

О.О. БАСОВ, И.А. САИТОВ  
**КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ПОЛИМОДАЛЬНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ  
СИСТЕМ**

---

*Басов О.О., Саитов И.А.* **Качество функционирования и эффективность полимодальных инфокоммуникационных систем.**

**Аннотация.** Отказ от традиционных принципов разделения передаваемой информации на услуги в пользу полимодального представления информации требует разработки новой конструктивной теории построения полимодальных инфокоммуникационных систем. Одним из ее краеугольных камней является количественная оценка степени достижения цели функционирования таких систем и доли участия в этом результате абонентских терминалов. В работе предложен подход к оцениванию эффективности полимодальных систем на основе показателя удельной себестоимости.

**Ключевые слова:** полимодальная инфокоммуникационная система, эффективность, удельная себестоимость, полнота информации.

*Basov O.O., Saitov I.A.* **Functioning quality and effectiveness of polymodal infocommunicational systems.**

**Abstract.** Abandoning traditional principles of separation of transmitted information on services for polymodal presentation of information requires development of a new constructive theory of building polymodal infocommunication systems. One of its cornerstones is the quantitative research of the degree of the achievement of the purpose of such systems and subscribers' participation share in this result. This paper presents an approach to evaluation of polymodal systems effectiveness on the basis of the prime cost index.

**Keywords:** polymodal infocommunication system, effectiveness, prime cost, completeness of information.

---

**1. Введение.** Расширение поля коммуникативного взаимодействия, а также постоянно растущие психологические нагрузки при принятии управленческих решений, связанные с уменьшением квоты доверия общающихся друг к другу, трансформируют формально-ролевое общение в деловое, при котором наряду с обменом информацией должны учитываться особенности личности абонента, его настроение, физиологическое и психоэмоциональное состояние. Глобальная информатизация процессов управления, возросшая скорость изменения ситуации и увеличения объемов передаваемой информации требуют от абонентов повышения результативности их действий в направлениях скорости принятия решений и адекватности текущей ситуации [1].

В данных условиях инфокоммуникационные системы (ИКС) оказываются функционально ограниченными и не обеспечивают требуемой эффективности коммуникативного взаимодействия абонентов [2].

Причиной существующего положения дел является сохраняющееся в научно-техническом сообществе отношение к инфокоммуни-

кациям как распределенным системам, реализующим функции получения, обработки, передачи и восстановления информации. Системным следствием этого является увеличение пропускной способности (и, как следствие, стоимости всей системы), вызванное последовательным и независимым наращиванием применяемых модальностей (ввод текста с клавиатуры, рукописный ввод, речевой сигнал, изображение) при обработке и передаче информации.

Особенно контрастно выглядят выделенные проблемы практики на фоне возросших возможностей современных вычислительных и информационных технологий. В многомодальных системах человеко-машинного взаимодействия информация от различных (видео, аудио, тактильных) коммуникативных каналов непрерывно отслеживается и обрабатывается, создавая реальное или виртуальное окружение, позволяющее удовлетворить желания пользователя и оперативно адаптировать процессы обработки информации к текущей задаче и другим прикладным аспектам [16]. Внедряются результаты исследований психофизиологического состояния человека на основе эмоциональных признаков речи и лица [7, 24]. Реализуются интеллектуальные системы поддержки принятия решений, основанные на интеграции информации и знаний в контекст, описывающий задачу абонента или требуемую ситуацию и учитывающий динамику окружающей среды [18].

Таким образом, в предметной области, с одной стороны, наблюдается объективная необходимость в повышении эффективности коммуникативного взаимодействия абонентов, с другой – появились технические и технологические предпосылки для решения выделенных проблем практики. В данных условиях целесообразным подходом к решению проблем практики выбран интенсивный путь развития ИКС посредством учета всех сторон общения (коммуникативной, интерактивной и перцептивной) невербальными средствами. Перспективным в этом смысле становится отказ от традиционных принципов разделения передаваемой информации на услуги в пользу ее полимодального представления [2].

Такой подход требует разработки новой строгой, но в то же время конструктивной, теории полимодальных ИКС (ПИКС), одной из основ которой является количественная оценка степени достижения изначально заданных целей ее функционирования.

**2. Общий подход к оценке качества функционирования и эффективности ИКС.** Классический подход [4, 9, 22 и др.] к оценке эффективности ИКС состоит в анализе их качественных характеристик и получении соответствующих частных показателей эффективности (ЧПЭФ). На их основе методами аддитивной или мультипликатив-

ной свертки удается сформировать некий обобщенный показатель эффективности (ОПЭФ) системы. Исследования в предметной области показали, что значение ОПЭФ ИКС будут определяться как архитектурой системы, так и свойствами информационного потока, поступающего от абонентов.

Нормативные документы в области построения ИКС в большинстве случаев рассматривают в качестве приоритетных для отражения степени удовлетворения абонента услугой показатели *QoS* (*Quality of Service – качество обслуживания*) [19]. При этом критерии и параметры *QoS* должны рассматриваться для каждой конкретной услуги и определяться для сквозной связи (рис. 1), конечными точками которой являются точки подсоединения абонентских терминалов (АТ), в терминах, понятных абоненту [11].



Рис. 1. Феноменологическое представление ИКС

В общем случае ИКС предоставляет каждой обслуживаемой паре абонентов либо коммутируемый фиксированный (статическое мультиплексирование), либо постоянный виртуальный (статистическое мультиплексирование) канал, основная задача которого доставлять информацию в виде потока блоков данных от АТ-источника к АТ-адресату. Так как на канальном и физическом уровне сети доступа (СД) и транспортной сети (ТС) формирование обоих типов каналов осуществляется путем последовательного установления соединения ресурсов технически сопряженных элементов направляющих систем электросвязи и элементов запоминающих устройств коммутационного оборудования (КО), то в дальнейшем для них будет использоваться общее модельное понятие "*сети передачи данных*" (СПД).

