

УДК 621.391:004.9

О.О. Басов, С.П. Богданов, Д.А. Струев

## Методика выбора аппаратно-программных средств для построения абонентских терминалов полимодальной инфокоммуникационной системы

Представлен научно-методический инструментарий синтеза функциональных структур одно-модальных и многомодальных абонентских терминалов полимодальных инфокоммуникационных систем, в том числе с резервированием. Для оптимального выбора программно-аппаратных средств реализации данных структур показана целесообразность использования обобщенного показателя, учитывающая технические характеристики, стоимость и техническую совместимость функциональных элементов.

**Ключевые слова:** полимодальная инфокоммуникационная система, абонентский терминал, многомодальный интерфейс, функциональная структура, аппаратно-программные средства.

Во время традиционной межличностной коммуникации люди почти всегда взаимодействуют *многомодально*, используя вербальные и невербальные каналы [1]. Анализ существующих многомодальных интерфейсов, их основных характеристик и областей применения, а также результатов общих исследований в области многомодального взаимодействия [2–7] позволил сделать вывод о возможности и необходимости максимального приближения процесса взаимодействия абонентов через инфокоммуникационную систему к традиционной межличностной коммуникации. В настоящее время существуют объективные предпосылки для отказа от принципов разделения передаваемой информации на услуги связи и реализации *полимодальных инфокоммуникационных систем* (ПИКС).

Указанный подход предполагает использование абонентских терминалов, реализующих многомодальные архитектуры (рис. 1) [6]. Выбор аппаратно-программных средств для их построения при заданной информационно-алгоритмической структуре представляет собой сложную научно-техническую задачу и требует решения, обеспечивающего максимум некоторого обобщенного показателя эффективности [8, 9].

В качестве частных показателей для выбора оборудования при построении абонентского терминала ПИКС могут использоваться:

- технические характеристики, наиболее важные для оборудования конкретной ПИКС;
- надежность;
- массогабаритные характеристики оборудования;
- соответствие специфическим требованиям заказчика (наличие сертификатов, опыт применения в других проектах, особенности программного обеспечения и т.п.);
- перспективы выпуска данной серии оборудования, совместимость с другими сериями;
- стабильность технической поддержки производителя;
- наличие максимально полной технической документации;
- стоимостные характеристики и др.

Необходимо отметить, что конкретный набор показателей для выбора технических средств абонентских терминалов определяется спецификой создаваемой ПИКС. При этом для различных типов абонентских терминалов степень важности каждого из указанных показателей различна.

По результатам проведенной оценки по выбранным показателям может быть выбрано небольшое число типов оборудования, которое наиболее соответствует всем предъявляемым требованиям и сопоставимо друг с другом по эксплуатационным показателям. Из этих оставшихся вариантов необходимо выбрать наиболее приемлемый с точки зрения технических и эксплуатационных показателей вариант для данной ПИКС.

Целью работы является разработка методики выбора аппаратно-программных средств для построения абонентских терминалов на основе совокупности моделей и алгоритмов синтеза их функциональной структуры [10–13].

