

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИОМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ INFORMATION TECHNOLOGIES IN BIOMEDICAL SYSTEMS

УДК 60::004.3

А. А. Кухтичев, аспирант, e-mail: a.kukhtichev@mail.ru,
Е. А. Клёнов, аспирант, e-mail: eaklenov@gmail.com,
С. В. Скородумов, доцент, канд. техн. наук, e-mail: skorodum@gmail.com,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Россия, г. Москва

Разработка архитектуры информационной системы "ЦифроМед" цифровой медицины в авиации и космонавтике

Представлен системный подход к созданию web-сервисов цифровой медицины в авиации и космонавтике на основе методов и технологий биологической обратной связи (БОС), а также рассмотрены исторические предпосылки БОС-технологий. Основное внимание в работе направлено на описание архитектуры информационной системы "ЦифроМед", которая после ее реализации позволит в режиме реального времени контролировать состояние здоровья летных экипажей и авиадиспетчеров (т. е. именно тех пользователей системы, от которых зависит безопасность полетов).

Ключевые слова: цифровая медицина (ЦМ), информационная система (ИС), информационный портал (ИП), биологическая обратная связь (БОС), носимые устройства микроэлектроники (НУМ)

Введение

В основе цифровой медицины (ЦМ) как нового направления развития здравоохранения в XXI веке лежат методы биологической обратной связи (БОС) с человеком как биологическим объектом управления, на основе измерения его параметров жизнедеятельности (частоты сердечных сокращений, артериального давления, мышечной силы и др.). Научной основой для создания методов БОС стали фундаментальные исследования механизмов регуляции физиологических процессов у человека и животных [1–8].

Благодаря развитию инфокоммуникационных технологий (ИКТ) появилась возможность предоставлять пользователям обратную связь не только в виде графиков и звуковых сигналов, но и создавать полноценные пользовательские интерфейсы (GUI), в том числе игровые сюжеты, управление которыми также основано на технологиях БОС.

По программе научных исследований Московский авиационный институт выполняет комплексную тему НИОКР "Цифровая медицина в авиации и космонавтике" на основе взаимодействия творческих проектных команд из числа студентов, аспирантов и преподавателей МАИ факультетов "Аэрокосмического", "Системы управления, информати-

ка и электроэнергетика", "Прикладная математика и физика" в целях создания информационного портала цифровой медицины "ЦифроМед" в авиации и космонавтике. Основное внимание исследований направлено на создание инструментария для прототипирования и разработки специальных носимых устройств микроэлектроники (НУМ) в виде датчиков первичной информации, данные которых передаются в облако и накапливаются в базах данных (БД) в центре обработки данных (ЦОД), чтобы как медицинские специалисты, так и конечные пользователи системы постоянно были на связи, в результате чего самочувствие пользователей находилось бы под контролем 24 ч в сутки. Система "ЦифроМед" при ее внедрении позволит космонавтам, пилотам, штурманам, диспетчерам и другим авиаспециалистам контролировать параметры жизнедеятельности организма (показатели здоровья) и оперативно пересылать результаты измерений на виртуальную машину в центре обработки данных (ЦОД), эксперту, специалисту в области ЦМ, а также личному врачу.

Целью программы научных исследований МАИ является создание информационного портала "ЦифроМед" — цифровой медицины, который бы обеспечивал пользователей оперативной информа-

цией и предоставлял доступ к медицинским релевантным данным.

Одно из главных направлений развития технологий БОС в рамках цифровой медицины связано с биосенсорами, датчиками первичной информации и носимыми устройствами микроэлектроники (НУМ), которые реально дают возможность пользователям БОС-системы контролировать состояние своего организма. В свою очередь, система "ЦифроМед" может быть интегрирована в центр подготовки космонавтов для контроля показателей жизнедеятельности космонавтов как во время подготовки, так и на всех этапах полета, а также во время пребывания экипажа на орбите.

Разработка архитектуры информационной системы "ЦифроМед"

Применение технологий БОС за последние 10 лет уже дало существенные результаты, когда десятки тысяч людей в мире получили возможность реально контролировать состояние своего здоровья.

В рамках системы "ЦифроМед" предусмотрена возможность использования 3D-модели организма основного пользователя системы (космонавта, пилота, штурмана, авиадиспетчера и др.). Для построения такой модели планируется использовать

результаты применения метода компьютерной томографии. Такие разработки ведутся, в частности, в рамках специальных программ Нижегородского государственного университета [9].

Концептуальная модель в виде интеллект-карты портала "ЦифроМед" представлена на рис. 1.