В целом ряде исследований [6, 8] при оценке эффективности учитывается вложенность и иерархичность элементов ИКС (рис. 2), когда система в целом, и ее подсистемы подвержены воздействиям среды функционирования (СФ).

Тогда исходным состоянием ПИКС будем считать такое, когда полимодальная информация в виде потока блоков данных (сообщений), соответствующего расчетному, поступает в СПД (рис. 1), все элементы СД, ТС и обеспечивающих их подсистем исправны, а дестабилизирующие факторы отсутствуют. Такое состоя-

ние ПИКС характеризуется ее качеством  $Q_0^{\text{ПИКС}}$ . В результате влияния СФ фактическое качество полимодальной ИКС будет изменяться во времени  $Q^{\text{ПИКС}}(t)$ , при этом для абонента важно, чтобы абсолютное отклонение этой величины от расчетной не превышало некоторого заданного значения:

$$\Delta Q^{\text{ПИКС}}(t) = \left| Q_0^{\text{ПИКС}} - Q^{\text{ПИКС}}(t) \right| \leq \Delta Q^{\text{доп}}(t). \quad (1)$$

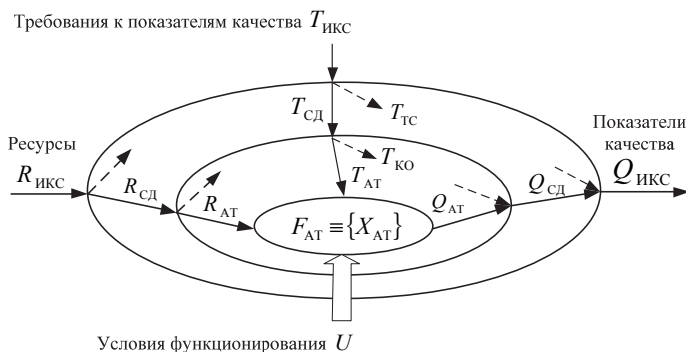


Рис. 2. Обобщенная модель метауровня исследований зависимости внешних функциональных характеристик ИКС от наличия ресурсов и условий функционирования

*Внешняя эффективность* ПИКС будет определяться максимальным значением  $\Delta Q^{\text{ПИКС}}$ , которое она способна обеспечить при ограничениях на приведенные затраты  $C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}}$  на ее построение и эксплуатацию:

$$\mathcal{E}^{\text{ПИКС}} = \Psi_{\text{ВЭ}}(\Delta Q^{\text{ПИКС}}, C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}}), \quad (2)$$

$$C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}} \leq C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС доп}}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС доп}}$  – допустимые приведенные затраты на построение и эксплуатацию ПИКС.

Очевидно, что для оценки внешней эффективности ПИКС необходимо уметь рассчитывать величины  $\Delta Q^{\text{ПИКС}}$  и  $C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}}$ .

**3. Качество функционирования ПИКС.** Интеграция информационных [5] и телекоммуникационных [12–14] систем при формировании системотехнического облика ПИКС обусловила выбор в качестве показателей качества: целостности, своевременности, безопасности, производительности и надежности (рис. 3).

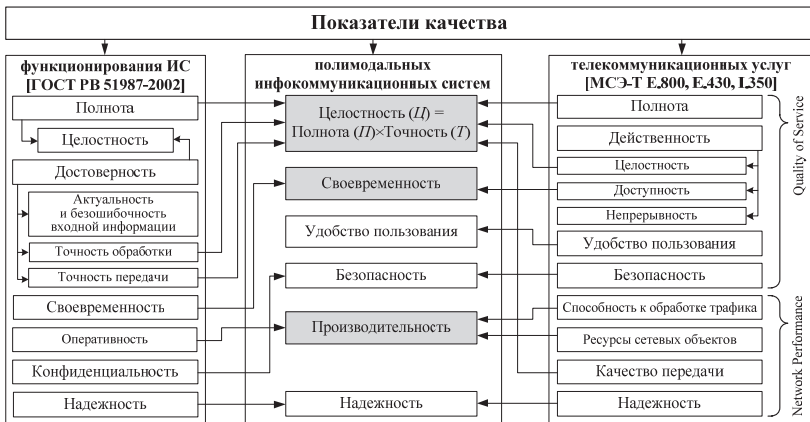


Рис. 3. Показатели качества функционирования информационных, телекоммуникационных и полимодальных систем

При ограничениях на достигаемый уровень безопасности и надежности информации указанные ЧПЭФ могут быть формализованы следующим образом.

*Полнота* – свойство выходной информации отражать состояния всех требуемых объектов учета (ОУ) предметной области ПИКС:

$$П_{\text{ПИКС}} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m^{\text{ОУ}}, \quad (4)$$

где  $M$  – минимально необходимое для принятия правильного решения число объектов учета, а  $m$ -й показатель полноты определяется как:

$$x_m^{\text{ОУ}} = \begin{cases} 1, & \text{если содержится ОУ;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

*Точность* – свойство ПИКС обеспечивать достижение согласованных результатов обработки и передачи информации, необходимых для получения достоверной выходной информации:

$$T_{\text{ПИКС}} = \frac{N_{\text{ТОЧН.БД}}}{t} = \frac{N_{\text{ТОЧН.ОБРАБ.БД}}}{t} + \frac{N_{\text{ТОЧН.ДОСТ.БД}}}{t} =$$

$$= \frac{\alpha \cdot N_{\text{СООБЩ.}} - N_{\text{ИСКАЖ.СООБЩ.}}}{t} + \frac{(\alpha-1) \cdot N_{\text{СООБЩ.}} - N_{\text{ПОТЕР.БД}}}{t}, \quad (5)$$

где  $N_{\text{ТОЧН.БД}}$  – общее количество точно обработанных  $N_{\text{ТОЧН.ОБРАБ.БД}}$  и доставленных  $N_{\text{ТОЧН.ДОСТ.БД}}$  БД (сообщений);  $N_{\text{СООБЩ.}}$  – общее количество сообщений, сформированных в результате обработки полимодальной информации и переданных в виде БД;  $\alpha \in (0,1)$  – коэффициент пропорциональности;  $N_{\text{ИСКАЖ.СООБЩ.}}$  – количество искаженных сообщений, не позволяющих получить достоверную информацию;  $N_{\text{ПОТЕР.БД}} = N_{\text{СООБЩ.}} \cdot PLR$  – количество потерянных (доставленных не по назначению) БД;  $PLR$  (*Packet Loss Ratio*) – коэффициент потери пакетов (БД).