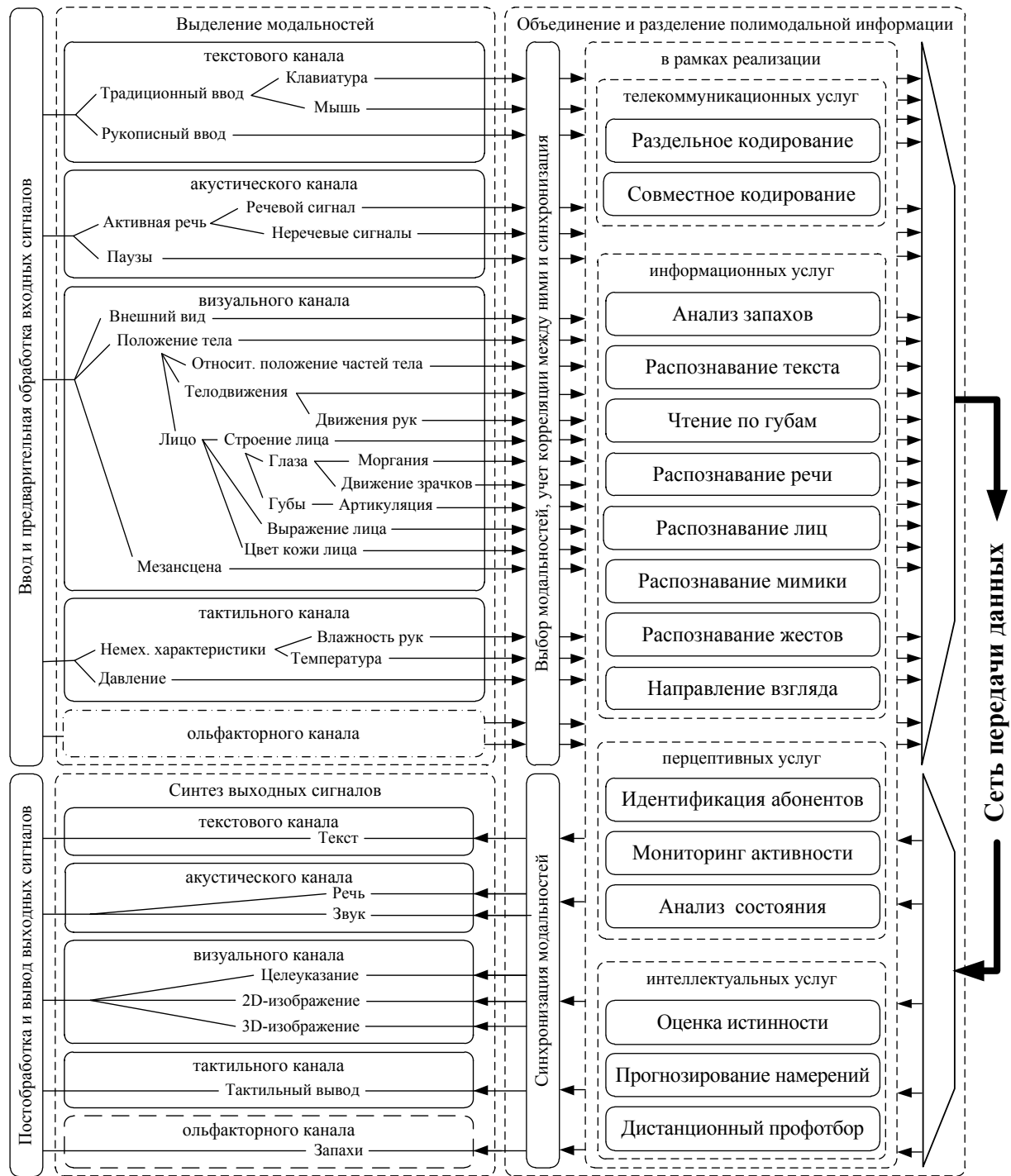


Рис. 1. Информационно-алгоритмическая структура абонентского терминала ПИКС

**Синтез функциональной структуры абонентского терминала ПИКС.** В [9] предложено представлять архитектуру ПИКС с помощью графа [14], у которого вершины соответствуют множеству структурных элементов (узлов), а ребра – связям между ними. Пример такого представления входного одномодального интерфейса абонентского терминала представлен ниже (рис. 2, а).

Множество вершин графа для каждого функционального элемента (узла) абонентского терминала обусловлено совокупностью программно-аппаратных средств, выполняющих соответствующие функции. Ребра в общем случае последовательно соединяют все вершины, определяя возможность полного перебора.

Для оптимального выбора программно-аппаратных средств целесообразно применять обобщенный показатель, учитывающий технические характеристики  $E_{ij}$  (в общем случае – результат

свертки частных показателей, характеризующих отдельные технические и массогабаритные характеристики и надежность), стоимость  $C_{ij}$  и коэффициент технической совместимости  $T_{ij}$  [15]:

$$k_{ij} = \frac{E_{ij}^{\text{норм}} \cdot C_{ij}^{\text{норм}}}{T_{ij}}, \quad (1)$$

где  $j$  – номер блока (группы функциональных элементов) в структуре абонентского терминала ( $j = 1 \dots 5$ );  $i = 1 \dots M$  – номер функционального элемента (узла) в  $j$ -м блоке (группе узлов);  $M$  – максимальное число структурных элементов одного типа блоков;  $E_{ij}^{\text{норм}}$ ,  $C_{ij}^{\text{норм}}$  – нормированные значения технических характеристик и стоимости  $i$ -го элемента  $j$ -го блока соответственно;  $k_{ij}$  – вес ребра к  $i$ -му элементу  $j$ -го блока.

