

*На правах рукописи*



Бейлекчи Дмитрий Владимирович

**АЛГОРИТМЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ  
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СТРУКТУР ОПЕРАТИВНО-  
КОМАНДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства  
телекоммуникаций

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Владимир - 2018

Работа выполнена на кафедре «Электроника и вычислительная техника» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Научный руководитель:

**Кропотов Юрий Анатольевич**

Доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой «Электроника и вычислительная техника» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.

Официальные оппоненты:

**Битюков Владимир Ксенофонтович**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической радиотехники и радиофизики Московского технологического университета, г. Москва.

**Кисляков Алексей Николаевич**

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий Владимирского филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Владимир.

Ведущая организация:

АО «Научно-производственное предприятие «Звукотехника», г. Муром.

Защита состоится « 18 » сентября 2018 г. в 14<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета Д.212.025.04 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», расположенного по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, РТ и РС.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» и на сайте <http://diss.vlsu.ru>.

Автореферат диссертации разослан « 20 » июня 2018 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, каф. РТ и РС, Самойлову А.Г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д212.025.04.  
доктор технических наук, профессор



А.Г. Самойлов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Современный этап развития систем телекоммуникаций аудиообмена и оперативно-командных систем громкоговорящей связи характеризуется постоянным совершенствованием технологий и возрастающими требованиями к повышению эффективности и надежности обмена информацией в создаваемых системах. При этом обеспечивается более эффективный обмен речевыми сигналами, эффективная и надежная передача данных, передача видео, передача телеметрической и другой информации, при повышенных требованиях к обеспечению достоверности обмена информацией в телекоммуникационной системе, а также к обеспечению минимальной задержки на установление соединений и конфигурированию программно-аппаратных структур с высокой размерностью. Поэтому основными задачами при создании оперативно-командных систем громкоговорящей связи являются задачи оптимизации их структуры, протоколов связи, программных алгоритмов, а также структуры аппаратной части систем по различным критериям, например, по критерию повышения эффективности и надежности передачи информации в условиях помех.

Решение таких задач рассматривается в работах известных авторов: А.А. Амосов, А. Вальд, Р. Кини, Р. Клемен (R. Clemen), О.И. Ларичев, В.Д. Ногин, А.И. Орлов, Т. Л. Саати, Дж. К. Смит (J.Q. Smith), А.Н. Тихонов, С. Ханссон (S. Hansson), и предполагает разработку и создание сложных, зачастую многоуровневых, систем поддержки принятия решений, базирующихся на математических моделях, обеспечивающих учет большого количества параметров и критериев, и характеризуется значительными вычислительными затратами и высокой стоимостью разработки.

В настоящее время всё большее внимание уделяется разработке гибридных подходов к многокритериальному анализу сложных систем, основанных на «мягких» вычислениях и реализующих совместное применение различных методов искусственного интеллекта, позволяющих сформировать новую информационную технологию, важную роль в которой играют знания предметной области конкретной прикладной задачи (В.В. Борисов, А.И. Галушкин, В.В. Круглов, А.В. Кузьмин, Ю.Н. Минаев, М. Пилиньский, А.П. Ротштейн, Д. Рутковская, Л. Рутковский, А.А. Усков, О.Ю. Филимонова, А.С. Федулов, Н.Г. Ярушкина). При этом этапы решения задачи и результаты определяются текущим состоянием базы знаний, а не каким-либо «жестким» алгоритмом моделирования. К таким методам, в

первую очередь, относятся методы, основанные на применении теории нечетких множеств и теории генетических алгоритмов.

**Объект исследования** – программно-аппаратная структура систем телекоммуникаций, оперативно-командных систем, а также громкоговорящих систем связи и оповещения.

**Предмет исследования** – методы, модели и алгоритмы принятия решений при создании программно-аппаратной структуры систем телекоммуникаций.

**Цель диссертационной работы** – разработка алгоритмов формирования структур программно-аппаратного обеспечения для повышения эффективности процесса проектирования и качества функционирования оперативно-командных систем громкоговорящей связи и оповещения.

Для достижения сформулированной цели были поставлены и решены **следующие задачи**:

1. Формирование оценок вариантов программно-аппаратных систем и исследование методов и моделей, применяемых для представления структурных решений.

2. Разработка модели программно-аппаратной структуры и математического описания алгоритма принятия решений системы телекоммуникаций обмена информацией.

3. Разработка алгоритма принятия решений по формированию структуры программно-аппаратных систем с повышенной надежностью обмена информацией.

4. Разработка функциональной схемы системы обмена информацией на основе алгоритма формирования программно-аппаратной структуры с учетом многокритериального и многопараметрического характера решения задачи.