*Своевременность* – свойство ПИКС обеспечивать представление выходной информации в сроки, гарантирующие выполнение соответствующей функции согласно целевому назначению системы:

$$C^{\text{ПИКС}} = t_{\text{ОБР}} + (t_3 \pm \Delta t_3), \quad (6)$$

где  $t_{\text{ОБР}}$  – время ввода/вывода и обработки полимодальной информации;  $(t_3 \pm \Delta t_3)$  – задержка передачи сообщений.

*Производительность*  $Pr^{\text{ПИКС}}$  – суммарная скорость передачи данных (БД, сообщений).

Требования к указанным показателям качества [15] представлены ниже в таблице 1.

**4. Удельная себестоимость ПИКС и ее компонентов.** Для оценки эффективности ПИКС предлагается использовать обобщенный показатель, представляющий собой ее гипотетический объем:

$$V^{\text{ПИКС}} = Pr^{\text{ПИКС}} \cdot B^{\text{ПИКС}} \cdot C^{\text{ПИКС}}, \quad (7)$$

где  $B^{\text{ПИКС}} = 1/C^{\text{ПИКС}}$  – быстродействие системы. Данный показатель вводится для обеспечения измерения гипотетического объема ПИКС и ее компонентов в  $\text{с}^{-3}$ .

С одной стороны, данный ОПЭФ включает в себя все основные показатели качества функционирования системы [23], с другой – все ее компоненты взаимосвязаны между собой, но одного или двух из них недостаточно для системного отражения свойств ИКС.

Таблица 1. Целевые показатели качества, воспринимаемого абонентом

Приложение	Типовые скорости передачи данных	$t_3^{\text{доп}}$	$\Delta t_3$	Потери информации***
Телефония	4–64 кбит/с	< 150 мс*; < 400 мс**	< 1 мс	PLR < 3 %
Передача голосовых сообщений	4–32 кбит/с	< 1 с – для воспр. < 2 с – для записи	< 1 мс	PLR < 3 %
Высококачественное потоковое аудио	16–128 кбит/с***	< 10 с	« 1 мс	PLR < 1 %
Видеотелефония	16–384 кбит/с	< 150 мс*; < 400 мс**		PLR < 1 %
Передача видео	16–384 кбит/с	< 10 с		PLR < 1 %
Web-навигация	≈ 10 кБайт/с	< 2 с/страница*; < 4 с/страница**	Не применяется	0
Передача массивов данных	10–10 <sup>4</sup> МБайт/с	< 15 с*; < 60 с**		0
Осуществление транзакций	< 10 кБайт/с	< 2 с*; < 4 с**		0
Команды (управление)	≈ 1 кБайт/с	< 250 мс		0
Неподвижное изображение	< 100 кБайт/с	< 15 с*; < 60 с**		0
Электронная почта (доступ к серверу)	< 10 кБайт/с	< 2 с*; < 4 с**		0
Электронная почта (сервер-сервер)	< 10 кБайт/с	Может достигать нескольких минут		0

Выбор рабочей точки в объеме  $\sup V^{\text{ПИКС}}$  (рис. 4, а) может быть определен исходя из различных соображений. Если пространство  $\Phi$  качества функционирования ПИКС метрическое, то имеет место некоторое отображение:

$$V_i^{\text{ПИКС}} : H_i^{\text{ПИКС}} \rightarrow \Phi, \quad V_i^{\text{ПИКС}} = Pr_i^{\text{ПИКС}} \cdot B_i^{\text{ПИКС}} \cdot C_i^{\text{ПИКС}},$$

где  $V_i^{\text{ПИКС}}$  – неотрицательная счетно-аддитивная функция, представляющая собой меру на пространстве показателей качества функциони-

рования ПИКС, а  $H^{\text{ПИКС}}$  – ее нагрузочная характеристика. Каждой паре  $H_i^{\text{ПИКС}} \in \Phi, H_j^{\text{ПИКС}} \in \Phi$  соотносится вещественное число  $\rho(H_i^{\text{ПИКС}}, H_j^{\text{ПИКС}})$ , т. е. расстояние между элементами пространства, удовлетворяющее условиям теории меры.

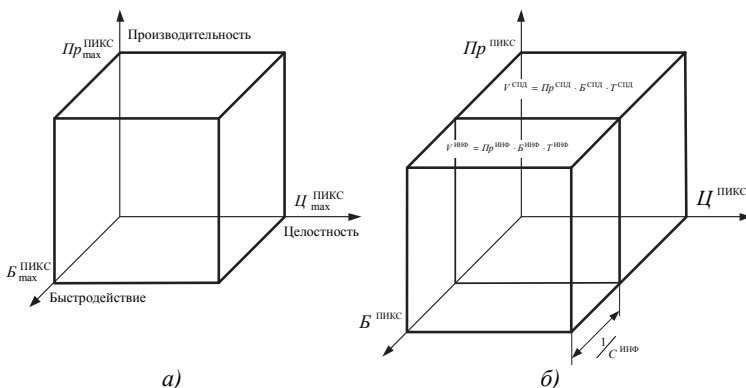


Рис. 4. Эффективность ПИКС (а) и декомпозиция ее показателей (б)