Основными пользователями системы "ЦифроМед" являются нилоты, космонавты, штурманы и другие авиаспециалисты, но в перспективе применение системы "ЦифроМед" возможно и в гражданском секторе (для всех жителей Российской Федерации). Для контроля показателей их жизнедеятельности требуются новые решения в области использования НУМ для мониторинга состояния жизненных показателей пользователя. И таким решением может стать концептуальная одежда пилота. Одежда состоит из нескольких модулей:

1. *Умный костюм.* Включает в себя датчики БОС, которые собирают информацию об основных показателях (ЭКГ, ЧСС, ДАС и др.).

2. *Умный браслет.* Отслеживает каждое движение пользователя, напоминает о необходимости движения, когда пользователь слишком долго не проявляет физической активности, осуществляет автоматический контроль часов сна, когда фиксируется соотношение легкого и глубокого сна и времени пробуждения.

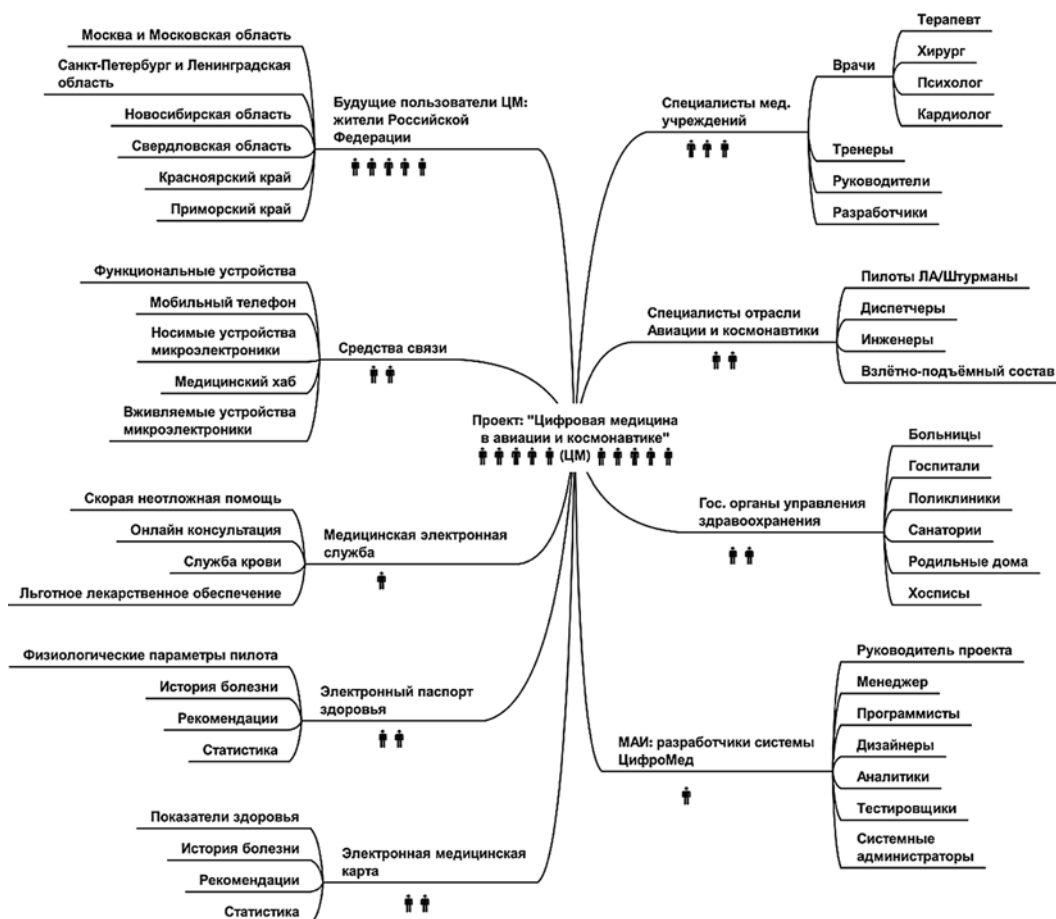


Рис. 1. Концептуальная модель проекта "ЦифроМед" развития методов цифровой медицины