5. Исследование возможностей применения созданных алгоритмов при разработке программно-аппаратной структуры устройств оперативно-командных систем громкоговорящей связи и оповещения.

**Методы исследования** базируются на теории систем и системного анализа, теории массового обслуживания, методах параметрической оптимизации, теории принятия решений, теории нечетких множеств, теории нейронных систем.

**Научная новизна и теоретическая значимость** полученных результатов заключается в том, что разработаны:

1. Математическое описание алгоритма многокритериального формирования программно-аппаратной структуры системы телекоммуникаций и алгоритм определения критериев оценки структуры.

2. Алгоритм принятия решений по оценке конфигурации оперативно-командной системы громкоговорящей связи.

3. Методика создания программного обеспечения системы принятия решений по формированию программно-аппаратной структуры эффективного обмена информацией.

**Практическая значимость результатов диссертационных исследований** заключается в том, что:

1. Применение разработанных алгоритмов позволило повысить эффективность процесса проектирования и качество функционирования устройств систем телекоммуникаций с обеспечением синхронизации разделенных каналов передачи информации.

2. Разработанный алгоритм определения критериев принимаемых решений позволяет определить аппаратные и программные параметры, необходимые для формирования структуры программно-аппаратных систем.

3. Разработанный алгоритм оценки принятия решений по конфигурации структур устройств систем телекоммуникаций обеспечивает выбор элементной базы на этапе технического предложения.

4. Разработанный программный комплекс позволяет решать задачи поддержки принятия решений по конфигурированию программно-аппаратных структур систем с высокой размерностью и наличием дискретных неоднородных критериев. При этом алгоритмы обеспечивают оценку близкую к экспертной с погрешностью не более 15%.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивается применением апробированных методов и подтверждается их согласованностью с экспериментальными данными, полученными при проектировании программно-аппаратной структуры устройств и систем громкоговорящей связи.

**Результаты диссертационной работы внедрены:**

– при разработке технического предложения ОКР по теме «Корабельная оперативно-командная телекоммуникационная система связи с использованием сетевых технологий»;

– при выполнении ОКР «Разработка модификации комплекса оперативно-командной громкоговорящей и телефонной связи КТС-01ЦС с функциями сопряжения с цифровыми сетями»;

– в учебном процессе, в ходе курсового и дипломного проектирования по направлению подготовки бакалавров «Информатика и вычислительная техника» в Муромском институте (филиале) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждены соответствующими актами.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались на международных и Всероссийских конференциях и опубликованы в материалах и сборниках тезисов докладов: конференции Муромского института Владимирского государственного университета (г. Муром, 2004-2012 гг.); I – IV Всероссийских научных Зворыкинских чтениях «Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России» (г. Муром, 2009-2017 гг.); XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов (г. Рязань, 2007 г.); Международной молодежной научной конференции Туполевские чтения (г. Казань, 2005 г.); XXXII-XXXVI Международных молодежных научных конференциях Гагаринские чтения (г. Москва, 2006-2010 г.); Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи НТТМ-2010 (г. Москва, 2010 г.).

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Предложенный алгоритм определения критериев оценки созданной структуры программно-аппаратных систем позволяет определить программные и аппаратные параметры при проектировании оперативно-командных систем громкоговорящей связи.

2. Полученный алгоритм формирования и оценки программно-аппаратной структуры устройств эффективных оперативно-командных систем телекоммуникаций, обеспечивает оценку близкую к экспертной с погрешностью не более 15%.

3. Разработанная система принятия решений по формированию программно-аппаратной структуры обмена информацией, обеспечивает повышение скорости проведения опытно-конструкторских разработок оперативно-командных систем телекоммуникаций.

**Публикации по работе.** По результатам выполненных исследований опубликовано 26 работ и материалов конференций, в том числе 5 статей в журналах перечня ВАК, 6 статей в других изданиях, 1 патент, 14 тезисов докладов.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и библиографического списка использованной литературы, содержащего 127 наименования, на 125 страницах, включая 31 рисунок и 3 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность темы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены ее научная новизна и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы и публикациях.

**В первой главе** рассмотрено современное состояние вопроса проектирования программно-аппаратной структуры систем телекоммуникаций, таких как диспетчерско-технологические, оперативно-командные системы связи, а также громкоговорящие системы оповещения. На основе анализа процесса проектирования устройств и структуры современных устройств систем телекоммуникаций определены факторы, влияющие на общую оценку вариантов структуры, и общий перечень критериев эффективности системы телекоммуникаций, а также определяется задача построения системы принятия решений по оптимизации структуры программно-аппаратных систем как многокритериальная многопараметрическая задача с нечеткой информацией.