Показатели качества функционирования ПИКС являются компонентами вектора  $R$  в пространстве  $\Phi = (P, B, C)$ . Процесс функционирования в  $\Phi$  ИКС и любого из ее элементов может происходить только в рамках их максимальных  $Pr_{\text{мах}}^{\text{ПИКС}}$ ,  $B_{\text{мах}}^{\text{ПИКС}}$ ,  $C_{\text{мах}}^{\text{ПИКС}}$  нагрузочных характеристик  $H^{\text{ПИКС}}$ . Для сравнения различных вариантов построения ПИКС при ограничении (3) предлагается использовать показатель удельной себестоимости [17]:

$$\zeta^{\text{ПИКС}} = \frac{V^{\text{ПИКС}}}{C_{\text{пр}}^{\text{ПИКС}}}, \quad (8)$$

максимальное значение которого определяет лучшее решение.

С учетом принятой иерархии (рис. 2) функциональных характеристик ПИКС показатель (8) может быть декомпозирован на удельную себестоимость информации (9) и удельную себестоимость СПД (10):



$$\zeta^{\text{ИНФ}} = \frac{V^{\text{ИНФ}}}{C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}}, \quad (9) \quad \zeta^{\text{СПД}} = \frac{V^{\text{СПД}}}{C_{\text{пр}}^{\text{СПД}}}, \quad (10)$$

$$V^{\text{ИНФ}} = Pr^{\text{ИНФ}} \cdot B^{\text{ИНФ}} \cdot C^{\text{ИНФ}}, \quad (11) \quad V^{\text{СПД}} = Pr^{\text{СПД}} \cdot B^{\text{СПД}} \cdot C^{\text{СПД}}, \quad (12)$$

$$B^{\text{ИНФ}} = \frac{1}{C^{\text{ИНФ}}} = \frac{1}{t_{\text{ОБР}}}, \quad (13) \quad B^{\text{СПД}} = \frac{1}{C^{\text{СПД}}} = \frac{1}{(t_3 \pm \Delta t_3)}, \quad (14)$$

$$Pr^{\text{ИНФ}} = \sum_{j=1}^J B_j, \quad (15) \quad Pr^{\text{СПД}} = \sum_{k=1}^K U_k, \quad (16)$$

где  $V^{\text{ИНФ}}$  и  $V^{\text{СПД}}$  – гипотетический объем обрабатываемой информации (сообщений) и СПД соответственно (рис. 4, б);  $Pr^{\text{ИНФ}}$  и  $Pr^{\text{СПД}}$  – производительность источника информации и СПД соответственно;  $C^{\text{ИНФ}}$  и  $C^{\text{СПД}}$  – своевременность обработки и передачи информации (сообщений) соответственно;  $B_j$  – скорость выдачи информации  $j$ -м источником (сигналы различной природы – для традиционных ИКС; модальности – для ПИКС);  $J$  – число таких источников;  $U_k$  – ресурс пропускной способности для сообщений  $k$ -го типа;  $K$  – число одновременно передаваемых сообщений (потокв БД).

Учитывая, что полнота информации, передаваемой в виде БД по СПД,  $P^{\text{СПД}} = 1$ , целостность  $C^{\text{СПД}}$  будет полностью определяться точностью передачи данных (сообщений):

$$T^{\text{СПД}} = \frac{N_{\text{Точн. Дост. БД}}}{t},$$

а гипотетический объем (12) примет вид:

$$V^{\text{СПД}} = Pr^{\text{СПД}} \cdot B^{\text{СПД}} \cdot T^{\text{СПД}}. \quad (17)$$

Тогда задачу по поиску наилучшего варианта построения СПД ПИКС целесообразно осуществлять на основе выбора альтернатив, структур и функциональных характеристик компонентов, обеспечивающих максимизацию удельной себестоимости (10) с учетом выражений (14), (16) и (17). Указанный подход является апробированным инструментарием оценки эффективности сетей связи [10, 17, 20, 23].

При обеспечении требований к производительности  $Pr^{\text{ИНФ}} \leq Pr^{\text{СПД}}$  и своевременности  $C^{\text{ИНФ}} + C^{\text{СПД}} \leq 1/B_{\text{max}}^{\text{ПИКС}}$  ключевым показателем удельной себестоимости информации будет являться целостность информации:

$$C^{\text{ИНФ}} = P^{\text{ИНФ}} \times T^{\text{ИНФ}}, \quad (18)$$

характеризующая полноту и точность отражения требуемых состояний реально существующих ОУ.

Информацию можно считать полной, когда она содержит минимальный, но достаточный для принятия правильного решения набор показателей. Как неполная, так и избыточная информация снижает эффективность принимаемых на основании информации решений.

С учетом выражения (4) целостность полимодальной информации можно определить как:

$$C^{\text{ИНФ}} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m^{\text{ОУ}} D_m, \quad (19)$$

где  $D_m$  – достоверность оценки состояния  $m$ -го ОУ. При этом под *достоверностью* следует понимать свойство полимодальной информации отражать реальное или оцениваемое состояние объектов и процессов прикладной области (ОУ) со степенью приближения (*точностью*), обеспечивающей эффективное использование этой информации согласно целевому назначению системы.

Следует учесть, что при такой интерпретации размерность показателя  $C^{\text{ИНФ}}$  ( $c^{-1}$ ) при вероятностной оценке достоверности  $D_m$  сохраняется за счет введения соответствующей размерности для показателей  $x_m^{\text{ОУ}}$ .