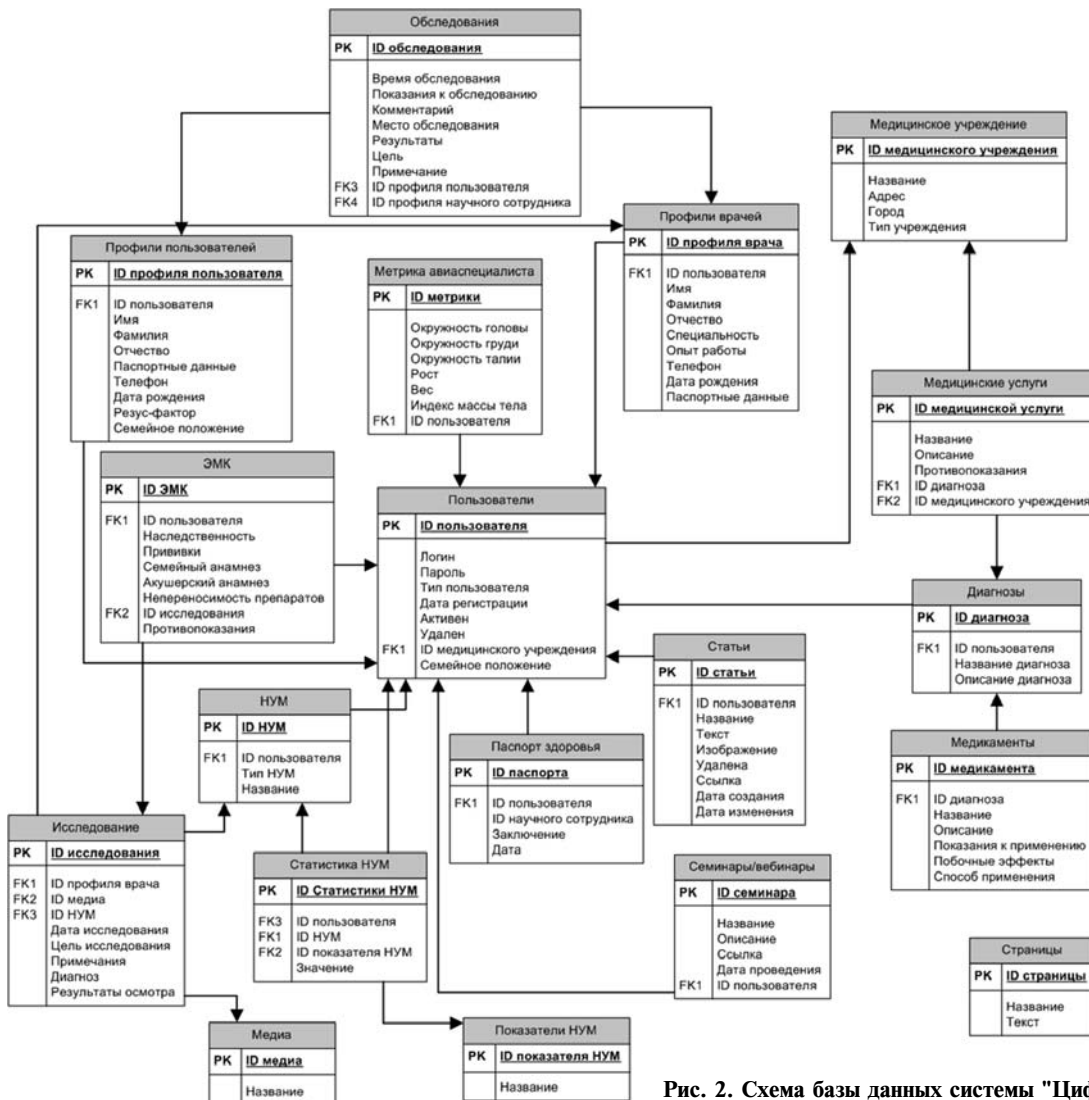


Рис. 2. Схема базы данных системы "ЦифроМед"

