

УДК 621.391.1

# ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ МОДЕЛИ ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

**А. Д. Сотников,**

канд. техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются способы формального описания процессов информационного взаимодействия в сложных инфокоммуникационных системах и их классификация. Определены основные понятия и термины. Предлагается комплекс разноуровневых моделей для прикладных инфокоммуникационных систем телемедицинского назначения.

## Введение

Развитие современной телекоммуникационной отрасли характеризуется несколькими ключевыми тенденциями, среди которых:

- Глубокое проникновение информационных и телекоммуникационных технологий внутрь прикладных областей и их превращение в ключевой функциональный элемент отраслевых систем. Информационная и телекоммуникационная экспансия в административно-управленческую и торгово-распределительную отрасли получила «фирменные» названия — «электронное правительство», «электронная коммерция», «телеработа». В социально ориентированных отраслях здравоохранения и образования развиваются междисциплинарные направления «телемедицины» и «телеобучения».

- Соединение в одно целое информационной (содержательно-смысловой) и телекоммуникационной составляющих порождает новую сущность — инфокоммуникационную систему (ИКС), обеспечивающую предоставление инфокоммуникационной услуги (ИКУ). Такое объединение изменяет способы анализа, проектирования и построения ИКС, организации и предоставления ИКУ. Телемедицина (ТМ) и телеобучение выступают наиболее типичными реализациями концепции «инфокоммуникационной услуги».

*Телемедицина* представляет междисциплинарный синтез здравоохранения, телекоммуникаций и информационных технологий (ИТ), которые традиционно реализуют специфические методы анализа и проектирования автономных систем и служб, создания и предоставления услуг на основе собственных организационно-функциональных принципов и технологий. Телемедицинские системы (ТМС) представляют объединение нескольких разнородных взаимозависимых систем,

что позволяет отнести их к классу сложных систем (СС) [1]. Эффективные методы распределения общесистемных требований к СС на отдельные подсистемы, оптимизация межсистемных взаимодействий остаются неразработанными. Эти проблемы выходят на первый план при проектировании социально ориентированных ИКС (здравоохранения, образования, государственного управления), характеризующихся жесткими ограничениями стоимостных характеристик.

Основная *тенденция* развития ТМ состоит в стабильном увеличении количества ТМС и сетей, наращивании объемов и расширении спектра услуг. Постоянный количественный прирост сопровождается высоким процентом учреждений здравоохранения, прекративших использование ТМС (10–15 % в США и до 25–30 % в РФ) [2, 3], что говорит о неудовлетворенности потребителей ТМС и об определенном несовпадении целей и результатов деятельности создателей ТМС с ожиданиями ТМ-сообщества. Наблюдается четкое структурно-функциональное деление на поставщиков и потребителей ТМ-услуг в составе ТМС. Целеполагание участников заметно различается, но не находит адекватного отражения в моделях ТМС и отрицательно сказывается на их функционировании.

Главная *проблема* состоит в отсутствии методов описания и анализа прикладной области, пригодных для ИТ и телекоммуникационной индустрии, что не позволяет корректно формулировать требования при проектировании ТМС. Целью работы является исследование принципов информационного взаимодействия в ИКС; классификация ИКС по ряду признаков; создание моделей сложных ИКС, ориентированных на количественные оценки параметров прикладной области здравоохранения.

### Теоретические основы инфокоммуникаций

Для инфокоммуникаций ключевыми категориями и понятиями, вокруг которых концентрируются смысловые единицы, являются категории «информация», «информационное взаимодействие», «информационный процесс», «информационный объект».

*Информация* как фундаментальная общенаучная категория не имеет строгого, устраивающего всех специалистов, определения. Информацией называют и «... содержание сигнала, сообщения», и «... бесконечный законо-процесс триединства энергии, движения и массы с различными плотностями кодовых структур бесконечно-беспредельной Вселенной» [4]. Отсутствие единства в определении говорит о недостаточной разработанности категории и дает основания для новых определений и трактовок.

*Информационное взаимодействие.* Категория взаимодействия отражает действия различных объектов друг на друга, их взаимную обусловленность, изменение состояния.

*Информационный процесс* как реализацию определенного информационного взаимодействия ряд авторов определяет как «... неэнергетическое взаимодействие объектов, при котором осуществляется передача (генерация и освоение) идеальных категорий (смыслов, значений, образов, эмоций)» или «... взаимодействие объектов, приводящее к изменению знаний хотя бы одного из них» [4].

### Основные понятия и определения

Информационная система имеет дело с информационными объектами — представлениями  $\langle\langle A \rangle\rangle$ ,  $\langle\langle B \rangle\rangle$ , ... сущностей  $\{A, B, \dots\}$  [5].