Сформулированы основные задачи исследований.

**Во второй главе** содержатся основные теоретические результаты по обобщению известных методов решения задачи оптимального выбора и описывается разработка модели программно-аппаратной структуры устройств и систем телекоммуникаций, и построения на ее основе общей функциональной организации системы принятия решений.

Исследованы оценки критериев вариантов структур программно-аппаратных систем телекоммуникаций. На основании исследования оценок критериев делается вывод, что определять параметры, какой-либо приемлемой группы элементов структуры в отрыве от параметров другой группы не представляется возможным.

На основании исследованных методов оценивания сочетаний аппаратных и программных средств по качественным и количественным критериям, была ре-

шена задача формирования структуры программно-аппаратной системы обработки потоков данных.

В результате проведения функционального анализа проектируемой системы составляется модель системы обработки данных в целом. При проведении функциональной декомпозиции получены подфункции:

$$F_i = F_i(\{\varphi_{i1}(\delta_{i1}, v_{i1}, \mu_{i1})\}, \dots, \{\varphi_{iS}(\delta_{iS}, v_{iS}, \mu_{iS})\}, \Lambda_i, \Delta_i, \Omega_i, P_i), \quad (1)$$

где  $F_i$  – набор подфункций  $i$ -го узла.

Таким образом, в соответствии с выражением (1), получаем выражение для вычисления входного потока данных каждой подфункции в виде:

$$v_i^k = \sum_{i \neq j} \delta_{ij} \mu_j^k + \varepsilon_i' c^k, \quad i = \overline{1 \dots m}, \quad (2)$$

где:  $v_j^k$  – входной поток данных  $i$ -той подфункции на  $k$ -том этапе преобразования,  
 $\mu_i^k$  – выходной поток данных  $i$ -той подфункции на  $k$ -том этапе преобразования,  
 $\delta_{ij}$  – функция преобразования выходного потока данных  $i$ -той подфункции на  $k$ -том этапе преобразования набор данных в выходной поток данных этой же подфункции на  $(k+1)$ -ом этапе преобразования,

$\varepsilon_i$  – функция преобразования входного потока данных  $i$ -той подфункции.

Входной поток данных каждой подфункции состоит как из внешних входных данных системы, так и из выходных данных других подфункций, поэтому соотношение (2) преобразуется следующим образом:

$$\mu_i^{k+1} = \sum_{j=1}^m \delta_{ij} \mu_j^k + \varepsilon_i' c^k, \quad i = \overline{1 \dots m}, \quad (3)$$

или

$$\mu^{k+1} = \Delta \mu^k + E c^k, \quad (4)$$

где

$$\Delta = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1m} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \dots & \delta_{mm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

– матрица преобразования входных потоков данных подфункций на этапе  $k$  в выходные потоки подфункций на этапе  $k+1$ ,

$$E = \begin{bmatrix} \varepsilon_1' \\ \varepsilon_2' \\ \vdots \\ \varepsilon_m' \end{bmatrix} \quad (6)$$



– матрица преобразования входных потоков данных системы на этапе  $k$  в выходные потоки подфункций на этапе  $k+1$ ,

$c^k$  – входной поток системы на  $k$ -том этапе преобразования.

Таким образом, полученная модель позволяет разделить информацию на данные, поступающие на вход всей системы, и данные, являющиеся входными и выходными для подфункций узловых элементов.

Проведенные во второй главе исследования показали, что выполнение структурного проектирования системы заключается в распределении отдельных функций обработки данных по узловым элементам (микроконтроллерам и конфигурируемом ПЛИС) таким образом, чтобы минимизировать потоковую связность узлов между собой.

Рассмотрение проблемы нечеткого вывода, связанного с принятием решений на основе нечетких условий, а также рассмотрение проблемы построения нечетких алгоритмов и проектирования базы нечетких правил на основе численных данных должно являться основанием для разработки модели принятия решений по созданию эффективной структуры программно-аппаратных систем.

Вывод нечеткого правила относится к некоторому нечеткому множеству  $B'$ , которое определяется комбинацией нечеткого множества  $A'$  и нечеткой импликации  $A \rightarrow B$ , то есть

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B) \quad (7)$$

Нечеткая импликация  $A \rightarrow B$  равнозначна некоторому нечеткому отношению  $R \subseteq X \times Y$  с функцией принадлежности  $\mu_R(x, y)$ . Поэтому функцию принадлежности нечеткого множества  $B'$  можно представить с помощью формулы, которая записывается в виде

$$\mu_{B'}(x, y) = \sup_{x \in X} \{ \mu_{A'}(x)^T * \mu_{A \rightarrow B}(x, y) \} \quad (8)$$

В соответствии с (8) модель нечеткого управления состоит из следующих компонентов: базы правил, блока фаззификации (fuzzification), блока выработки решения, блока дефаззификации.

