. Chibaudel Q., Joaquim B., Veronique L.-N., Mounir M. Human centered design conception applied to the Internet of Things: Contribution and interest // Smart Homes and Health Telematics, Designing a Better Future: Urban Assisted Living. 16th International Conference, ICOST 2018, Singapore, July 10-12, 2018, Proceedings / M. Mounir, A. Bessam, A. Hamdi (Eds.). Springer Intern. Publ AG, part of Springer Nature, 2018. P.11-22.
  20. Yu L., Lu Y., Zhu X.J. Smart Hospital based on Internet of Things // Journal of networks. 2012. Vol. 7. №.10. P.1654-1661.
  21. Демин В.В. Клиническое руководство по внутрисосудистому ультразвуковому исследованию. Оренбург: ОАО «ИПК» «Южный Урал», 2005. 386 с.
  22. Гаврилов А.В., Архипов И.В., Куликов И.В. Современные информационные технологии для объективизации диагностики и лечения // Стратегия информатизации в медицине. 17 принципов и решений. Второе издание. М.: Открытые Технологии; Проблемная комиссия "Медицинская и биологическая кибернетика и информатика" РАМН, 2012. С.318-330.
  23. Yatchenko A.M., Krylov A.S., Gavrilov A.V., Arkhipov I.V. Building a three-dimensional dynamic model of left cardiac ventricle from ultrasonic data // Pattern Recognition and Image Analysis. 2012. Vol.22. No.3. P.483-488.
  24. Blankstein R., Di Carli M.F. Integration of coronary anatomy and myocardial perfusion imaging // Nature Reviews Cardiology. 2010. Vol.7. No.4. P.226-236.
  25. Naghavi M., Libby P., Falk E. et al. From vulnerable plaque to vulnerable patient: a call for new definitions and risk assessment strategies: Part II // Circulation. 2003. Vol.108. No.15. P.1772-1778.
  26. Anwaier G., Chen C., Cao Y., Qi R. A review of molecular imaging of atherosclerosis and the potential application of dendrimer in imaging of plaque // International Journal of Nanomedicine. 2017. No.12. P.7681-7693.
  27. Jaffer F.A., Weissleder R. Seeing within: molecular imaging of the cardiovascular system // Circulation Research. 2004. Vol.94. No.4. P.433-445.
  28. Kietselaer B.L., Reutelingsperger C.P., Heidendal G.A. et al. Noninvasive detection of plaque instability with use of radiolabeled annexin A5 in patients with carotid-artery atherosclerosis // New England Journal of Medicine. 2004. Vol.350. No.14. P.1472-1473.
  29. Matter C.M., Schuler P.K., Alessi P. et al. Molecular imaging of atherosclerotic plaques using a human antibody against the extra-domain B of fibronectin // Circulation Research. 2004. Vol.95. No.12. P.1225-1233.
  30. Гаврилов А.В., Архипов И.В., Куликов И.В., Акимова Е.А., Ятченко А.М. От PACS к 3D цифровому пациенту // Материалы XV Всероссийской конференции, официальный каталог "Информационные технологии в медицине". М., 2014. С.65-69.
  31. Hood L., Galas D. P4 Medicine: Personalized, Predictive, Preventive, Participatory // A Change of View that Changes Everything: A white paper prepared for the Computing Community Consortium committee of the Computing Research Association. 2008. 4 p. (URL: <http://cra.org/ccc/resources/ccc-led-whitepapers/>)
  32. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 288 с.
  33. Liu T., Shen A., Hu X., Tong G., Gu W. The Application of Collaborative Business Intelligence Technology in the Hospital SPD Logistics Management Model // Iranian Journal Public Health. 2017. Vol.46. No.6. P.744-754.
  34. Pickering B.W., Litell J.M., Herasevich V., Gajic O. Clinical review: The hospital of the future – building intelligent environments to facilitate safe and effective acute care delivery // Critical Care. 2012. Vol.16. P.220-231.
  35. Zhang J., Norman D.A. Representations in distributed cognitive tasks // Cognitive science. 1994. Vol.18. P.87-122.
  36. Назаренко Г.И., Клейменова Е.Б., Константинова М.А., Кашевская О.П., Пающик С.А. Система автоматизации клинических руководств и аудита лечения (САКРАЛ) в неврологии // Врач. 2014. № 9. С. 84-87.