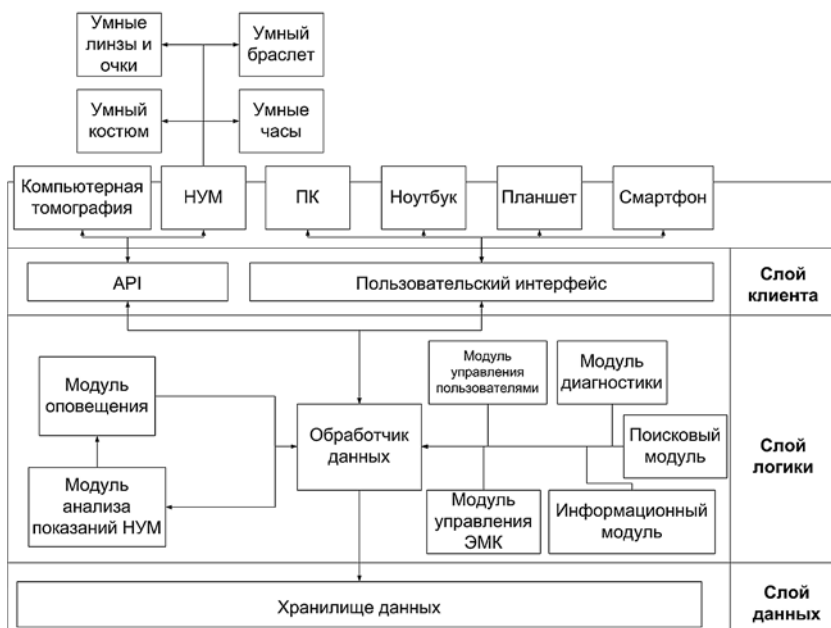


Рис. 3. Архитектура информационной системы "ЦифроМед"

3. *Умные часы*. Отображают показатели самочувствия пользователя в режиме реального времени, предупреждают об отклонениях.

4. *Умные линзы и очки*. Помогают следить за маршрутом полета с помощью расширенной реальности, записывают и транслируют в сеть аудио/видео данные окружающей обстановки.

Схема базы данных системы "ЦифроМед" показана на рис. 2.

Здесь представлены основные классы-модели БД, которые реализованы на портале "ЦифроМед". В качестве основных приняты те разделы электронной медицинской карты (ЭМК), которые предложены Министерством здравоохранения Российской Федерации в документе "Основные разделы Электронной медицинской карты" от 11 ноября 2013 г. [10]. Все разделы и

поля, перечисленные в этом документе не могут быть отображены на рис. 2, так как схема базы данных получилась бы большой и малопонятной. В разрабатываемом прототипе системы "ЦифроМед" используются динамические таблицы, позволяющие добавлять необходимые поля.

Для оптимизации базы данных и уменьшения числа операций JOIN, схема БД выстроена вокруг центрального элемента — пользователя.

Таблица пользователей предусматривает определение типа пользователя, в зависимости от которого подключается либо профиль пользователя (пациента), либо профиль лечащего врача. Если тип пользователя — "пациент", то к таблице также подключается "Метрика пациента", описывающая его основные физические характеристики.

С таблицей пользователя также связана таблица "Медицинское учреждение" (в зависимости от типа пользователя — либо это место работы, либо место обследований/лечения). Медицинское учреждение предполагает наличие "Медицинских услуг", которые в свою очередь относятся к определенному "Диагнозу". Для каждого диагноза, помимо медицинских услуг, существует набор медикаментов из соответствующей таблицы.

К пользователю с типом профиля "пациент" привязана таблица "ЭМК", а также таблицы "НУМ", "Показатели НУМ" и "Статистика НУМ", работающие с данными, полученными от носимых устройств микроэлектроники.

Пользователи с типом профиля "лечащий врач" могут писать статьи и организовывать семинары и/или вебинары. В системе также предусмотрена таблица для создания статической отчетности по страницам портала.

К таблице "ЭМК" привязана таблица "Исследование", которая связана в свою очередь с таблицами "Профиль врача", "НУМ" и "Медиа". В таблицу "Медиа" добавляются пути к видео/аудио/графическим файлам в файловой системе, поступающие в результате проведения исследования (МРТ, КТ, УЗИ и др.). Благодаря столбцу "Дата исследования" и "НУМ" можно получить данные от носимых устройств микроэлектроники, которые были задействованы в период исследования.

В основе системы "ЦифроМед" лежит трехуровневая архитектура (рис. 3) — архитектурная модель, предполагающая наличие трех компонентов: клиента (слой клиента — пользовательский интерфейс); сервера приложений (слой логики — программные модули и обработчик данных) и сервера базы данных (слой данных — хранилище большого объема данных).

Пользовательский интерфейс предназначен для обмена данными с основным пользователем системы и его лечащим врачом, а также для получения и передачи данных посредством специального API от НУМ и результатов проведения компьютерной томографии. Слой логики обеспечивает все вычислительные процессы, подготовку и обработку данных. Хранение больших объемов данных обеспечивается с помощью хранилища данных. Взаимодействие между модулями и архитектурными слоями обеспечивает обработчик данных.