Также во второй главе исследуется возможность применения метода генетических алгоритмов при разработке алгоритма принятия решений по выбору оптимальной структуры аппаратно-программных систем телекоммуникаций.

Таким образом, во второй главе определены методы принятия решения по оптимальному выбору структуры программно-аппаратных систем на базе теории нечетких множеств и генетических алгоритмов.

**В третьей главе** рассмотрены вопросы исследования и разработка алгоритмов программно-аппаратных структур систем телекоммуникаций. В частности, рассмотрена разработка алгоритма и функциональной схемы системы принятия решений, основанной на нейро-нечеткой (гибридной) сети.

Рассматривается подход к проектированию алгоритмов оптимизации программно-аппаратных структур, который заключается в формулировании правил управления и функции принадлежности по результатам наблюдения за процессом управления, осуществляемым существующим регулятором, с последующим оценением корректности функционирования такой системы. Предлагается реализация модели принятия решений, на основе нечеткого управления представленного в виде нейронной сети с применением алгоритма обратного распространения ошибки:

1. База правил. Знания, составляющие основу корректного функционирования модуля нечеткого управления, записываются в виде нечеткого правила, имеющего форму

$$R^k: \text{IF } (x_1 \text{ это } A_1^k \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ это } A_n^k) \text{ THEN } (y \text{ это } B^k)$$

Если в качестве нечеткой импликации будет использоваться операция умножения, то получим формулу

$$\mu_{A^k \rightarrow B^k}(x, y) = \mu_{A^k}(x) \mu_{B^k}(y) \quad (9)$$

2. Блок вывода.

Формула, определяющая функцию принадлежности нечеткого множества  $B^k$  определяется (8). Конкретная форма этой функции зависит от применяемой  $T$ -нормы, определения нечеткой импликации и от способа задания декартова произведения нечетких множеств. Выше, в пункте 1 декартово произведение и нечеткая импликация были определены через операцию умножения. Таким образом, формула нахождения принадлежности к множеству  $B^k$  будет иметь вид:

$$\mu_{B^k}(y) = \sup_{x_1, x_2, \dots, x_n \in X} \left\{ \mu_{B^k}(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i) \mu_{A_i^k}(x_i) \right\} \quad (10)$$

3. Блок фаззификации. В блоке применяется операция типа синглетон:

$$A'(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = \bar{x} \\ 0, & \text{если } x \neq \bar{x} \end{cases} \quad (11)$$

Супремум в формуле (10) достигается только в случае, когда  $x = \bar{x}$ , то есть для  $\mu_{A_i^k}(\bar{x}) = 1$ . Тогда (10) принимает вид

$$\mu_{B^k}^-(y) = \mu_{B^k}(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(\bar{x}_i) \quad (12)$$

4. Блок дефаззификации. При применении метода дефuzzификации center average defuzzification (центральное среднее), функция выхода определяется как

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{y}^k \mu_{B^k}^-(\bar{y}^k)}{\sum_{k=1}^N \mu_{B^k}^-(\bar{y}^k)} \quad (13)$$

В приведенной формуле  $\bar{y}^k$  это центр нечеткого множества  $B^k$ , в котором  $\mu_{B^k}(y)$  достигает максимального значения.

При подстановке (12) в (13) и с учетом того, что максимальное значение, которое  $\mu_{B^k}(y)$  может достигнуть в точке  $\bar{y}^k$  равно 1, получим формулу дефаззификации:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{y}^k \left( \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(\bar{x}_i) \right)}{\sum_{k=1}^N \left( \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(\bar{x}_i) \right)} \quad (14)$$

На основании поставленных в первой главе задач и предложенной модели, была разработана функциональная схема системы, приведенная на рис. 1.