*Информация передана*, когда изменился сигнал, переносящий образ (представление) из многообразия тезауруса системы-источника  $A$  в многообразии тезауруса системы-получателя  $B$ :

$$\langle A \rangle^{\xi_A} \xrightarrow{\text{Сигнал}} \langle\langle A \rangle\rangle^{\xi_A} \xrightarrow{\xi_B} \langle B \rangle^{\xi_B}$$

*Информация воспринята*, когда возник новый образ источника в многообразии тезауруса получателя:

$$\langle A \rangle^{\xi_A} \xrightarrow{Q_1} \langle C \rangle^{\xi_C} \xrightarrow{Q_2} \langle\langle A \rangle\rangle^{\xi_A} \xrightarrow{\xi_C} \langle C \rangle^{\xi_C} \xrightarrow{\xi_B} \langle B \rangle^{\xi_B}$$

*Информационное воздействие* — воздействие «источника»  $A$  на состояние «получателя»  $B$ , выражающееся в изменении представления  $\langle B \rangle$ , различного в многообразии элементов тезауруса «источника»  $\langle B \rangle^{\xi_A}$ . Так как тезаурусы «источника»  $\xi_A$  и «получателя»  $\xi_B$  различны, то исходный образ в собственном тезаурусе  $\langle B \rangle^{\xi_B}$  и образ  $\langle B \rangle^{\xi_A}$  в тезаурусе «источника», выступающего наблюдателем, также различаются. Это один из источников ошибок, или, точнее, погрешности представления объекта в тезаурусе «наблюдателя».

*Информационный обмен* — передача и прием сигналов, приводящих к взаимному изменению образов  $\langle A \rangle^{\xi_B}$  и  $\langle B \rangle^{\xi_A}$  участников обмена. Это может быть связано с изменением (расширением) тезаурусов  $\xi_A$  и  $\xi_B$  участников.

*Информационное взаимодействие* — взаимное изменение образов собственных систем  $\langle A \rangle^{\xi_A}$  и  $\langle B \rangle^{\xi_B}$ , приводящее к изменению образов  $\langle A \rangle^{\xi_B}$  и  $\langle B \rangle^{\xi_A}$  у других участников.

*Информационная система (ИС)* — это система, содержащая информацию и обеспечивающая ею пользователя. *Необходимое условие:* неотъемлемыми компонентами ИС являются пользователь и потенциальная информация. *Достаточное условие:* пользователь и потенциальная информация образуют ИС. ИС составляют элементы, которые являются информационными представлениями  $\langle A \rangle$  реальных (материальных и нематериальных) сущностей  $A$  и имеют «информационную значимость».

*Информационная значимость* — это свойство представления<sup>1</sup> сущности, которое присутствует, если известен способ описания, содержащий множество базовых «смыслов», имманентно принадлежащих сущности. Формализованное множество «смыслов» является тезаурусом  $\xi_A$ . Экземпляр сущности обладает множеством различных состояний, которые воспринимаются наблюдателем как множество образов объекта, каждый из которых имеет свой «смысл». Множество состояний определяет *потенциальную информацию* объекта. При возникновении у наблюдателя образа объекта (в результате восприятия и распознавания) происходит *актуализация потенциальной информации* на основе информационного представления объекта. Потенциальное наличие информации в системе  $A$  определяется множеством различных состояний системы и многообразием тезауруса системы  $\xi_A$ .

*Восприятие* переданной информации — возникновение у получателя  $R$  нового образа системы  $A$  в многообразии тезауруса получателя  $\langle\langle A \rangle\rangle^{\xi_A} \xrightarrow{\xi_R}$ .

*Пользователь  $U$*  — субъект, объект или процесс, способный воспринимать представления  $\langle S \rangle^{\xi_S}$  и обладающий собственным тезаурусом пользователя  $\xi_U$ .

*Потенциальная информация* — множество различных состояний сущности  $S$  во множестве представлений  $\langle S \rangle^{\xi_S}$  на основе тезауруса  $\xi_S$ , обладающих информационной значимостью.

*Актуальная информация* — это представление (образ)  $\langle\langle S \rangle\rangle^{\xi_S} \xrightarrow{\xi_U}$  в тезаурусе  $\xi_U$  пользователя  $U$ .

*Информационная система  $S$ :*  $\{S, \xi_S, \langle S \rangle^{\xi_S}, U, \xi_U, \langle\langle S \rangle\rangle^{\xi_S} \xrightarrow{\xi_U}\}$  — совокупность, включающая сущности системы, *пользователей*, тезаурус системы

<sup>1</sup> «Информационную значимость» не следует путать с «ценностью» и «полезностью» — эти свойства связаны с потребителем и возможностью удовлетворения его информационных потребностей.

и тезаурусы пользователей, множество информационных представлений системы (потенциальная информация) и множество образов системы (представления в тезаурусах пользователей).