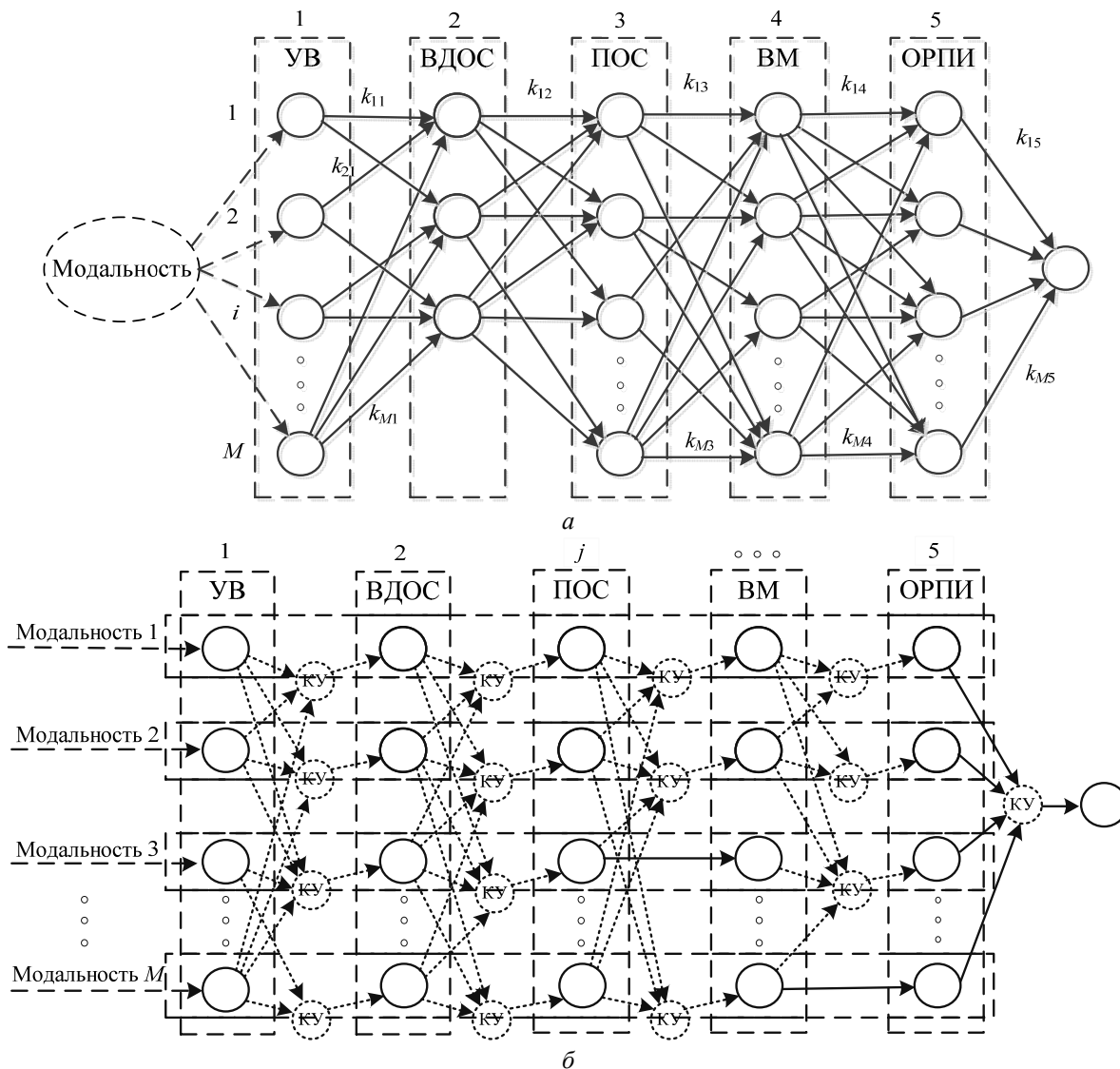


Рис. 2. Граф функциональной структуры одномодального (а) и многомодального (б) интерфейса абонентского терминала: УВ – устройства ввода; ВДОС – ввод и дистанционная обработка сигналов; ПОС – предварительная обработка сигналов; ВМ – выделение модальностей; ОРПИ – объединение и разделение полимодальной информации; КУ – коммутационный узел