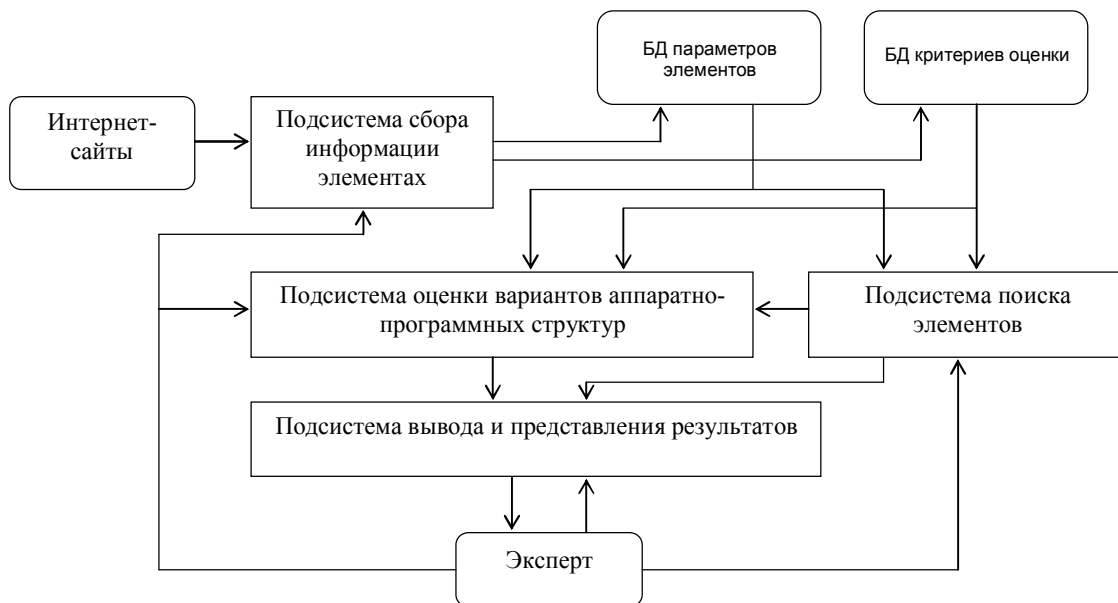


Рис. 1. Функциональная схема системы принятия решений по оптимизации программно-аппаратной структуры оперативно-командной системы связи.

Для решения поставленной задачи оптимизации, разработаны подсистемы и алгоритмы определения критериев оптимальности принимаемых решений и оценки вариантов программно-аппаратных структур.

Основным модулем подсистемы является модуль вычисления оценки, задачей которого является формирование частных и общих оценок программно-аппаратной структуры системы телекоммуникаций с учетом многокритериального и многопараметрического характера элементов структуры.

Как показали исследования в третьей главе, оценка совокупности количественных показателей сочетания  $j$ -того аппаратного и  $k$ -того программного набора и выбор на их основе набора сочетаний осуществляется в соответствии с критериями:

$$F_{j/k} = \sqrt{\sum_{\forall \Psi} \rho_i Q_{\Psi}^2}, \quad (15)$$

где  $\Psi \subset \{i,j,k\}$ ;  $i=1,n_j$ ;  $j=1,m$ ;  $k=1,s$ ;

$n_j$  - общее количество оцениваемых параметров,

$m$  - количество аппаратных наборов,

$s$  - количество программных наборов,

$\rho_i$  - критерий важности  $i$ -того параметра аппаратного набора.

При этом,

$$\sum_{\forall \Psi} \rho_i = 1; \quad Q_{\Psi} = \frac{a_{ij} - b_{ik}}{c_i} = \pm \frac{\Delta_{ij/k}}{c_i}, \quad (16)$$

где  $b_{ik}$  - требования к значению  $i$ -го параметра аппаратной компоненты со стороны  $k$ -того параметра программной компоненты для конкретного сочетания при совместном их применении.

Другой процедурой вычисления обобщенной оценки производится суммирование значения критериев, умноженных на весовые коэффициенты. Последние определяются экспертным путем. Для минимизации количества критериев используемых для вычисления оценки можно использовать закон Парето, согласно которому, в интерпретации данной задачи, на оценку системы оказывает влияние лишь небольшое множество факторов. При этом система автоматически балансирует весовые коэффициенты в зависимости от ввода эксперта таким образом, что их сумма всегда равна 1 и множество критериев можно представить в виде диаграммы Парето.

Таким образом, на основании описанных выше методов, получен алгоритм определения множества критериев оптимальности принимаемых решений, приведенный на рис. 2.