**Кобринский Борис Аркадьевич.** Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук" (ФИЦ ИУ РАН), г. Москва, Россия. Заведующий отделом. Доктор медицинских наук, профессор. Количество печатных работ: более 500 (в т. ч. 8 монографий). Область научных интересов: медицинская информатика, инженерия знаний, интеллектуальные системы поддержки принятия решений. E-mail: [kba\\_05@mail.ru](mailto:kba_05@mail.ru)

## Smart hospital as a tool of digital medicine

B.A. Kobrinskii

Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The article examines various aspects of the so-called "smart" or "digital" hospitals, the number of which in the world is more than 200. These are hospitals where information technologies are universally implemented, including the intellectual level of clinical decision support and business processes. It should ensure the improvement of the process and quality of medical care, administrative process and communication infrastructure, necessarily including the possibility of monitoring with sensors of equipment strengthened on the patient's body. The maximum full, if necessary, control of physiological parameters and the full availability of all the rest of the information about patients for all medical personnel in any place of its location and comfort for patients through the use of mobile applications and the Internet of things are a necessary condition for a smart hospital. The "smart" hospital is represented from the positions of the cyberphysical system. The architecture of the cyberphysical system in the considered variant of the digital hospital presupposes the intellectual analysis of any monitored data. As a perspective, an expansion of the range of artificial intelligence methods is considered to support various solutions, mathematical models of physical processes and the application of robots.

**Keywords:** eHealth, digital hospital, intellectual hospital, cyberphysical system, monitoring of physiological parameters, physical-and-mathematical modeling.

DOI 10.14357/20718632180401

### References

1. Kobrinsky, B., I. Tester, N. Demikova et al. 1998. A Multifunctional System of the National Genetic Register // Medinfo'98: Proceedings of 9th International Congress on Medical Informatics. Pt.1. Seoul. 121-125.
2. Handler, Th.J., and B.R. Hieb. 2007. Gartner's 2007 Criteria for the Enterprise CPR. Available at: [http://tsept.wikispaces.com/file/view/Gartner\\_Criteria\\_for\\_the\\_Enterprise\\_CPR\\_2007.pdf](http://tsept.wikispaces.com/file/view/Gartner_Criteria_for_the_Enterprise_CPR_2007.pdf) (accessed April 21, 2018).
3. Shul'man, E.I., and G.Z. Rot. 2004. Tsel' i zadachi vnedreniya klinicheskoy informatsionnoy sistemy novogo pokoleniya [The purpose and objectives of introducing a new generation clinical information system]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii* [Physician and Information Technologies] 12:39-43.
4. Malykh, V.L., S.V. Rudetskij, and M.I. Khatkevich. 2016. Aktivnaya MIS [Active MIS]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii* [Physician and Information Technologies] 6:16-24.
5. eHealth. Fifty-eighth world health assembly. Resolutions and decisions. Document A58/21. Ninth plenary meeting, 25 May 2005. Committee A, seventh report. P.121-123. Available at: [http://apps.who.int/gb/archive/pdf\\_files/WHA58/A58\\_21-en.pdf](http://apps.who.int/gb/archive/pdf_files/WHA58/A58_21-en.pdf) (accessed April 13, 2018).
6. Monostori, L., B. Kádár, T. Bauernhansl et al. 2016. Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*. 65(2):621-641.
7. Dzhafarova, O.A., O.G. Donskaya, A.V. Sokolov, E.A. Tarasov, and M.B. Shtark. 2002. Programmno-apparatnyj kompleks BOSLAB [Software and hardware complex BOSLAB]. *Bioupravlenie-4: Teoriya i praktika. Traektoriya razvitiya* [Bio-control-4: Theory and practice. Trajectory of development]. M.B. Shtark, and M. Shvarts (otv. red.). Novosibirsk, TSEHRIS, 279-286.
8. Svyatogor, I.A., and I.A. Mokhovikova. 2002. Nejrofiziologicheskie, psikhologicheskie i klinicheskie aspekty bioupravleniya potentsialami mozga u bol'nykh s dezadaptatsionnymi rasstrojstvami [Neurophysiological, psychological and clinical aspects of brain potentials biocontrol in patients with disadaptive disorders] *Bioupravlenie-4: Teoriya i praktika. Traektoriya razvitiya* [Bio-control-4: Theory and practice. Trajectory of development]. M.B. Shtark, and M. Shvarts (otv. red.). Novosibirsk, TSEHRIS, 44-51.
9. Frisch, P. 2014. What is an intelligent hospital? *IEEE Pulse*. 5:10-15.
10. Borden, S. Digital hospital. 2001. MIT Technology Review. Available at: <https://www.technologyreview.com/s/401089/digital-hospital/> (accessed February 23, 2018).
11. Holzinger, A., C. Rocker, and M. Ziefle 2015. From smart health to smart hospitals. *Smart Health: Open Problems and Future Challenges*. A. Holzinger, C. Rocker, and M. Ziefle (Eds.). Cham: Springer International Publishing Switzerland. 1–20.
12. HIMMS Analytics: Electronic medical record adoption model. 2017. Available at: <https://www.himssanalytics.org/emram> (accessed July 10, 2018).
13. Yoo, S., K.H., Lee, and H.J. Lee et al. 2012. Seoul National University Bundang Hospital's Electronic System for Total Care. *Healthcare Informatics Research*. 18(2):145–152.
14. Nazarenko, G.I., and G.S. Osipov. 2003. Meditsinskie informatsionnye sistemy i iskusstvennyj intellekt. Vyp.3. Pod nauch. red. akad. Yu.I. Zhuravleva / Seriya Informatsionnye sistemy v meditsine: Nauchnoe. posobie. [Medical information systems