Рассмотрим более детально слой логики:

- модуль анализа показателей НУС анализирует показатели НУС, если они превышают норму, передает информацию модулю оповещения;
- модуль оповещения передает сигнал на НУМ в виде вибрации или звонка, а также данные о результатах анализа показателей пользовательскому интерфейсу;
- модуль управления пользователями обеспечивает логику регистрации, входа, разграничивает области доступа для разных типов пользователей, а также организует информацию для личного кабинета врача;
- модуль управления электронной медицинской картой организует логическую последовательность действий при работе с ЭМК;
- модуль диагностики управляет статистикой показаний, статистикой данных с НУМ в составе "паспорта здоровья";
- информационный модуль систематизирует информацию, разбивая ее по отдельным рубрикам, а также отвечает за механизм публикаций,

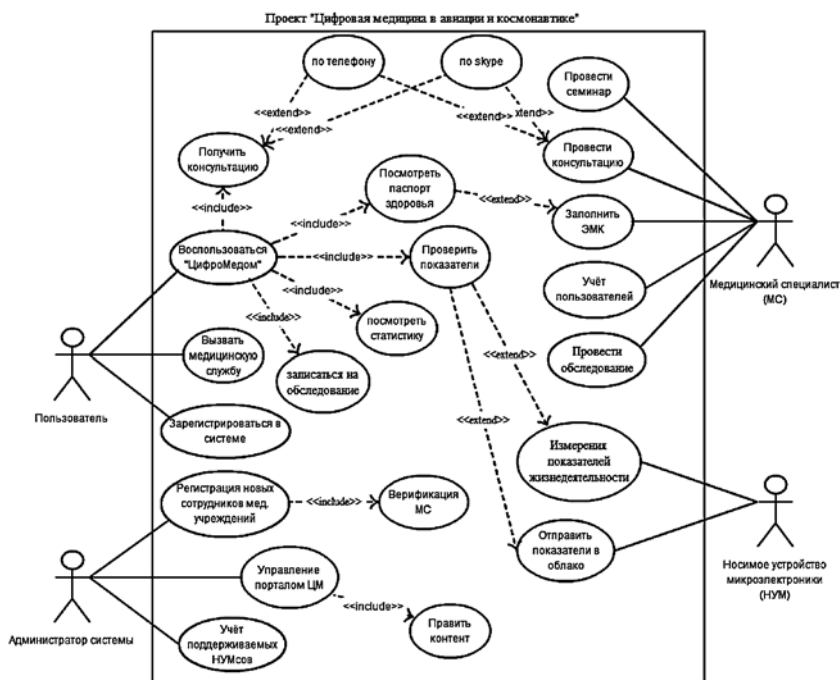


Рис. 4. Диаграмма использования UseCase проекта "ЦифроМед"

редактирования и удаления различных элементов контента портала;

- поисковый модуль обеспечивает корректную выдачу результатов поиска.

Информационная архитектура (ИА) системы относится к слою клиента и проектируется до создания GUI — пользовательского интерфейса, поскольку сам интерфейс лишь обеспечивает взаимодействие между пользователем и БОС-системой (человеком и информацией). На основе полученной информации пользователь портала "ЦифроМед" сможет принимать решения.

В данной работе под информационной архитектурой будем понимать систему организации информации по технологиям БОС на портале "ЦифроМед".

Информационная система "ЦифроМед" должна помогать специалистам решать следующие задачи.

1. Измерение показателей жизнедеятельности т. е. оцифровывание или "цифроризация" конечного пользователя.

2. Привязка пользователя к медицинским учреждениям и специалистам (врачу или группе врачей), которые должны контролировать показатели жизнедеятельности данного пользователя.

3. Выявление отклонений в здоровье пользователя на ранних этапах и выдача рекомендаций по лечению заболевания.

4. Проведение консультаций и семинаров специалистов.

Система БОС (рис. 4) в процессе работы должна использоваться как инструмент и взаимодействовать с другими системами. В качестве экторов здесь представлены следующие сущности.

- *Пользователь* — пилот, штурман, диспетчер и другие профессионалы, для которых при выполнении их профессиональных обязанностей необходим контроль состояния здоровья со стороны медицинских специалистов.
- *Сотрудник-эксперт* — профессиональный врач, помогающий пользователю пройти обследование, отвечает на все интересующие его вопросы, выполняет свою главную функцию — контролирует состояние конечного пользователя, а также может изучать новые методы или делиться своими знаниями по медицинским темам.
- *Администратор портала*. Регистрирует новых пользователей, добавляет по необходимости новый контент, следит за актуальностью и обновлением данных, а также обслуживает заказы пользователей.
- *Носимые устройства микроэлектроники (НУМ)*. Контролируют показатели здоровья (параметры пользователя) и отправляют их в хранилище данных информационной системы на информационный портал.

При проектировании ИА главное внимание уделяется двум активным экторам: 1) основной пользователь, в интересах которого и создается информационная БОС-система "ЦифроМед"; 2) врач как сотрудник медицинского учреждения, контролирующего состояние здоровья пользователя. Для каждого из указанных экторов разрабатывается собственный пользовательский интерфейс и особый доступ к нужной информации.