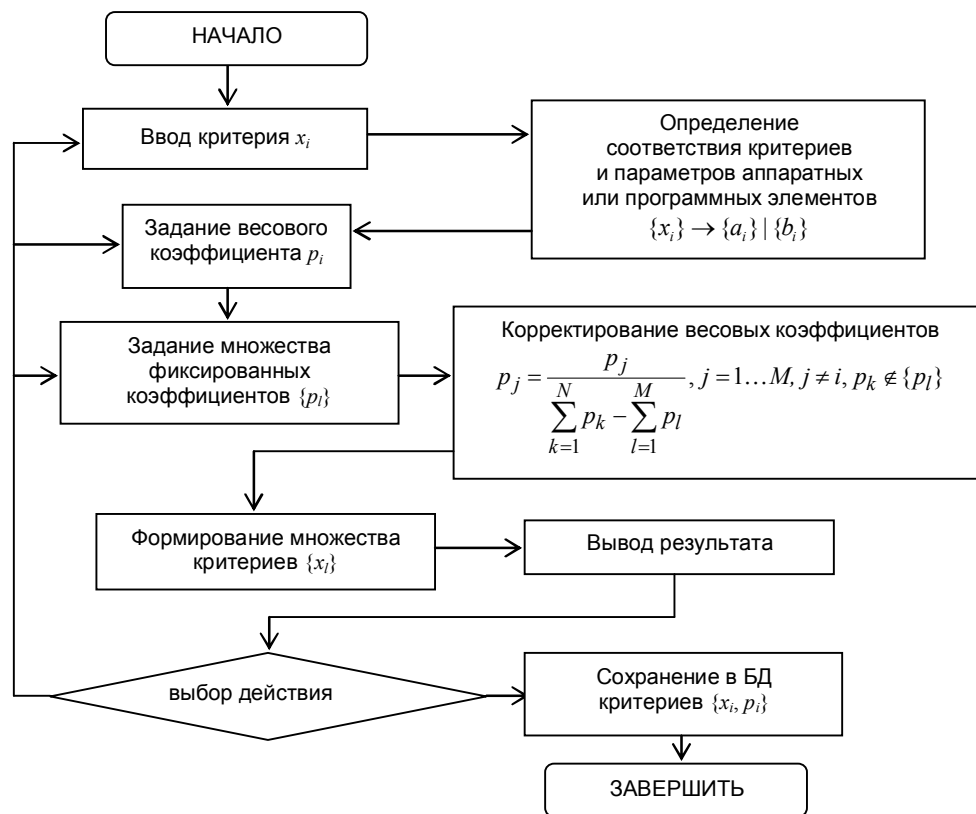


Рис. 2. Алгоритм определения критериев оценки оптимальности вариантов структуры.

На основании описанных выше подсистем и методов получен алгоритм принятия решения по оптимальной конфигурации структурных элементов телекоммуникационной системы, приведенный на рис. 3.

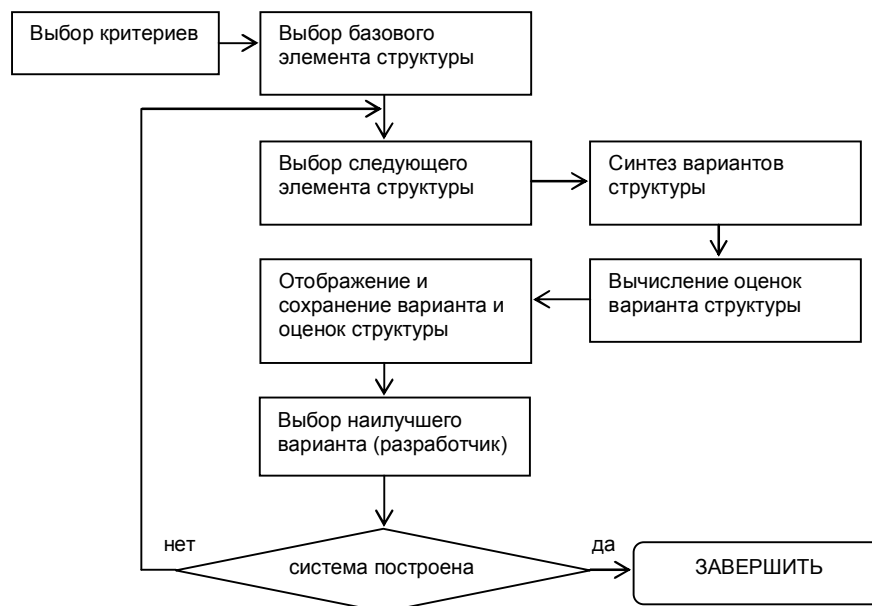


Рис. 3. Алгоритм принятия решения по оптимальной конфигурации структурных элементов оперативно-командной системы связи.

Также в третьей главе рассмотрены вопросы создания алгоритма локального анализа в структурах обмена информацией в телекоммуникационных системах.

Построение вышеуказанного алгоритма осуществляется методами локального анализа, который основывается на обработке акустических сигналов и идентификация источников излучений, диагностика состояния технических средств.