- and artificial intelligence. Iss.3. Yu.I. Zhuravlev (Ed.). Series Information systems in medicine: A scientific manual]. Moscow: Medicine XXI. 240 p.
15. Karpov, O.Eh., E.B. Klejmenova, G.I., Nazarenko and G.I. Silaeva. 2016. Avtomatizirovannoe proektirovanie meditsinskikh tekhnologicheskikh protsessov. Pod red. G.I. Nazarenko. [Computer-aided design of medical technological processes]. G.I. Nazarenko (Ed). Moscow: Business Express. 200 p.
  16. Robokompleksy, Robosestry [Robocomplexes, Robonurses]. Medrobot.ru. 2015. Available at: <http://medrobot.ru/nurse/> (accessed July 30, 2018).
  17. Hendrickson, D. 2004. Study: RFID in hospitals shows ROI promise. Mass High Tech: The Journal of New England Technology. 15 p. Available at: <http://masshightech.bizjournals.com/masshightech/stories/2004/12/06/story9.html> (accessed December 10, 2017).
  18. Nazarenko, G.I., E.B. Klejmenova, I.A. Ladokhin, E.V. Matrosova, M.A. Turov, A.A. Fomin, S.A. Payushhik, and L.P. Yashina. 2014. Sistema radiochastotnoj identifikatsii kak instrument vnedreniya "meditsinskogo tekhnologicheskogo protsessora" v mnogoprofil'noj bol'nitse [Radio-frequency identification system as a tool for introducing a "medical technological processor" in a multiprofile hospital]. Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushhie sistemy [Information-measuring and control systems]. 12(10):75-81.
  19. Chibaudel, Q., B. Joaquim, L.-N. Veronique, and M. Mounir. 2018. Human centered design conception applied to the Internet of Things: Contribution and interest. Smart Homes and Health Telematics, Designing a Better Future: Urban Assisted Living. 16th International Conference ICOST 2018. Singapore, July 10-12, 2018. Proceedings. M. Mounir, A. Bessam, and A. Hamdi (Eds.). Springer Intern. Publ AG, part of Springer Nature. 11-22.
  20. Yu, L., Y. Lu, and X.J. Zhu. 2012. Smart Hospital based on Internet of Things. Journal of networks. 7(10):1654-1661.
  21. Demin, V.V. 2005. Klinicheskoe rukovodstvo po vnutrisudistomu ul'trazvukovomu issledovaniyu. [Clinical guidelines for intravascular ultrasound]. Orenburg: OJSCo IPK South Ural. 386 p.
  22. Gavrilov, A.V., I.V. Arkhipov, and I.V. Kulikov. 2012. Sovremennye informatsionnye tekhnologii dlya ob'ektivizatsii diagnostiki i lecheniya [Modern information technologies for the objectification of diagnosis and treatment]. Strategiya informatizatsii v meditsine. 17 printsipov i reshenij. Vtoroe izdanie [Informatization strategy in medicine. 17 principles and solutions. The second edition]. Moscow: Open Technologies, Problem Commission "Medical and Biological Cybernetics and Informatics" RAMS. 318-330.
  23. Yatchenko, A.M., A.S. Krylov, A.V. Gavrilov, and I.V. Arkhipov. 2012. Building a three-dimensional dynamic model of left cardiac ventricle from ultrasonic data. Pattern Recognition and Image Analysis. 22(3):483-488.
  24. Blankstein, R., and M.F. Di Carli. 2010. Integration of coronary anatomy and myocardial perfusion imaging. Nature Reviews Cardiology. 7(4):226-236.