Коммуникационная система  $C: \{C, \xi_C, \langle C \rangle^{\xi_C}, Q_{A^{\xi_C}C}, Q_{C^{\xi_C}B}\}$  — совокупность последовательных преобразований

$$\xrightarrow{Q_{12}^{\xi_A \xi_C}}, \xrightarrow{Q_{23}^{\xi_C \xi_B}},$$

обеспечивающих представление множества образов источника  $\langle A \rangle$  в множество образов потребителя  $\langle B \rangle$  через множество состояний (образов)  $\langle C \rangle^{\xi_C}$  сигнала  $C$  при требуемой точности.

Телекоммуникационная система (ТС)  $T: \{C, \xi_C, \langle C \rangle^{\xi_C}, Q_{A^{\xi_C}C}, Q_{C^{\xi_C}B}\}$  — совокупность последовательных преобразований  $Q_{A^{\xi_C}C}, Q_{C^{\xi_C}B}$  сигналов и их представлений вне зависимости от пространственного размещения «источника»  $A$  и «потребителя»  $B$  ( $A \in D, B \in D, D \neq A \cap B$ ).

Инфокоммуникационная система  $F: \{S, \xi_S, \langle S \rangle^{\xi_S}, U, \xi_U, \langle \langle S \rangle^{\xi_S} \rangle^{\xi_U}, C, \xi_C, \langle C \rangle^{\xi_C}, Q_{A^{\xi_C}C}, Q_{C^{\xi_C}B}\}$  — совокупность, включающая сущности информационной системы  $S$  и телекоммуникационной системы  $T$ .

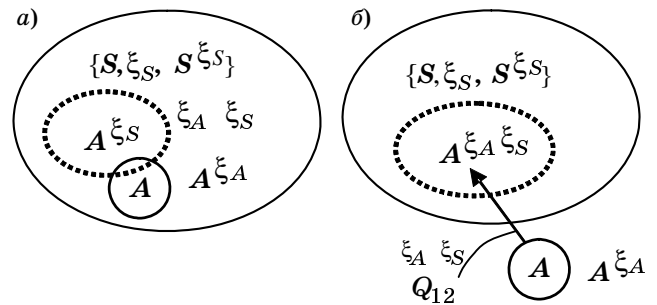
### Классификация ИКС

В рамках данных определений возможно классифицировать ИКС по ряду признаков, характеризующих различные стороны взаимоотношения системы с пользователем и информацией, которые важны с точки зрения анализа и последующего проектирования ИКС [6, 7]. В данном контексте пространственная удаленность участников не имеет значения, и понятия ИКС и ИС совпадают.

**Размещение информации.** Информационные объекты (представления сущностей) — всегда составляющая часть ИКС. Сами сущности (носители потенциальной информации) не всегда являются составляющими ИКС. Наличие или отсутствие сущностей в составе ИКС — первый классификационный признак, в зависимости от которого по-разному реализуется владение сущностями и/или информационными объектами, т. е. потенциальной информацией, и ее адекватное представление, что имеет важные последствия.

1. Сущности, обладающие потенциальной информацией, находятся «внутри» ИС, и их информационные представления располагаются там же. Включение объекта в систему (рис. 1, а) предполагает совпадение подмножества тезауруса объекта с множеством тезауруса системы  $\xi_A \in \xi_S$  и, как следствие, — совпадение представлений  $\langle A \rangle^{\xi_A} \equiv \langle A \rangle^{\xi_S}$ .

2. Сущности находятся «вне системы» (рис. 1, б). В этом случае тезаурусы системы и объекта связаны соотношением  $\xi_S \in \xi_A$ , возможно только подобие образов  $\langle A \rangle^{\xi_A} \approx \langle A \rangle^{\xi_S}$ , определяемое близостью тезаурусов  $\xi_S, \xi_A$ , т. е. информация представляется системой с искажениями.



■ Рис. 1. Информация «в системе» (а) и «вне системы» (б):  $A$  — объект;  $S$  — информационная система

**Отношение пользователя к ИС.** Это второй признак, по которому классифицируются ИКС. Пользователь может быть «в системе» или «вне системы». Термины «в» и «вне» отражают возможности взаимодействия тезаурусов системы и пользователя, а не пространственные или топологические свойства.

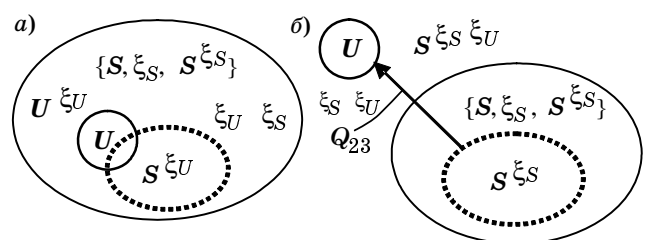
1. Пользователь «в системе» (рис. 2, а) когда:

а) тезаурусы системы и пользователя полностью совпадают:  $\xi_S \equiv \xi_U$ . Это вырожденный случай, когда пользователь отождествляется с системой и не может рассматриваться как «получатель» информации, поскольку обладает всей полнотой образов, возникающих из многообразия тезауруса системы, а ИС не может служить источником информации, т. е. нарушается определение и утрачивается утилитарность ИС;

б) тезаурус пользователя может быть произвольно изменен (расширен) за счет элементов тезауруса системы по инициативе пользователя и до определенной степени «согласован» с тезаурусом системы:  $\xi_S \approx \xi_U$ ;

в) тезаурус системы может быть произвольно изменен пользователем.