В общем случае наблюдаемый сигнал  $y(t)$  является аддитивной смесью анализируемого сигнала  $x(t)$  и случайной помехи или шума  $n(t)$ :

$$y(t) = x(t) + n(t). \quad (17)$$

Оценка сигнала при этом представляется многочленом по системе линейно независимых базисных функций  $\{\phi_l(t)\}_1^m$ :

$$\hat{x}(t) \equiv p(t) = \sum_{l=1}^m a_l \phi_l(t) = \mathbf{a}^T \boldsymbol{\phi}(t). \quad (18)$$

где  $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_m)^T$  – вектор коэффициентов многочлена.

При рассмотрении случая, когда наблюдаемыми являются выборки процесса  $y(t)$ , выражение для интерполяционного многочлена на  $j$ -м интервале имеет вид:

$$p_{j,1}(t) = \boldsymbol{\Phi}^T(t) (\boldsymbol{\Phi}_1 \mathbf{y}_j + \Lambda \mathbf{p}_{j-1}(t_{j-1,0})), \quad (19)$$

где

$$\boldsymbol{\Phi}_l = U^{-1} \left( I - H(0) (H^T(0) U^{-1} H(0))^{-1} H^T(0) U^{-1} \right) W_l \Gamma_l. \quad (20)$$

На рис. 4 представлена структура алгоритма (20) сглаживающей фильтрации наблюдаемых выборок процесса.

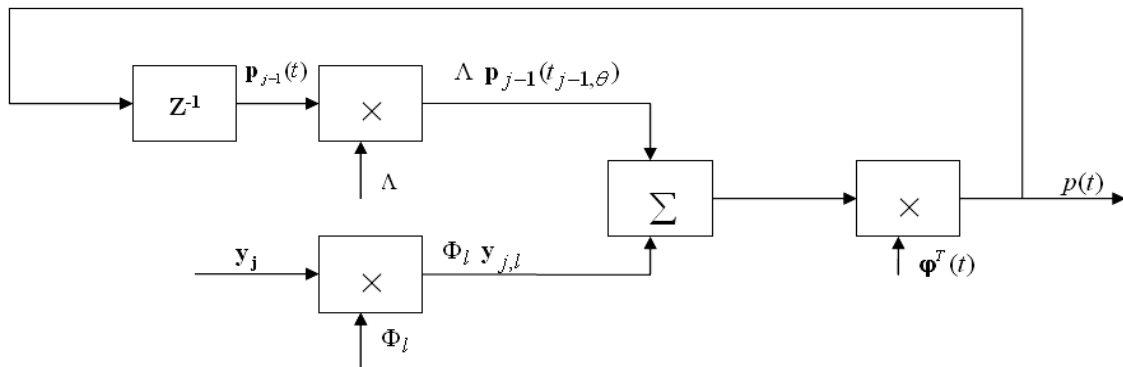


Рис. 4. Алгоритм сглаживающей фильтрации наблюдаемых выборок процесса.

Полученные результаты по разработке алгоритмов локального анализа, ориентированные на восстановление по дискретным данным в целом гладких функций, открывают возможности по решению задач локальной обработки и сглаживания как стационарных, так и нестационарных сигналов, задач анализа акустических сигналов и динамики речи, задач анализа многоэкстремальных зависимо-

стей. Названные результаты подтверждаются модельными экспериментами по сглаживанию специальных тестовых сигналов.

В четвертой главе рассмотрены практические результаты применения разработанных алгоритмов проектирования устройств систем телекоммуникаций.

Исследован и разработан алгоритм синхронизации разделенных каналов передачи данных систем телекоммуникаций аудиообмена. Структурная схема канала передачи данных, которая отражает существо анализируемой проблемы, приведена на рис. 5.

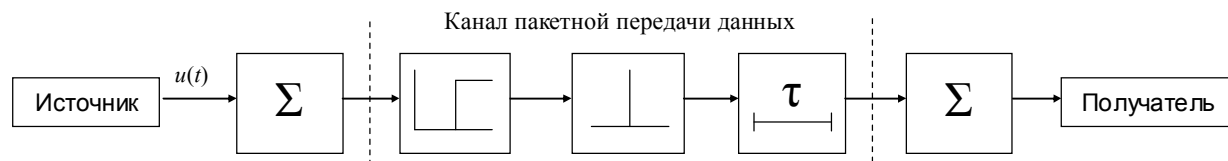


Рис. 5. Структурная схема канала передачи данных

Информация, создаваемая источником со скоростью  $u(t)$ , накапливается в буфере  $\Sigma$  и по достижении порога срабатывания компаратора сбрасывается импульсным элементом в канал в форме последовательности пакетов, период следования которых определяется периодом дискретизации накопленной информации импульсным элементом. Пакеты данных источника поступают в буфер  $\Sigma$  получателя с задержкой  $\tau$ , которую в общем случае следует считать случайной величиной. Информация из указанного буфера направляется далее получателю со скоростью  $v(t)$ . При этом задача синхронизации заключается в обеспечении условий выполнения равенства  $v(t) = u(t - \tau_0)$ , где  $\tau_0$  - некоторая фиксированная величина.