**5. Сравнительная оценка эффективности ПИКС и ИКС с аддитивным наращиванием модальностей.** Предположим, что при коммуникативном взаимодействии наряду с обменом сообщениями абонентов интересует их истинность (ложность). ОУ в данном случае становятся смысл (с показателем полноты  $x_1^{\text{ОУ}}$ ) и оценка истинности (с показателем  $x_2^{\text{ОУ}}$ ) сообщения. Тогда целостность передаваемой информации (19) можно определить следующим образом:

$$C^{\text{ИНФ}} = \frac{1}{2}(x_1^{\text{ОУ}} D_1 + x_2^{\text{ОУ}} D_2), \quad (20)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – достоверность определения смысла и истинности передаваемых сообщений соответственно.

Будем считать, что при осуществлении сеанса видеотелефонии (табл. 1) абоненты способны полностью определить смысл передаваемых сообщений ( $x_1^{\text{ОУ}} = 1$  при  $D_1 = 1$ ), но не имеют специальной подготовки для определения истинности передаваемой информации ( $x_2^{\text{ОУ}} = 0$ ). Тогда с учетом введенной декомпозиции, а также выражений (9), (11), (13) и (19) для эффективности соответствующей бимодальной системы можно записать:

$$\zeta_1^{\text{ИНФ}} \Big|_{\zeta^{\text{СПД}}=\text{const}} = \frac{Pr^{\text{ИНФ}}}{2 \cdot t_{\text{ОБР}} \cdot C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}}. \quad (21)$$

Для определения истинности в таких системах необходимо применение дополнительных аппаратно-программных средств (например, полиграфа) [21]. Использование последних неизбежно приведет к увеличению времени обработки  $t_{\text{ОБР}}$  входных сигналов и/или увеличению затрат  $C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}$  на их реализацию, а в итоге – к уменьшению удельной себестоимости ИКС с аддитивным наращиванием модальностей:

$$\zeta_2^{\text{ИНФ}} \Big|_{\zeta^{\text{СПД}}=\text{const}} < \zeta_1^{\text{ИНФ}} \Big|_{\zeta^{\text{СПД}}=\text{const}}.$$

При полимодальном представлении информации возможна оценка ложности сообщаемой информации по динамике параметров (рис. 5) невербального поведения абонента ( $x_2^{\text{ОУ}} = 1$ ) [3].

Требуемые для реализации такой оценки модальности относятся к визуальному каналу коммуникации [2], характерному для видеотелефонии, а точность оценки их параметров определяет достоверность определения истинности  $D_2$ . Удельная себестоимость соответствующей ПИКС:

$$S_3^{\text{ИНФ}} \Big|_{S^{\text{СПД}} = \text{const}} = \frac{Pr^{\text{ИНФ}} \cdot D_2}{2 \cdot t_{\text{ОБР}} \cdot C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}}}, \quad (22)$$

будет выше ОПЭФ (22).

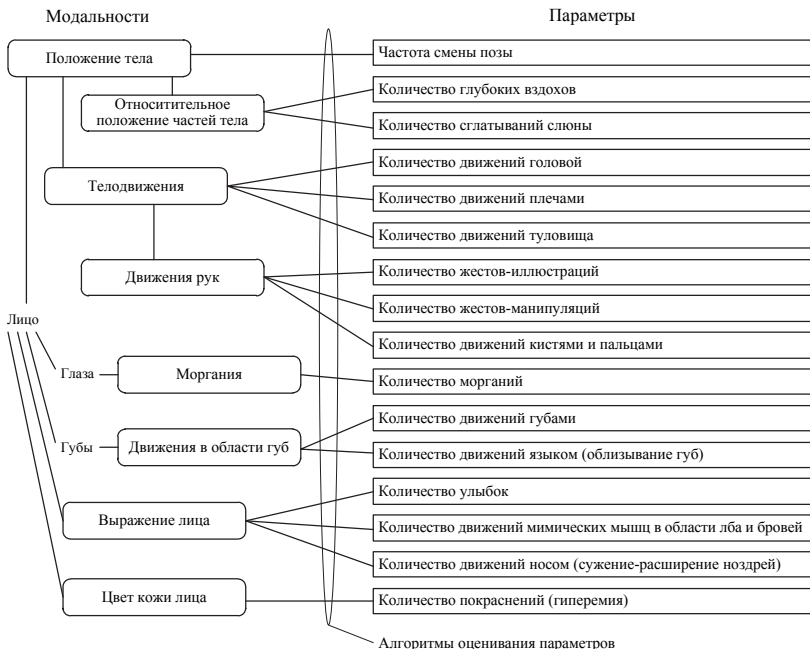


Рис. 5. Параметры невербального поведения человека, используемые для определения истинности (ложности), передаваемой им информации

Таким образом, при заданной удельной себестоимости СПД (10) и ограничении приведенных затрат на обработку информации  $C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ}} \leq C_{\text{пр}}^{\text{ИНФ доп}}$  степень обеспечения целостности полимодальной информации (19) будет определять внешнюю эффективность ПИКС.

**6. Внутренняя эффективность ПИКС.** Необходимость согласования производительностей источника информации (АТ) и СПД ( $Pr^{\text{ИНФ}} \leq Pr^{\text{СПД}}$ ) обусловила целесообразность введения единицы канального ресурса (ЕКР) [19]:

$$\kappa = \text{НОД}(B_1, \dots, B_J, U_1, \dots, U_K), \quad (23)$$

где НОД – наименьший общий делитель целочисленных значений скоростей выдачи информации различными источниками (источниками различных модальностей) и требований к ресурсу пропускной способности, необходимому для передачи полимодальной информации.

Очевидно, что такая величина (23) будет меньше любого "шага квантования" производительности, используемого в традиционных задачах синтеза телекоммуникационных систем, что свидетельствует об увеличении числа степеней свободы при решении задач синтеза ПИКС. Результаты моделирования канального ресурса на базе ЕКР являются более прецизионными, а решение задач выбора скорости передачи (выдачи) – более точным.

Следовательно, в соответствии с принципом дополнительности Бора (в расширенной трактовке) ЕКР (23) может быть использована в качестве показателя внутренней эффективности ПИКС.