В тех случаях, когда пользователь «в системе», отсутствует операция взаимного преобразования элементов тезаурусов  $Q^{\xi_S \xi_U}$ , а есть отображение одного подмножества на другое  $F: S \rightarrow U$ , т. е. возможно адекватное восприятие образа. Степень адекватности определяется степенью совпадения тезаурусов, т. е. степенью общности множеств  $\xi_S, \xi_U$ .



■ Рис. 2. Пользователь  $U$  «в системе» (а) и «вне системы» (б)

2. Пользователь «вне системы» (рис. 2, б) когда: а) тезаурус пользователя  $\xi_U$  и системы  $\xi_S$  автономны ( $\xi_S \leftarrow \times \rightarrow \xi_U$ ) и не могут быть согласованы до произвольной степени по инициативе пользователя, а только «по воле системы» в результате предоставления пользователю информации.

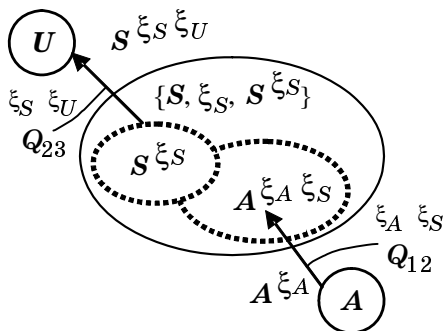
Когда пользователь «вне системы», становится значима операция преобразования тезаурусов ( $Q^{\xi_U \xi_S} = \xi_U \cup \xi_S$ ), где  $S' \in S$  или реже  $Q^{\xi_S \xi_U}$ , что соответствует изменению состава (расширению) тезауруса, обеспечивает расширение пространства образов и большую точность восприятия образа объекта  $\langle A \rangle^{\xi_A}$  в тезаурусе пользователя  $\langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_U}$ . Для классификации ИС принципиально соотношение тезаурусов пользователя, объектов и системы ( $\xi_U, \xi_A, \xi_S$ ), потому что образ создается в многообразии тезауруса, т. е. образ произведен от тезауруса:  $A \Rightarrow \xi_A \Rightarrow \langle A \rangle^{\xi_A}$ . Наиболее сложный случай, когда пользователь и сущности находятся «вне системы» (рис. 3). Именно здесь возникает двусторонний обмен, который в формальной нотации описывается следующим образом. Пусть сущность, ИС и пользователь с тезаурусами и представлениями соответственно:  $\{A, \xi_A, \langle A \rangle^{\xi_A}\}, \{S, \xi_S, \langle S \rangle^{\xi_S}\}, \{U, \xi_U, \langle U \rangle^{\xi_U}\}$ , тогда возникновение образа сущности в тезаурусе пользователя соответствует одностороннему обмену между сущностью, ИС и пользователем, определяемому записью

$$\langle A \rangle^{\xi_A} \xrightarrow{Q^{\xi_S \xi_A}} \langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_S} \xrightarrow{Q^{\xi_S \xi_U}} \langle \langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_S} \rangle^{\xi_U} \xrightarrow{Q^{\xi_S \xi_U}} \langle \langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_S} \rangle^{\xi_U}$$

где выражение в скобках описывает «восстановление» образа  $\langle A \rangle^{\xi_A}$  в образе  $\langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_U}$ , созданном в многообразии пользовательского тезауруса.

На основании первых двух признаков классифицируются наиболее важные характеристики структурной и функциональной организации ИКС, выражаемые в ее типе:

тип А — один пользователь, информация «внутри», пользователь — «вне системы»;



■ Рис. 3. Пользователь и данные «вне системы»

тип А1 — много пользователей, информация «внутри», пользователи — «вне ИКС»;

тип В — один или ограниченное число пользователей, информация и пользователь «внутри ИКС»;

тип В1 — много пользователей, информация и пользователи «внутри системы»;

тип С — два пользователя, информация у пользователей, пользователи «вне ИКС»;

тип D — пользователь «внутри», информация «вне системы»;

тип Е — два (много) пользователей и информация «внутри ИКС»;

тип F — комбинация систем типов А — С. В зависимости от совокупности типов составляющих систем выделяются несколько стандартных подтипов (F1 — F4).