Значение коэффициента технической совместимости, определяющей соответствие двух сопрягаемых структурных элементов ( $j$ -го и  $(j-1)$ -го блоков) и их инцидентность элементам информационно-алгоритмической структуры находится экспертным путем в диапазоне  $T_{ij} \in (0; 1]$ . При этом на практике чаще всего применяются методы экспертных оценок, основанные на учете мнений спе-

циалистов [16]. Наиболее предпочтительным при определении технической совместимости является метод непосредственной оценки, позволяющий не только провести ранжирование элементов, но и присвоить им численные значения. В случае полной совместимости  $T_{ij} = 1$  при невозможности сопряжения двух структурных элементов в графе ( $T_{ij} = 0$ ) будет отсутствовать ребро между ними.

Минимизация  $l_{ij} \leftarrow \min(k_{ij} + l_{ij-1})$ , где  $l_{ij}$  – сумма весов обобщенных показателей (1) на маршруте от последнего узла ко всем первым, позволяет оптимизировать структуру абонентского терминала ПИКС с учетом требований к техническим характеристикам, стоимости и совместимости различных функциональных элементов (узлов).

При необходимости функциональная структура абонентского терминала ПИКС может быть представлена с большей степенью детализации (большим числом программно-аппаратных средств), техническая совместимость формализована в виде отдельных параметров, а обобщенный показатель (1) расширен другими техническими характеристиками функциональных элементов.

Для оптимизации функциональной структуры абонентского терминала ПИКС по каждой модальности целесообразно использовать алгоритм поиска кратчайшего пути [15, 17]. Проведенный анализ существующих алгоритмов поиска кратчайших путей указал на целесообразность использования в рассматриваемом графе (рис. 2, а), содержащем  $n$  вершин и  $m$  ребер при  $k_{ij} > 0$  и  $m > n$ , алгоритма Дейкстры.

С учетом введенных обозначений и критерия (1) графом могут быть представлены и многомодальные интерфейсы абонентских терминалов [12]. Учитывая монотонность измеряемых параметров отдельных модальностей и единство их представления, появляется возможность их периодического измерения. С учетом этого предлагается для снижения структурной избыточности многомодальных интерфейсов абонентских терминалов ПИКС использовать одни и те же однотипные функциональные элементы (узлы) в схемах обработки сигналов различных модальностей, осуществляя их последовательную коммутацию (рис. 2, б).

Для оптимизации функциональной структуры (рис. 2, б) предложен модифицированный алгоритм Дейкстры (рис. 3). Исходными данными для его работы являются: матрица весов вершин  $K = \{k_{ij}\}$ , где  $k_{ij}$  – значения обобщенного показателя (1), и  $Y = \{y_{ijz}\}$  – матрица смежности, где  $y_{ijz}$  принимает значения 0 (связь отсутствует) или 1 (связь есть) между вершинами шагов  $j$  и  $(j-1)$ ,  $i$  и  $z$  – порядковые номера узлов на шагах. К основным этапам функционирования алгоритма (см. рис. 3) относятся:

I – получение матрицы маршрутов  $Tr = \{Tr_{ij}\}$ , обеспечивающих минимальные значения весов пути для всех вершин графа;

II – восстановление массива оптимальных маршрутов  $Op = \{Op_{ij}\}$ ;

III – удаление узлов графа, соответствующих коммутационным узлам с одним входом;

IV – формирование матрицы коммутаций  $Mk = \{Mk_{ij}\}$ , определяющей режимы работы коммутационных узлов.

Первые два этапа соответствуют выполнению классического алгоритма поиска кратчайших путей (алгоритм Дейкстры) [14], а реализация третьего позволяет получить оптимальные маршруты  $Op$ , не содержащие коммутационные узлы с одним входом; на четвертом – формируется матрица коммутаций, в соответствии с которой определяется таблица динамической адресации коммутационных узлов.