Конечный пользователь системы и лечащий врач в роли медицинского специалиста (МС) будут вовлечены в процессы и процедуры с использованием механизмов информационного портала "ЦифроМед", которые приведены в табл. 1.

Важность данных процессов и процедур ранжируется экспертами.

Таблица 1

Перечень процессов и процедур в портале "ЦифроМед"

| Пользователь | Лечащий врач |
|---|---|
| Авторизация в системе | Авторизация в системе |
| Проверка показателей с НУМ | Просмотр паспорта здоровья пользователя |
| Просмотр паспорта здоровья | Анализ статистики показаний с НУМ |
| Просмотр ЭМК | Проведение консультации |
| Анализ статистики показаний | Проведение обследования |
| Консультация со специалистами | Заполнение ЭМК |
| Вызов медицинской службы | Проведение online-семинара/вебинара |
| Запись на обследование | Учет пользователей |
| Посещение online-семинаров/вебинаров | |
| Поиск информации к установленному врачом диагнозу | |

Таблица 2

Основные сущности портала "ЦифроМед" для экторов

| Пользователь | Лечащий врач |
|--|---|
| Кнопка экстренного оповещения МС и служб медицинской помощи | Профили пользователей — все его данные, а также оповещения о новых показателях и экстренных вызовах |
| Профиль лечащего врача пользователя (содержит контактные данные и пр.), а также форма записи на обследование | Личный кабинет — информация о специалисте, статьи, организация семинаров, график записи пользователей, история правок по ЭМК, связан с механизмом авторизации |
| Личный кабинет (профиль пользователя с диагнозом) — показатели НУМ, статистика показаний, паспорт здоровья, ЭМК, план лечения, связан с механизмом авторизации | Поиск по сайту |
| Механизм консультации | Информационная часть портала |
| Поиск по сайту | |
| Информационная часть портала — персонализируется с учетом диагноза показателей состояния здоровья пользователя | |

На основе указанных процессов и процедур формируются основные сущности информационной системы (табл. 2).

Основываясь на указанных здесь сущностях портала "ЦифроМед" для пользователя и врача, проранжированных в порядке важности экспертами, а также на базе методологии из опубликованной в работах [11–13], разработана информационная архитектура портала цифровой медицины, представленная на рис. 5 (для пользователя) и рис. 6 (для лечащего врача).

На рис. 7 (см. четвертую сторону обложки) представлен разработанный прототип портала "ЦифроМед". Интерфейс системы построен на основе информационной архитектуры. "ЦифроМед" представляет собой набор взаимосвязанных функциональных модулей, взаимодействующих с пользователем посредством веб-интерфейсов множества страниц сайта. Доступ к отдельным страницам сайта регулируется ролевой политикой безопасности.

Заключение

Результаты данного исследования легли в основу проекта создания информационного портала "ЦифроМед" для online коммуникаций участников научного сообщества по проблеме "Цифровая медицина в авиации и космонавтике".

В ходе исследования определена аудитория проекта "ЦифроМед", разработана концептуальная модель системы, а также ее основные модули, подготовлены учебные материалы и документация для взаимодействия всех участников проекта, а также разработчиков с пользователями системы. На этапе реализации разработаны схема базы данных системы, информационная архитектура, а также макеты графического интерфейса портала. На основе результатов данной работы реализован прототип системы цифровой медицины "ЦифроМед".

Внедрение системы "ЦифроМед" в аэрокосмическую отрасль позволит свести к минимуму вероятность возникновения аварий и авиакатастроф, вызванных человеческим фактором, исключить разнообразные риски, а также улучшить качество подготовки будущих авиаспециалистов.

Список литературы

1. Сеченов И. М. Рефлексы головного мозга. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. 100 с.
2. Павлов И. П. Условный рефлекс. Л.: Лениздат, 2014. 224 с.
3. Быков К. М., Курцин И. Т. Кортико-висцеральная теория патогенеза язвенной болезни. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1952. 271 с.