**Временное взаимодействие.** По этому признаку ИКС разделяются на четыре категории:

— непрерывные — взаимодействие пользователя и ИКС носит постоянный, «непрерывный» во времени характер, рамки которого не определены заранее;

— сеансовые — взаимодействие пользователя и ИКС носит эпизодический характер с ограниченной, как правило, известной или уверенно прогнозируемой длительностью;

— транзакционные — взаимодействие пользователя и ИКС носит кратковременный, повторяющийся характер в не планируемые заранее моменты времени;

— комбинированные — в большей или меньшей степени одновременно присутствуют несколько типов взаимодействия.

**Участие пользователя.** По характеру участия пользователя в функционировании ИКС выделены следующие категории:

— распределительные — пользователь преимущественно получает данные, не участвуя в формировании содержательного потока данных, и не влияет на алгоритмы функционирования системы, т. е. не участвует в управлении ИКС;

— диалоговые — пользователь участвует в формировании содержательных информационных потоков, но не влияет активным образом на алгоритмы функционирования ИКС;

— интерактивные — пользователь активно влияет на функционирование ИКС и участвует в формировании информационных потоков;

— комбинированные — встречаются в разных комбинациях две и более вышеназванные системы.

**Количество пользователей.** Классификация по признаку количества пользователей выделяет ИКС с одним пользователем, ограниченным числом пользователей (ИКС коллективного пользования) и ИКС массового обслуживания.

### Прикладные ИКС

Особое место занимает класс ИКС, в которых отсутствует возможность влиять на сущности, являющиеся генераторами представлений, и отно-

сящиеся не к информационной отрасли, а к иным областям практической деятельности — здравоохранению, образованию, военному делу, управлению и т. п. Выделим этот класс ИКС и обозначим его как «прикладные ИКС». Он характеризуется следующими свойствами:

1) сущности (реальные объекты) принципиально находятся «вне системы»;

2) тезаурусы системы и сущности связаны соотношением  $\xi_S \in \xi_A$ ;

3) отсутствует возможность изменения тезауруса сущности со стороны ИС, т. е. недопустимость операции  $|Q^{\xi_S \xi_A}|$ ;

4) информация представляется ИКС с искажениями, так как возможно только подобие информационных представлений  $\langle A \rangle^{\xi_A} \approx \langle A \rangle^{\xi_S}$ , определяемое близостью пар тезаурусов  $\xi_S \xi_A$  и  $\xi_S \xi_U$ .

Внешним признаком класса «прикладных ИКС» является строгое требование размещения информации и пользователя «вне системы» (тип С) или не строгое (типы А, А1, С, D, F), когда информация находится у пользователя. Прикладные ИКС, обладая в большинстве случаев низкой степенью формализации, представляют наибольшие трудности при системном проектировании и нуждаются в разработке механизмов их описания.

### Прикладные ИКС в здравоохранении

Телемедицинские системы представляют типичный пример ИКС со слабо структурированными данными, неявными алгоритмами и с разнообразным характером взаимодействия участников. Проектирование ТМ-ИКС при отсутствии методологических подходов опирается на технологические новации и эмпирические знания, не гарантирующие эффективного результата. Разработка ТМ-ИКС идет «от технологии» и ее возможностей, что позволяет манипулировать характеристиками и параметрами телекоммуникационных систем и технологий с фактической целью навязать заказчику варианты реализации ТМ-ИКС, выгодные поставщику. Ситуация усугубляется тем, что потребители (медицинские специалисты), как правило, не могут сформулировать технические требования к ТМС. В среднесрочной перспективе это ведет к неудовлетворенности потребителя и дискредитации систем и технологий, заложенных в ее основу.

### Модели инфокоммуникационных систем

В здравоохранении, при множестве решаемых задач, сильной внутрипрофессиональной дифференциации, калейдоскопическом разнообразии школ, методик и технологий, чрезвычайно трудно, если возможно, использовать единую модель. Предлагается совокупность моделей, последовательно приближающих к количественному описанию ТМ-ИКС. Эти модели последовательно:

— описывают ИКС в целом, определяя ее границы;

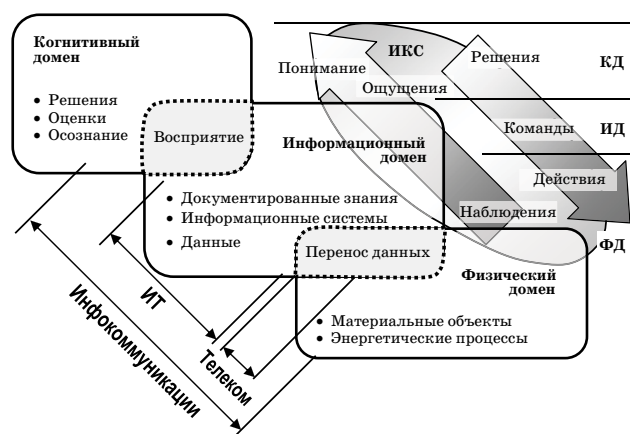
— структурируют предметную область, выделяя группы медицинских задач и применений, обладающих близкими, маловариативными наборами характеристик;

— обеспечивают описание характеристик прикладной ИКС в терминах, пригодных для проектирования или количественной оценки телекоммуникационных систем (услуг) и оптимизации решений.