Практическое использование разработанного алгоритма [13] позволяет снизить структурную избыточность абонентских терминалов приблизительно на 30%, обеспечив при этом выигрыш по обобщенному показателю в 2,3 раза [12].

При анализе решений, получаемых на основе предложенных алгоритмов оптимизации (классического модифицированного алгоритмов Дейкстры), возможны ситуации, когда с точки зрения эксперта полученная функциональная структура будет содержать ненадежные (плохо совместимые) узлы. Их исключение обуславливает необходимость анализа исходных структур (см. рис. 2) на наличие резервных маршрутов (рис. 4).

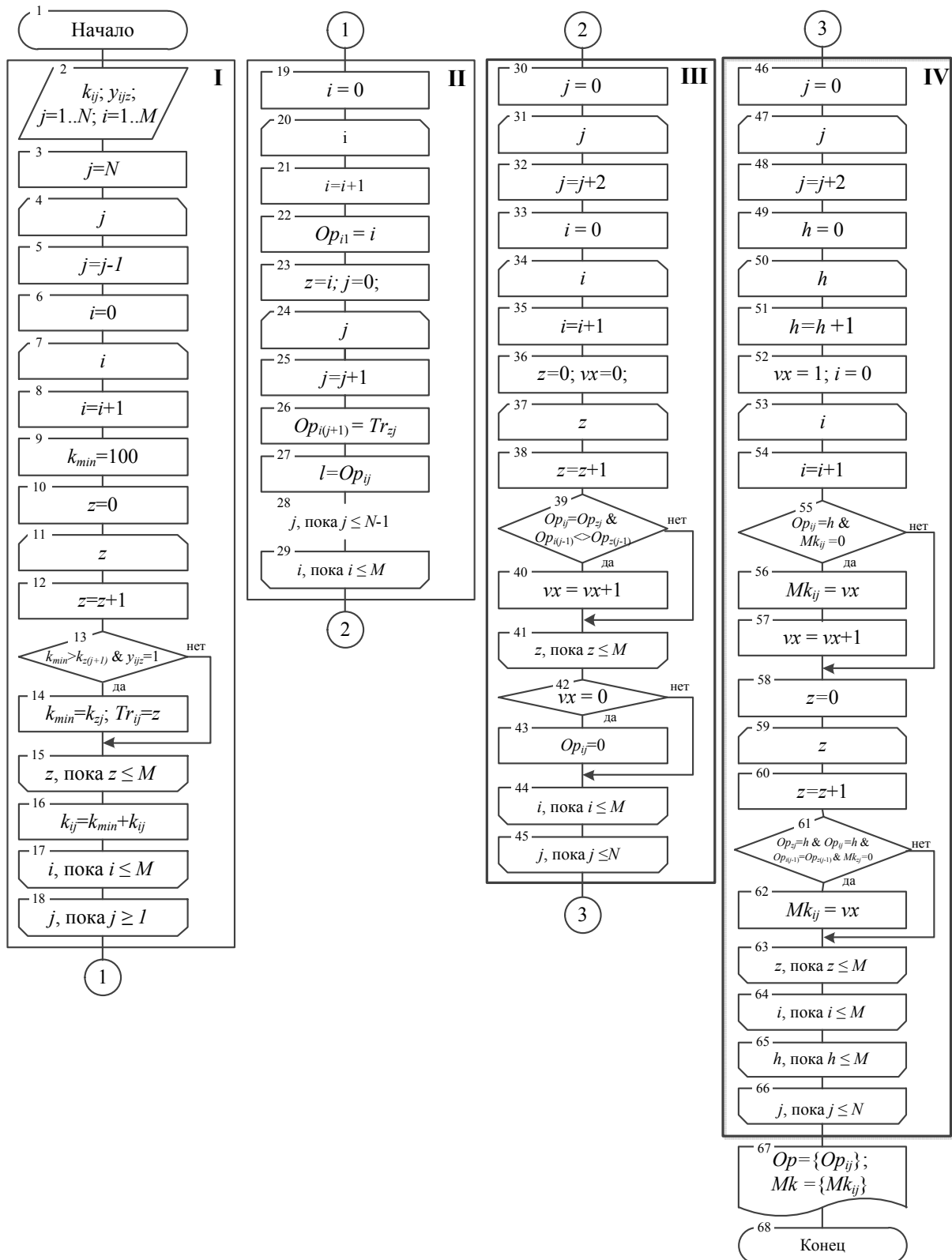


Рис. 3. Алгоритм оптимизации функциональной структуры многомодального абонентского терминала