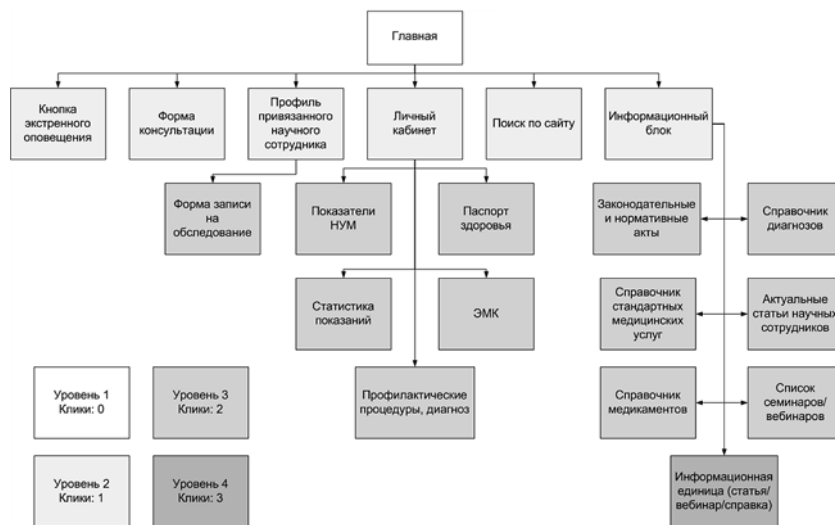


Рис. 5. Информационная архитектура портала ЦМ для конечного пользователя

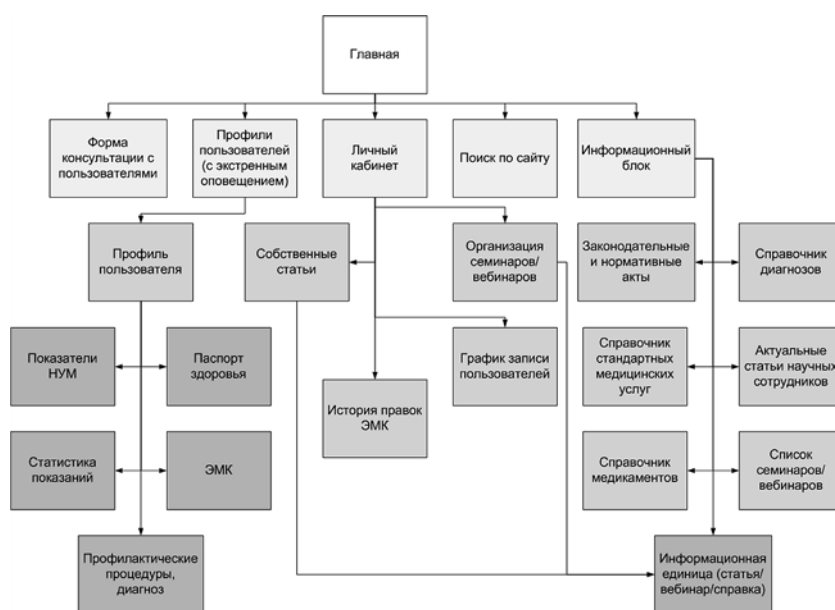


Рис. 6. Информационная архитектура портала ЦМ для лечащего врача

4. Анохин П. К. Избранные труды. Философские аспекты теории функциональной системы. М.: Наука, 1978. 400 с.

5. Бехтерева Н. П. Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека. Л.: Медицина, 1974. 151 с.

6. Peniston E. G., Kulkosky P. J. Alcoholic personality and alpha-theta brainwave training // Journal of Medical Psychotherapy. 1991. N. 2. P. 37–55.

7. Сметанкин А. А. Дыхание по Сметанкину. СПб.: Биосвязь, 2007. 160 с.

8. Базанова О. М. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы // Успехи физиологических наук. 2009. Т. 40. № 3. С. 32–53.

9. 3D-диагностика: нижегородские ученые нашли способ облегчить труд врачей. URL: <http://www.ntv.ru/novosti/140-1882/?f> (дата обращения: 07.05.2015).

10. Минздравом России утверждена структура электронной медицинской карты / Министерство здравоохранения Российской Федерации. URL: <http://www.rosminzdrav.ru/news/2013/11/20/1314-minzdravom-rossii-utverzhdena-struktura-elektronnoy-meditsinskoy-karty> (дата обращения: 12.12.2014).

11. Wurman R. S. Information Architects. Zurich: Graphis Press, 1997. 235 p.

12. Rosenfeld L., Morville P. Information architecture for the World Wide Web. O'Reilly & Associates, 2006. 528 p.

13. Garrett J. J. A visual vocabulary for describing information architecture and interaction design. URL: <http://www.jjg.net/ia/vis-vocab/> (дата обращения: 07.05.2015).

A. A. Kukhtichev, Postgraduate Student, a.kukhtichev@mail.ru,
E. A. Klenov, Postgraduate Student, eaklenov@gmail.com,
S. V. Skorodumov, Ph. D., Associate Professor, skorodum@gmail.com
Moscow Aviation Institute (National Research University), MAI

Development of Architecture of Digital Health Informational System "CifroMed" in Aviation and Aerospace

Digital health (DH) as a new direction of the healthcare development in the XXI century is based on Biofeedback (BFB). In its turn, fundamental studies of regulation mechanisms of physiological processes in humans and animals provided the basis for the development of biofeedback techniques.