Однако в традиционных ИКС каждая ЕКР – результат применения конкретной технологии кодирования и передачи (табл.). Следовательно, для «новых услуг» ПИКС [2] должны применяться «свои» ЕКР, что с точки зрения эффективности использования ресурса СПД может оказаться расточительным. Используя результаты исследования сигналов различных модальностей, можно предположить, что в АТ ПИКС есть возможность организовать необходимое число ЕКР, способных в различных ситуациях обеспечить реализацию информационных, телекоммуникационных, перцептивных и интеллектуальных услуг, что требует дополнительных теоретических исследований.

**7. Заключение.** В настоящей работе во взаимосвязи рассмотрены два аспекта оценки эффективности функционирования ИКС: внешний и внутренний. Первый аспект заключается в определении того вклада в достижение цели метасистемы (системы управления), который вносит ПИКС. Во втором случае осуществляется оценка того, насколько близко количественные значения функциональных характеристик ПИКС соответствуют требуемым (или потенциально возможным) значениям.

Внешняя эффективность ПИКС определяется максимальным отклонением фактического качества ее функционирования от расчетного значения при ограничении на приведенные затраты на ее построение и эксплуатацию. При заданной удельной себестоимости СПД и ограничении приведенных затрат на обработку информации внешней эффективностью ПИКС определяет степень обеспечения целостности полимодальной информации.

Внутренняя эффективность ПИКС определяется минимальным числом ЕКР, требуемых для реализации информационных, телеком-

муникационных, перцептивных и интеллектуальных услуг. Использование данного показателя позволяет увеличить вариативность решения задач синтеза ПИКС, однако требует проведения дополнительных теоретических исследований возможности организации необходимого числа ЕКР.

### **Литература**

1. *Басов О.О.* Предпосылки создания полимодальных инф коммуникационных систем // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Неделя науки СПбГПУ». Санкт-Петербургский государственный политехнический университет// Секция «Решение сложных задач в области современных информационных и компьютерных технологий». 3-8 декабря 2012. С. 5–6.
2. *Басов О.О., Саитов И.А.* Основные каналы межличностной коммуникации и их проекция на инфокоммуникационные системы // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 7(30). С. 122–140.
3. *Басов О.О., Саитов И.А.* Способ определения ложности передаваемой информации по динамике параметров невербального поведения человека // патент № 2506048; Российская Федерация: МПК А61В 5/16. – № 2012145655/14; заявл. 25.10.2012; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. 14 с.: ил.
4. *Вишневецкий В.М.* Теоретические основы проектирования компьютерных сетей // М.: Техносфера, 2003. 512 с.
5. ГОСТ РВ 51987-2002. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы типовые требования и показатели качества функционирования информационных систем. Общие положения // М.: Госстандарт России, 2001.
6. *Захаров Г.П.* Методы исследования сетей передачи данных // М.: Радио и связь, 1982. 208 с.
7. *Лукьяница А.А., Шишкин А.Г.* Автоматическое определение изменений эмоционального состояния по речевому сигналу // Речевые технологии. 2009. № 3. С. 60–76.
8. *Одоевский С.М.* Адаптивно-игровая оптимизация функциональных характеристик военных сетей многоканальной радиосвязи // моногр. СПб.: ВАС, 1998. 300 с.
9. *Петухов Г.Б.* Основы теории эффективности целенаправленных процессов // учебник. Ч.1. Методология, методы, модели. Министерство обороны СССР, 1989. 656 с.
10. *Расчесова А.Г.* Нагруженная характеристика в оценке эффективности сети ПД и ее системы технической эксплуатации // Техника средств связи. 1990. № 10. С. 68–79.
11. Рекомендация МСЭ-Т E.802. Принципы и методики определения и применения параметров QoS. Официальный сайт Международного союза электросвязи. URL: [www.itu.int](http://www.itu.int) (дата обращения: 26.10.2013).
12. Рекомендация МСЭ-Т E.800. Определение терминов, относящихся к качеству обслуживания. Официальный сайт Международного союза электросвязи. URL: [www.itu.int](http://www.itu.int) (дата обращения: 26.10.2013).
13. Рекомендация МСЭ-Т E.430. Система качества обслуживания. Официальный сайт Международного союза электросвязи. URL: [www.itu.int](http://www.itu.int) (дата обращения: 26.10.2013).
14. Рекомендация МСЭ-Т I.350. Основные положения качества обслуживания и производительности сети в цифровых сетях, включая ЦСИО. Официальный сайт

Международного союза электросвязи. URL: [www.itu.int](http://www.itu.int) (дата обращения: 26.10.2013).

15. Рекомендация МСЭ-Т G.1010. Категории качества обслуживания конечного пользователя. Официальный сайт Международного союза электросвязи. URL: [www.itu.int](http://www.itu.int) (дата обращения: 26.10.2013).
16. Ронжин А.Л., Карнов А.А., Ли И.В. Речевой и многомодальный интерфейсы // М.: Наука, 2006. 173 с.
17. Саитов И.А. Основы теории построения защищенных мультипротокольных оптических транспортных сетей телекоммуникационных систем // монограф. Орел: Академия ФСО России, 2008. 220 с.
18. Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В. Подход к построению распределенной системы интеллектуальной поддержки принятия решений в открытой информационной среде // Труды СПИИРАН. 2007. Вып. 4. С. 36–49.
19. Степанов С.Н. Основы телеграфика мультисервисных сетей // М.: Эко-Трендз, 2010. 392 с.
20. Тимофеев В.Ф. и др. Концептуально-математическая модель системы эксплуатации сети связи // Информация и космос. 2004. №3. С. 55–60.
21. Фрай О. Детекция лжи и обмана // Пер. с англ. СПб.: Прайм-Еврознак, 2005. 320 с.
22. Царегородцев А.В., Кислицын А.С. Основы синтеза защищенных телекоммуникационных систем // под ред. Е.М. Сухарева. М.: Радиотехника, 2006. 256 с.
23. Цыбизов А.А. Оценка эффективности сетей связи // Сборник. Вестник РГПУ. 2009. Вып. 3(29). С. 19–24.
24. Krinidis S., Buciu I., Pitas I. Facial expression analysis and synthesis: A survey // In 10th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2003), 2003. pp. 22–27.