Разработанный алгоритм (см. рис. 4) позволяет строить оптимальные маршруты  $Op$  с обходом всех узлов исходной структуры и использует (блоки 2 и 11) алгоритм оптимизации функциональной структуры (см. рис. 3). Результаты его работы могут быть использованы для формирования функциональной структуры многомодального абонентского терминала на основе экспертной оценки, либо для построения таких структур с резервированием.

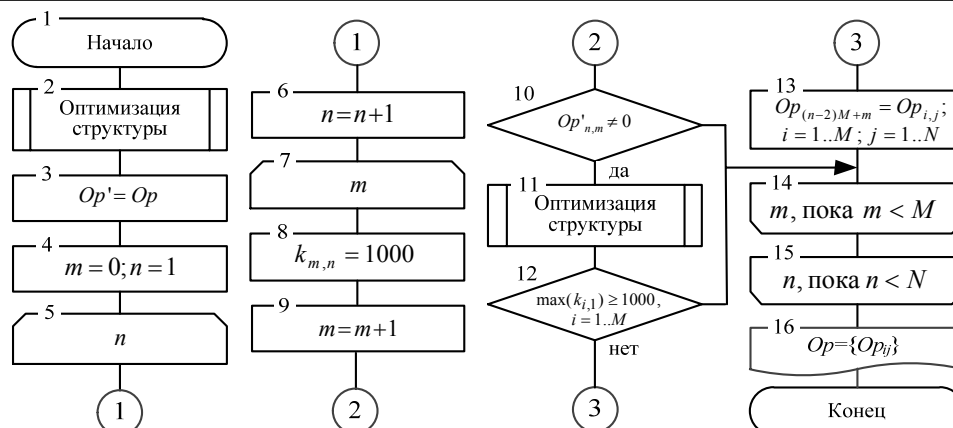


Рис. 4. Алгоритм оптимизации функциональной структуры абонентских терминалов с резервированием

**Заключение.** Представленный научно-методический аппарат позволяет представить методику выбора аппаратно-программных средств для построения оконечных абонентских терминалов ПИКС на основе:

- алгоритма Дейкстры – для оптимизации функциональной структуры абонентского терминала ПИКС по каждой модальности;
- алгоритма (рис. 3) – для оптимизации функциональной структуры многомодального абонентского терминала ПИКС;
- алгоритма (см. рис. 4) – для оптимизации функциональной ПИКС с резервированием.

Исходными данными для нее являются матрица весов вершин  $K = \{k_{ij}\}$  и матрица смежности  $Y = \{y_{ijz}\}$ , определяемые информационно-алгоритмической структурой абонентского терминала [18] и номенклатурой используемых программно-аппаратных средств. Результат выполнения позволяет реализовать функциональную структуру одномодального или многомодального интерфейса (в том числе с резервированием) на основе построенных оптимальных маршрутов  $Op$ .

Таким образом, представленная методика определяет один из основных этапов синтеза ПИКС и позволяет достаточно обоснованно решать проблему выбора программно-аппаратных реализаций для конструирования одномодальных и многомодальных абонентских терминалов.