### Доменная модель инфокоммуникаций

Наиболее общей и абстрактной является доменная модель (ДМ) (рис. 4), позволяющая выявить компоненты ИКС, обозначить межкомпонентные интерфейсы и рассмотреть процессы информационного взаимодействия. ДМ выделяет три домена, где концентрируются три относительно самостоятельных, хотя и тесно связанных, вида деятельности. В *физическом домене ФД* протекают преимущественно энергетические процессы и взаимодействуют материальные объекты. Анализ ситуаций и интеллектуальная деятельность, продуктом которой являются оценки и принятие решений, — это продукт ментальной и психической активности, протекающей в *когнитивном домене КД*. *Информационный домен ИД* — это область, в которой циркулируют данные, используемые в КД и представляющие объекты, явления и процессы ФД.

Согласно ДМ, область телекоммуникаций располагается на границе ФД и ИД. Восприятие физической реальности, представленной сущностями ИД, связано с информационным взаимодействием и протекает на границе ИД и КД. Таким образом, инфокоммуникации охватывают все три домена, хотя сегодняшнее состояние характеризуется неглубоким проникновением в КД в силу неразработанности категорий сознания и других сущностей и отношений КД, связанных с генерацией и потреблением содержательно-смыслового ядра информации.



■ Рис. 4. Доменная модель инфокоммуникаций

В общем виде элементарное взаимодействие двух информационных систем в ИД состоит в односторонней передаче/приеме представления объекта ФД, описываемых выражением

$$\langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \rangle^{\xi_{C^m}} \xrightarrow{Q_{22}^{\xi_{C^m} C^k}} \langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \rangle^{\xi_{C^k}}.$$

Информационное взаимодействие осуществляется посредством обмена «сообщениями», которые являются подмножествами множества информационных представлений  $\langle A_1 \rangle^{\xi_{A_n}}$  объекта  $A_n$ , передаваемых между ИС  $C_m$  и  $C_k$ . Тогда взаимодействие нескольких ИС внутри ИД описывается как

$$\begin{aligned} & \left\langle \left\langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \right\rangle_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi_{C^m}} \xleftarrow{Q_{22}^{\xi_{C^k} \xi_{C^m}}} \\ & \xrightarrow{Q_{22}^{\xi_{C^m} \xi_{C^k}}} \left\langle \left\langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \right\rangle_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi_{C^k}} \Big|_{k=1, \dots, K} \Big|_{m=1, \dots, M}. \end{aligned} \quad (1)$$

Информационный процесс есть совокупность элементарных информационных взаимодействий, происходящих в ИД. Выражение (1) представляет ДМ — описание информационного взаимодействия, затрагивающего сущности трех доменов.

Пусть  $\{A_1, \dots, A_6\} \in A$  — множество объектов ФД,  $\{C_i^j\} \in C$  — множество объектов ИД, где  $i = \{1, \dots, 9\}$ ,  $j = \{1, \dots, 5\}$ , при этом подмножества представлений  $\{C_m^i\}$  относятся к  $m$  автономным ИС, действующим в ИД. Тогда для объектов  $A_n$  и потребителей  $B_k$  в общем виде

$$\begin{aligned} & \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \xrightarrow{Q_{12}^{\xi_{A_n} \xi_{C^m}}} \\ & \rightarrow \langle \langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \rangle^{\xi_{C_n^m}} \xrightarrow{Q_{23}^{\xi_{C_n^m} \xi_{B_k}}} \langle \langle C_n^m \rangle^{\xi_{C_n^m}} \rangle^{\xi_{B_k}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Выражение (2) представляет модель информационного взаимодействия двух субъектов КД, выраженную в терминах представлений систем ИД и объектов ФД. Представление объекта  $A_1$  в тезаурусе потребителя  $B_1$  служит основой для принятия решения  $\langle R_1 \rangle^{\xi_{B_1}}$  субъекта  $(B_1)$  КД:

$$\left\langle \left\langle \langle A_1 \rangle^{\xi_{A_1}} \right\rangle^{\xi_{C_1^1}} \right\rangle^{B_1} \xRightarrow{\Theta_{B_1}} \langle R_1 \rangle^{\xi_{B_1}},$$

где  $\xRightarrow{\Theta_{B_1}}$  — оператор формирования решения.