One of the main directions of development of technologies of the digital health is connected with the medical biosensors, sensors of the primary information and wearable devices of microelectronics (WDM), which really enable users of biofeedback system to monitor the status of the organism. The using of biofeedback technologies in the past decade has yielded significant results, when ten thousands humans in the world had the opportunity to take control of their health.

The focus of this work is aimed at the architecture of information system "TsifroMed" which after its implementation will enable the real-time monitor the health of flight crews and air traffic controllers (ie, it is the users of the system, on which depends the safety of flight).

The aim of toe science research program of Moscow aviation institute (MAI) is the creation of information portal "TsifroMed" — digital health, which would provide to users of operational information and provide an access to relevant medical data.

The system "TsifroMed" has a three-tier architecture — an architectural model that assumes the presence of three components: the client (the client layer — the user interface), the application server (the logic layer — software modules and data handler) and database server (data layer — the repository of a large volume data).

The results of this research formed the basis of the project to creation of an information portal "TsifroMed" for on-line communication of participants of the scientific community on the issue of "digital health in aviation and aerospace."

The use case diagram illustrates what actions to perform each member of the project on the portal "TsifroMed." Formed general requirements for information system architecture "Tsifromed."

A conceptual model of the system for further details and documentation has been prepared to communicate with users of the system.

Picked audience of the project and the main modules of the system "TsifroMed", developed the information architecture of the portal. At the stage of implementation developed the database scheme of the system "TsifroMed."

Keywords: Digital health (DH), informational architecture (IA), biofeedback (BFB), wearable device of microelectronics (WDM)

References

1. Sechenov I. M. *Refleksy golovnogo mozga* (Reflexes of the Brain), Moscow, Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1961, 100 p.
2. Pavlov I. P. *Uslovnyy refleks* (Conditioned Reflexes), Saint Petersburg, Lenizdat, 2014, 224 p.
3. Bykov K. M., Kurtsin I. T. *Kortiko-vistseral'naya teoriya patogeneza yazvennoy bolezni* (The Corticovisceral Theory of the Pathogenesis of Peptic Ulcer), Moscow, Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1952, 271 p.
4. Anokhin P. K. *Izbrannye trudy. Filosofskie aspekty teorii funktsional'noy sistemy* (Theory of functional systems in the scientific school), Moscow, Nauka, 1978, 400 p.
5. Bekhtereva N. P. *Neyrofiziologicheskie aspekty psikhicheskoy deyatelnosti cheloveka* (The Neurophysiological Aspects of Human Mental Activity), Leningrad, Meditsina, 1974, 151 p.
6. Peniston E. G., Kulkosky P. J. Alcoholic personality and alpha-theta brainwave training, *Journal of Medical Psychotherapy*, 1991, vol. 2, pp. 37–55.
7. Smetankin A. A. *Dykhaniye po Smetankiny* (Breathing with Smetankin), Saint Petersburg, Biosvyaz, 2007, 160 p.
8. Bazanova O. M. *Uspehi fiziologicheskikh nauk*, 2009, vol. 40, no. 3, pp. 32–53.
9. *3D-diagnostika: nizhegorodskie uchenye nashli sposob oblegchit' trud vrachey*, available at <http://www.ntv.ru/novosti/1401882/?f> (accessed 07.05.2015).
10. *Minzdravom Rossii utverzhdena struktura elektronnoy medicinskoj karty*, Ministerstvo zdravoohraneniya Rossiyskoy Federacii, available at <http://www.rosminzdrav.ru/news/2013/11/20/1314-minzdravom-rossii-utverzhdena-struktura-elektronnoy-meditsinskoj-karty> (accessed 12.12.2014).
11. Wurman R. S. *Information Architects*, Zurich, Graphis Press, 1997, 235 p.
12. Rosenfeld L., Morville P. *Information architecture for the World Wide Web*. O'Reilly & Associates, 2006, 528 p.
13. Garrett J. J. *A visual vocabulary for describing information architecture and interaction design*, available at <http://www.jjg.net/ia/visvocab/> (accessed 07.05.2015).

Адрес редакции:

107076, Москва, Стромынский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ru

Технический редактор *Е. В. Конова*.

Корректор *Т. В. Пчелкина*.

Сдано в набор 04.12.2015. Подписано в печать 27.01.2016. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ ИТ216. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.