## References

1. Basov O.O. [Prerequisites to making polymodal infocommunicational systems]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nedelja nauki SPbGPU». Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet, 3-8 dekabrja Sekcija «Reshenie slozhnyh zadach v oblasti sovremennyh informacionnyh i komp'juternyh tehnologii»*. [Science Week SPbSPU: Collected papers] 2012. pp. 5–6. (In Russ.).
2. Basov O.O., Saitov I.A. [The main channels of interpersonal communication and their projection on the infocommunication systems]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol. 7(30). pp. 122–140. (In Russ.).
3. Basov O.O., Saitov I.A. *Sposob opredelenija lozhnosti peredavaemoj informacii po dinamike parametrov neverbal'nogo povedenija cheloveka* [A method for determining the falsity of the transmitted information on the dynamics of human nonverbal behavior parameters]. Patent RF №2506048. 2014. (In Russ.).
4. Vishnevskij V.M. *Teoreticheskie osnovy proektirovanija komp'juternyh setej* [Theoretical bases of designing computer networks]. М.: Tehnosfera, 2003. 512 p. (In Russ.).
5. GOST RV 51987-2002. [Information technology. Standards' complex for automated systems standard requirements and indicators of quality of information systems. General provisions]. М.: Gosstandart Rossii, 2001. (In Russ.).
6. Zaharov G.P. *Metody issledovanija setej peredachi dannyh* [Methods of research data networks]. М.: Radio i svjaz', 1982. 208 p. (In Russ.).
7. Luk'janica A.A., Shishkin A.G. [Automatic detection of changes in emotional state on the voice signal]. *Rechevyje tehnologii – Speech technology*. 2009. no. 3 pp. 60–76. (In Russ.).

8. Odoevskij S.M. *Adaptivno-igrovaja optimizacija funkcional'nyh karakteristik voennyh setej mnogokanal'noj radiosvjazi* [Adaptable-playing optimization of the functional characteristics of the military networks multichannel radio traffic]. SPb.: VAS. 1998. 300 p. (In Russ.).
9. Petuhov G.B. *Osnovy teorii jeffektivnosti celenapravlennyh processov* [Fundamentals of the theory of the effectiveness of targeted processes]. Metodologija, metody, modeli. Ministerstvo oborony USSR, 1989. 656 p. (In Russ.).
10. Raschesova A.G. [Load characteristic in assessing the effectiveness of the network of PD and its technical operation of the system]. *Tehnika sredstv svyazi – Inteltech*. 1990. no. 10. pp. 68–79. (In Russ.).
11. Rekomendacija MSJe-T E.802. Principy i metodiki opredelenija i primeneniya parametrov QoS [Principles and methods of determination and application of QoS parameters]. Oficial'nyj sajt Mezhdunarodnogo sojuza jelektrosvjazi [Official web site of International Telecommunication Union]. Available at: [www.itu.int](http://www.itu.int). (accessed 26.10.2013). (In Russ.).
12. Rekomendacija MSJe-T E.800. Opredelenie terminov, odnosjashhhsja k kachestvu obsluzhivaniya [Definition of terms relating to the quality of service]. Oficial'nyj sajt Mezhdunarodnogo sojuza jelektrosvjazi [Official web site of International Telecommunication Union]. Available at: [www.itu.int](http://www.itu.int). (accessed 26.10.2013). (In Russ.).
13. Rekomendacija MSJe-T E.430. Sistema kachestva obsluzhivaniya [System of service quality]. Oficial'nyj sajt Mezhdunarodnogo sojuza jelektrosvjazi [Official web site of International Telecommunication Union]. Available at: [www.itu.int](http://www.itu.int). (accessed 26.10.2013). (In Russ.).
14. Rekomendacija MSJe-T I.350. Osnovnye polozhenija kachestva obsluzhivaniya i proizvoditel'nosti seti v cifrovyh setjah, vkljuchaja CSIO [Main provisions of service quality and network performance in digital networks, including ISDN]. Oficial'nyj sajt Mezhdunarodnogo sojuza jelektrosvjazi [Official web site of International Telecommunication Union]. Available at: [www.itu.int](http://www.itu.int). (accessed 26.10.2013). (In Russ.).
15. Rekomendacija MSJe-T G.1010. Kategorii kachestva obsluzhivaniya konechnogo pol'zovatelja [Categories of service quality of end-user]. Oficial'nyj sajt Mezhdunarodnogo sojuza jelektrosvjazi [Official web site of International Telecommunication Union]. Available at: [www.itu.int](http://www.itu.int). (accessed 26.10.2013). (In Russ.).
16. Ronzhin A.L., Karpov A.A., Li I.V. *Rechevoj i mnogomodal'nyj interfejsy* [Speech and multimodal interfaces]. M.: Nauka, 2006. 173 p. (In Russ.).
17. Saitov I.A. *Osnovy teorii postroenija zashhishhennyh mul'tiprotokol'nyh opticheskikh transportnyh setej telekommunikacionnyh sistem* [Fundamentals of the theory of building secure multiprotocol optical transport networks of telecommunication systems]. Orel: Akademija FSO Rossii, 2008. 220 p. (In Russ.).
18. Smirnov A.V., Pashkin M.P., Shilov N.G., Levashova T.V. [Approach to building distributed systems intelligent decision support in an open information environment]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2007. vol. 4. pp. 36–49. (In Russ.).
19. Stepanov S.N. *Osnovy teletrafika mul'tiservisnyh setej* [Fundamentals of teletraffic of multiservice networks]. M.: Jeko-Trendz, 2010. 392 p. (In Russ.).
20. Timofeev V.F. i dr. [Conceptually mathematical model of the communication network] *Informacija i kosmos – Infocosmo* 2004. no. 3. pp. 55–60. (In Russ.).
21. Fraj O. *Detecting Lies and Deceit*. Wiley-Blackwell. 2000. 276 p. (Russ. ed.: Ershova A., Isakova O., Kulakov A., Mironov N., Smirnov A. *Detekcija lzhi i obmana*. SPb.: Prajm-Evroznak, 2005. 320 p. (In Russ.)).
22. Caregorodcev A.V., Kislicyn A.S. *Osnovy sinteza zashhishhennyh telekommunikacionnyh sistem* [Basics synthesis of protected telecommunication systems] M.: Radiotekhnika, 2006. 256 p. (In Russ.).