Вся последовательность формирования образа объекта  $A_1$  в ИД, восприятия его субъектом  $B_1$  в КД, принятия решения и передаче его через ИД субъекту  $B_4$  в КД описывается выражением

$$\begin{aligned} & \left\langle \left\langle \langle A_1 \rangle^{\xi_{A_1}} \right\rangle^{\xi_{C_1^1}} \right\rangle^{B_1} \xRightarrow{\Theta_{B_1}} \langle R_1 \rangle^{\xi_{B_1}} \xrightarrow{Q_{32}^{\xi_{B_1} \xi_{C_7^4}}} \\ & \rightarrow \langle \langle R_1 \rangle^{\xi_{B_1}} \rangle^{\xi_{C_7^4}} \xrightarrow{Q_{23}^{\xi_{C_7^4} \xi_{B_4}}} \langle \langle C_7^4 \rangle^{\xi_{C_7^4}} \rangle^{B_4}, \end{aligned}$$

представляющим модель информационного взаимодействия субъектов КД в терминах представлений ИД, объектов ФД и решений субъектов КД.

### Модели ИКС в здравоохранении

Характерной чертой медицины является низкий уровень формализации<sup>2</sup> используемых данных, процедур их получения и анализа по сравнению с техническими и бизнес-приложениями.

**Трехмерная модель.** Для обоснованного построения ТМС выделены характеристики, описывающие различные стороны применения ИКС, а именно:

- *круг решаемых медицинских задач* — профилактика и предупреждение, диагностика и лечение, мониторинг и сопровождение хронических больных, экстренная помощь и медицина катастроф, медицинское образование, администрирование и управление и др.;

- *медицинские специализации и области применения*, как сложившаяся внутрипрофессиональная классификация, отражают методологические подходы, связанные с информационными моделями объекта деятельности (пациента);

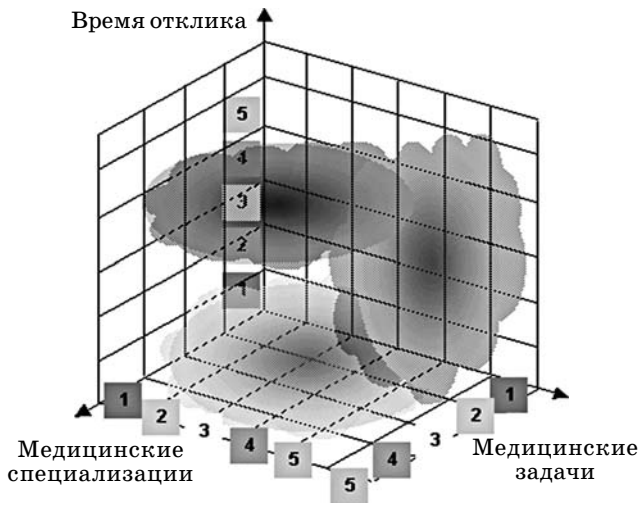
- *временные характеристики системы* (время отклика ТМС на запрос) определяют характер ее взаимодействия с пользователем и задают требуемые параметры ТС.

Названные характеристики положены в основу трехмерной модели ТМ-ИКС (рис. 5), которая классифицирует область применения и позволяет избежать неоправданного расширения на смежные, похожие внешне, но отличающиеся характеристиками использования ИКС. Результатом анализа трехмерной модели является дифференциация областей применения ИКС и отнесение ТМ-ИКС к определенному классу ИКС с выявлением главенствующего типа взаимодействия между участниками.

**Двухкомпонентная модель**, детализируя параметры каждой из названных характеристик, обеспечивает переход к количественным оценкам.

Комбинация прикладной медицинской «задачи» и «специализации» образует область с мало-

<sup>2</sup> Стандартизация в здравоохранении заметно улучшает ситуацию, но не меняет характера проблемы. Медицинские стандарты и классификаторы (DICOM, МКБ-10, HL-7 и т. п.), формализуя структурные характеристики данных (представлений сущности), не затрагивают источник всех данных — пациента.

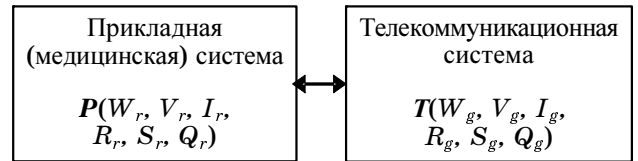


■ Рис. 5. Трехмерная модель ТМ-ИКС

вариативными значениями параметров (рис. 6), называемую «областью применения». «Применение»  $P$  описывается набором целочисленных параметров  $P(W_r, V_r, I_r, R_r, S_r, Q_r)$ , характеризующих «требования», где  $W_r$  — объем данных в сеансе;  $V_r$  — требуемая скорость передачи;  $I_r$  — вид требуемой службы;  $R_r$  — требуемое время отклика ИКС на запрос;  $S_r$  — симметрия/асимметрия службы;  $Q_r$  — необходимость QoS (рис. 7).

Аналогично ТС описывается набором параметров, характеризующих ее свойства обеспечивать требуемые характеристики, и параметров, учитывающих внутренние свойства системы  $T(W_g, V_g, I_g, R_g, S_g, Q_g)$ , или более широким, включающим стоимостные характеристики (разовые и эксплуатационные затраты для прикладной системы (ПС) и ТС):  $Z_{rr}, Z_{er}, Z_{rg}, Z_{eg}$ .