  25. Naghavi, M., P. Libby, E. Falk et al. 2003. From vulnerable plaque to vulnerable patient: a call for new definitions and risk assessment strategies: Part II. Circulation. 108(15):1772-1778.
  26. Anwaier, G., C. Chen, Y. Cao, and R. Qi. 2017. A review of molecular imaging of atherosclerosis and the potential application of dendrimer in imaging of plaque. International Journal of Nanomedicine. 12:7681-7693.
  27. Jaffer, F.A., and R. Weissleder. 2004. Seeing within: molecular imaging of the cardiovascular system. Circulation Research. 94(4):433-445.
  28. Kietselaer, B.L., C.P. Reutelingsperger, G.A. Heidendal et al. 2004. Noninvasive detection of plaque instability with use of radio-labeled annexin A5 in patients with carotid-artery atherosclerosis. New England Journal of Medicine. 350(14):1472-1473.
  29. Matter, C.M., P.K. Schuler, P. Alessi et al. 2004. Molecular imaging of atherosclerotic plaques using a human antibody against the extra-domain B of fibronectin. Circulation Research. 95(12):1225-1233.
  30. Gavrilov, A.V., I.V. Arkhipov, I.V. Kulikov, E.A. Akimova, and A.M. Yatchenko. 2014. Ot PACS k 3D tsifrovomu patsientu [From PACS to 3D digital patient]. Materialy XV Vserossijskoj konferentsii, ofitsial'nyj katalog "Informatsionnye tekhnologii v meditsine" [Proceedings of the XV All-Russian Conference, the official catalog "Information Technologies in Medicine"]. Moscow. 65-69.
  31. Hood, L., and D.Galas. 2008. P4 Medicine: Personalized, Predictive, Preventive, Participatory. A Change of View that Changes Everything: A white paper prepared for the Computing Community Consortium of the Computing Research Association. 4 p. Available at: <http://cra.org/ccc/resources/ccc-led-whitepapers/> (accessed November 30, 2017).
  32. Pospelov, D.A. 1986. Situatsionnoe upravlenie: teoriya i praktika Situational control: theory and practice. Moscow: Nauka, Principal editorial office of physical and mathematical literature. 288 p.
  33. Liu, T., A. Shen, X. Hu, G. Tong, and W. Gu. 2017. The Application of Collaborative Business Intelligence Technology in the Hospital SPD Logistics Management Model. Iranian Journal Public Health. 46(6):744-754.
  34. Pickering, B.W., J.M. Litell, V. Herasevich, and O. Gajic. 2012. Clinical review: The hospital of the future – building intelligent environments to facilitate safe and effective acute care delivery. Critical Care. 16:220-231.
  35. Zhang, J., and D.A. Norman. 1994. Representations in distributed cognitive tasks. Cognitive science. 18:87-122.
  36. Nazarenko, G.I., E.B. Klejmenova, M.A. Konstantinova, O.P. Kashevskaya, and S.A. Payushhik. 2014. Sistema avtomatizatsii klinicheskikh rukovodstv i audita lecheniya (SAKRAL) v neurologii [The system of automation of clinical guidelines and audit of treatment (SACRAL) in neurology]. Vrach [Physician]. 9:84-87.

**Kobrinский B.A.**, PhD, Prof., Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia, e-mail: kba\_05@mail.ru