23. Cybizov A.A. [Estimation of efficiency of communication networks]. Sbornik. *Vestnik RGRU – Herald of RSREU*. 2009. vol. 3(29). pp. 19–24. (In Russ.).
24. *Krinidis S., Buciu I., Pitas I.* Facial expression analysis and synthesis: A survey. In 10th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2003). 2003. pp. 22–27.

**Басов Олег Олегович** — к-т техн. наук, докторант Академии ФСО России. Область научных интересов: обработка и кодирование речевых и иконических сигналов, проектирование полимодальных инфокоммуникационных систем. Число научных публикаций — 135. [Oobasov@mail.ru](mailto:Oobasov@mail.ru); Академия ФСО России, Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; п.т. +79192011897. Научный консультант — И.А. Сaitов.

**Basov Oleg Olegovich** — Ph.D., Doctoral of the Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: processing and coding of speech and iconic signals, polymodal infocommunicational systems design. Number of scientific publications — 135. [oobasov@mail.ru](mailto:oobasov@mail.ru); Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitelnaya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone +79192011897. Scientific adviser – Saitov I.A.

**Сaitов Игорь Акрамович** — д-р техн. наук, профессор, начальник факультета Академии ФСО России. Область научных интересов: анализ и синтез инфокоммуникационных сетей и систем. Число научных публикаций — 160. [Akramovish@mail.ru](mailto:Akramovish@mail.ru); Академия ФСО России, Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; п.т. +79103034668.

**Saitov Igor Akramovich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, dean, Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: analysis and synthesis of infocommunicational networks and systems. The number of publications — 160. [Akramovish@mail.ru](mailto:Akramovish@mail.ru); Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitelnaya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone +79103034668.

## РЕФЕРАТ

### *Басов О.О., Саитов И.А.* **Качество функционирования и эффективность полимодальных инфокоммуникационных систем.**

Основой новой теории полимодальных инфокоммуникационных систем является количественная оценка степени достижения заданных целей ее функционирования. В статье во взаимосвязи рассмотрены два аспекта оценки эффективности функционирования инфокоммуникационных систем: внешний и внутренний.

Первый аспект заключается в определении того вклада в достижение цели метасистемы (системы управления), который вносит полимодальная инфокоммуникационная система. Во втором случае осуществляется оценка того, насколько близко количественные значения функциональных характеристик полимодальных инфокоммуникационных систем соответствуют требуемым (или потенциально возможным) значениям.

Внешняя эффективность определена как максимальное отклонение качества функционирования полимодальной инфокоммуникационной системы от расчетного значения при ограничении на приведенные затраты на ее построение и эксплуатацию. Интеграция информационных и телекоммуникационных систем при формировании системотехнического облика полимодальных инфокоммуникационных систем обусловила выбор в качестве показателей качества: целостности, своевременности и производительности. На основе их формального представления в качестве обобщенного показателя эффективности предложена удельная себестоимость полимодальной инфокоммуникационной системы.

Показано, что при заданной удельной себестоимости транспортной инфраструктуры (сети передачи данных) и ограничении приведенных затрат на обработку информации внешнюю эффективность полимодальных инфокоммуникационных систем будет определять степень обеспечения целостности полимодальной информации.

Необходимость согласования производительностей источника полимодальной информации и пропускной способности сети передачи данных обусловила целесообразность введения единицы канального ресурса и выбора ее в качестве показателя внутренней эффективности. Его использование позволяет увеличить вариативность решения задач синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем, однако требует проведения дополнительных теоретических исследований возможности организации необходимого числа единиц канального ресурса.

## SUMMARY

### *Basov O.O., Saitov V.A.* **Functioning quality and effectiveness of polymodal infocommunicational systems.**

The basis of a new theory of polymodal infocommunication systems is the quantitative evaluation of the degree of achievement of intended purposes of its functioning. In reference to each other two aspects of functioning performance evaluation of the infocommunication systems: external and internal are discussed in the article.

The first aspect lies in the fact to determine the contribution to the achievement of purpose of metasystem (control system), which introduces a polymodal infocommunication system. In the second case is an assessment of how close the quantitative values of the functional characteristics of polymodal infocommunication systems meet required (or potentially possible) values.

External efficiency is defined as the maximum deviation of the functioning quality of polymodal infocommunicational system from rated value when restricted to the reduced costs of its construction and operation. Integration of information and communication systems in the formation of circuit analysis appearance infocommunication systems led to selection as indicators of quality: integrity, timeliness and production. On the basis of their formal representation as a generalized indicator of efficiency a polymodal infocommunication system's unit cost is proposed.

It is shown that at a given unit cost of transport infrastructure (data network) and the limitation of reduced expenditures on information processing efficiency of polymodal infocommunication systems will determine the degree of integrity of polymodal information.

Availability of polymodal information source rate coordination and network capacity have required introducing unit channel resource and selecting it as an indicator of internal efficiency. Its use can increase the variability of solving synthesis polymodal infocommunication systems, however, it requires additional theoretical studies of the possibility of organizing the required number of channel provision units.