Последовательная детализация и количественная оценка приводят к двум ограниченным множествам наборов  $P_i \in P$  и  $T_j \in T, i \in [1, \dots, N], j \in [1, \dots, K], N \leq K$  параметров (требуемых ПС и гарантируемых ТС), достаточно точно описыва-



■ Рис. 7. Двухкомпонентная модель ИКС

ющих «прикладную» и «телекоммуникационную» компоненты конкретной ТМ-ИКС.

Двухкомпонентная модель (см. рис. 7) позволяет, сопоставляя  $P_i$  и  $T_j$ , определить параметры, совпадающие или наиболее близкие требуемым. Формулируя различные критерии близости, можно решать следующие задачи проектирования ИКС:

- прямая задача — поиск варианта, который при допустимых разовых затратах  $Z_{rg}$  и удовлетворении набора технологических требований ( $W_r, V_r, I_r, R_r, S_r, Q_r$ ) обеспечивает  $\min(Z_{eg})$  — минимальную стоимость эксплуатации;

- обратная задача — поиск такого значения  $Z_{eg}$ , при котором удовлетворяются все требования ( $W_r, V_r, I_r, R_r, S_r, Q_r$ ) при  $\min(Z_{rg})$  или заданном значении  $Z < Z_{rg}$ ;

- задача оценки границ вариации тарифообразующих параметров ( $Z_{rg}$  и  $Z_{eg}$ ) модели, при которых услуга остается выгодной оператору телекоммуникаций. Общая постановка задачи: «Найти такие реализации ИКС (совокупности ПС $_i$  и ТС $_j$ ), которые удовлетворяют заданному критерию».

Основные задачи, связанные с организацией и предоставлением ИКУ, следующие.

1. На этапе проектирования ТМС — определение набора реализаций подсистем, который обеспечит заданный уровень функциональности  $F(V_i) \geq \text{const}$  при минимуме затрат  $\min(F(C_i))$ .

2. Определение набора реализаций подсистем, обеспечивающих максимум функциональности  $\max(F(V_i))$  при фиксированном уровне инвестиций ( $F(C_i) \leq \text{const}$ ).



■ Рис. 6. Применения ТМ-ИКС

3. Определение для выбранной реализации ИКС значений стоимостных параметров  $F(C_i)$ , при которых удовлетворяются все требования качества ( $F(V_i) \geq \text{const}$ ).

4. На этапе эксплуатации ИКС — определение оптимальной стратегии обновления/поддержания/расширения системы, т. е. оценка возможного диапазона изменения параметров  $V_i$  при заданных ограничениях  $C_i$ .

Двухкомпонентная модель позволяет перейти к количественным оценкам и сформулировать технические требования к ИКС. Итоговыми измерителями для оценки медицинских применений выступают объемные значения медицинских данных и время отклика системы на запрос услуги определенного вида, а также свойства интерактивности услуги.

### Заключение

Основной недостаток традиционных подходов состоит в исключении пользователя и его прикладных процессов из состава ИКС, что затрудняет исследование процессов генерации и утилизации информации в ИС. Формальный анализ информационного взаимодействия компонентов ИКС, их базовых свойств и характеристик позволяет выделить различные типы ИКС. Предложенные принципы классификации основаны на признаках, характеризующих взаимоотношения ИКС с пользователем и информацией. Определен класс прикладных ИКС, характерных для здравоохранения и образования.

Границы ИКС, их свойства и ряд характеристик адекватно описываются комплексом из трех разноуровневых моделей, включающих ДМ инфо-

коммуникаций, трехмерную и двухуровневую модели ТМ-ИКС.

Рассмотренный подход позволяет перейти от субъективных оценок к формулировке задач количественного анализа и синтеза слабо формализованных прикладных ИКС телемедицины.

### Литература

1. Luman R. R. Integrating Cost and Performance Models to Determine Requirements Allocation for Complex Systems // Technical Digest / Johns Hopkins University APL. 2000. Vol. 21. N 3. P. 408–425.
2. Основные показатели работы лечебно-профилактических учреждений федерального подчинения: статистические материалы: <http://www.mednet.com/stat/stat00/index.htm>
3. Сотников А. Д. Структурно-функциональная организация услуг телемедицины в прикладных инфокоммуникационных системах. СПб.: Судостроение, 2007. 200 с.
4. Полонников Р. И. Основные концепции общей теории информации. СПб.: Наука, 2006. 203 с.
5. Сотников А. Д. Принципы анализа прикладной области в инфокоммуникационных системах здравоохранения // Тр. учеб. заведений связи. 2004. № 171. С. 174–183.
6. Сотников А. Д. Классификация и модели прикладных инфокоммуникационных систем // Тр. учеб. заведений связи. 2003. № 169. С. 149–162.
7. Сотников А. Д. Оптимизация инфокоммуникационных систем в здравоохранении // Тр. учеб. заведений связи. 2003. № 169. С. 163–174.