#### Литература

1. Басов О.О. Основные каналы межличностной коммуникации и их проекция на инфокоммуникационные системы / О.О. Басов, И.А. Сайтов // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 7 (30). – С. 122–140.
2. Ронжин А.Л. Многомодальные интерфейсы: основные принципы и когнитивные аспекты / А.Л. Ронжин, А.А. Карпов // Труды СПИИРАН. – 2006. – Вып. 3, т. 1. – С. 300–319.
3. Ронжин А.Л. Речевой и многомодальные интерфейсы / А.Л. Ронжин, А.А. Карпов, И.В. Ли. – М.: Наука, 2006. – 173 с.
4. Карпов А.А. Когнитивные исследования ассистивного многомодального интерфейса для бесконтактного человеко-машинного взаимодействия // Информатика и ее применения. – 2012. – Т. 6, № 2. – С. 77–86.
5. Мещеряков Р.В. Диалог как основа построения речевых систем / Р.В. Мещеряков, В.П. Бондаренко // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – № 2. – С. 30–46.
6. Басов О.О. Методологические основы синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем государственного управления / О.О. Басов, А.А. Карпов, И.А. Сайтов. – Орёл: Академия ФСО России, 2015. – 277 с.
7. Костюченко Е.Ю. Структура и база данных программного обеспечения оценки качества и разборчивости речи в процессе реабилитации после операции при лечении рака полости рта и ротоглотки, челюстнолицевой области / Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков, Л.Н. Балацкая, Е.Л. Чойнзонов // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 1 (32). – С. 116–124.
8. Басов О.О. Критерий оптимизации структуры автономных средств измерения параметров невербальных сигналов / С.П. Богданов, О.О. Басов // Современные материалы, техника и технология: матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. / Отв. ред. А.А. Горохов: в 3 т. – Т. 2. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – С. 72–75.

9. Мещеряков Р.В. Структура систем синтеза и распознавания речи // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. № 5. – С. 127–132.
10. Басов О.О. Оптимизация структур средств сбора и регистрации данных / О.О. Басов, С.П. Богданов // Сборник трудов Всерос. науч.-техн. конф. «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения». Ч. II / под общ. ред. В.В. Алейника, К.Е. Легкова, В.Д. Боева и др.; ответст. за вып.: С.В. Чернышев. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – С. 265–271.
11. Богданов С.П. Снижение энергопотребления беспроводных электронных датчиков / С.П. Богданов, О.О. Басов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. науч. тр. 11-й Междунар. науч.-практ. конф. (19–21 марта 2014 г.) / отв. ред. А.А.Горохов: в 4 т. – Т. 1. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 186–189.
12. Басов О.О. Применение методов теории графов для проектирования средств измерения тактильных параметров / О.О. Басов, С.П. Богданов, А.А. Иванов // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 2(33). – С. 248–258.
13. Богданов С. П. Программа оптимизации структуры цифрового устройства / С.П. Богданов, О.О. Басов, Д.А. Гуляйкин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616099 от 26.06.2013.
14. Свами Г. Графы, сети и алгоритмы / Г. Свами, К. Тхуласираман; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
15. Ланнэ А.А. Многокритериальная оптимизация / А.А. Ланнэ, Д.А. Уханович. – Л.: ВАС, 1984. – 94 с.
16. Кукушкин А.А. Теоретические основы автоматизированного управления. – Ч. 1: Основы анализа и оценки сложных систем: учеб. пособие. – Орел: ВИПС, 1998. – 254 с.
17. Домнин Л.Н. Элементы теории графов: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. – 144 с.
18. Бондаренко В.П. Обработка речевых сигналов в задачах идентификации / В.П. Бондаренко, А.А. Конев, Р.В. Мещеряков // Изв. высш. учеб. завед. Физика. – 2006. – Т. 49, № 9. – С. 207–210.

---

**Басов Олег Олегович**

Канд. техн. наук, докторант Академии ФСО России  
Тел.: 8 (486-2) 54-95-33  
Эл. почта: oobasov@mail.ru

**Богданов Сергей Петрович**

Канд. техн. наук, преподаватель Академии ФСО России  
Тел.: 8 (486-2) 54-94-50  
Эл. почта: spbogdanov@mail.ru

**Струев Дмитрий Александрович**

Сотрудник Академии ФСО России  
Тел.: 8 (486-2) 54-97-34  
Эл. почта: dastruev@mail.ru

Basov O.O., Bogdanov S.P., Struev D.A.

**Methods of hardware and software selecting for constructing subscriber terminals of polymodal infocommunication system**

The paper presents scientific and methodological tools for the functional structure synthesis of singlemodal and multimodal subscriber terminals of polymodal infocommunication systems, including a redundancy. For the optimal choice of software and hardware implementation of these structures it is useful to use the generalized index which takes into account the technical characteristics, cost and technical compatibility of functional elements.

**Keywords:** polymodal infocommunication system, subscriber terminal, multimodal interface, functional structure, hardware and software.