Один из возможных подходов к решению этой задачи основывается на схеме фазовой автоподстройки частоты. Делитель частоты в схеме фазовой автоподстройки частоты выполняет функцию оценивания среднего периода следования пакетов данных. Обозначив моменты появления импульсов на выходе этого делителя как  $\hat{t}_k$ , при использовании в контуре обратной связи линейного фильтра с конечной импульсной характеристикой уравнение автоподстройки принимает вид:

$$v_k = v_{k-1} - \varepsilon \sum_{k-N}^{k+M} a_n (\tilde{t}_n - \hat{t}_n), \quad (21)$$

которое можно рассматривать как уравнение регулирования с усреднением.

Для выбора элементов программно-аппаратной структуры абонентского устройства оперативно-командной телекоммуникационной системы корабельной связи при помощи системы принятия решения была произведена оценка несколь-

ких вариантов структуры на базе электронных элементов отечественного и зарубежного производства (табл. 1). В качестве критериев учитывалась необходимость реализации алгоритмов кодирования/декодирования речевого сигнала, стека протоколов IP, протоколов IP-телефонии.

Таблица 1

Оценка вариантов программно-аппаратной структуры

Тип процессора	Оценки варианта	Тип процессора	Оценки варианта
1892BM3T	0,43	1986BE9x	0,71
1892BM2Я	0,48	TMS320C5x	0,82
1892BM5Я	0,74	AT91xx	0,83
1967BЦ1T	0,54	STM32F10x	0,95
1986BE1T	0,76	PIC32	0,54

С учетом требуемых функций, реализуемых абонентским устройством, были определены характеристики базовых протоколов и с помощью системы принятия решения получена оценка вариантов структуры в зависимости от используемого процессора.

Разработанная система принятия решений позволила определить зависимость величины оценки по критерию программной загрузки ресурсов процессора. С учетом Парето-распределения критериев общая оценка вариантов определила, что наиболее оптимальным вариантом структуры является модуль на базе процессора STM32F10x. С учетом требования ТЗ на использование отечественной элементной базы реализация может быть выполнена на процессоре 1986BE1T.

При проектировании устройства беспроводной передачи речевой информации для системы громкоговорящей связи, была поставленная задача реализации программно-аппаратной структуры модуля кодирования речевого сигнала.

Аудиокодек представляет собой устройство, реализующее алгоритм сжатия речевого сигнала на базе вейвлет-преобразования.

Была произведена оценка сочетания аппаратных и программных конфигураций, на базе семейств цифровых сигнальных процессоров TMS, микропроцессоров ARM, микроконтроллеров AVR ATmega и PIC18. с учетом основных критериев: требуемой производительности процессора, максимальной загрузкой ресурсов процессора и стоимости реализации с учетом средств разработки программного обеспечения.



Была произведена оценка сочетания аппаратных и программных конфигураций, на базе семейств цифровых сигнальных процессоров TMS, микропроцессоров ARM, микроконтроллеров AVR ATmega и PIC18. с учетом основных критериев: требуемой производительности процессора, максимальной загрузкой ресурсов процессора и стоимости реализации с учетом средств разработки программного обеспечения. Обобщенные результаты оценки допустимых конфигураций приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип процессора	Производительность, %	Стоимость, %	Загрузка, %
TMS320C5xx	87	100	18
ARM7	90	87	78
ARM Cortex M3	100	80	61
PIC18xx	45	48	100
ATmega	24	56	90

С учетом Парето-распределения критериев оценка вариантов определила, что наиболее дешевой без учета стоимости разработки программного обеспечения будет система на базе микроконтроллеров семейства PIC18xx, а с учетом стоимости на базе процессоров семейства ARM Cortex M3.

Результаты дальнейшей разработки устройства (на базе PIC18F26K20) подтвердили корректность оценки конфигурации системой и, в результате, сократили срок разработки устройства.

Была произведена оценка аппаратных конфигураций по нескольким критериям, основными из которых являются критерий стоимости реализации устройства с учетом требуемой производительности процессора ( $G_{j/k}$ ), а также требуемый объем оперативной памяти ( $V_{j/k}$ ), необходимый для промежуточного хранения принимаемых и передаваемых аудиоданных.

Зависимость величин критериев от предлагаемой аппаратно - программной структуры устройства приведена на рис. 6.

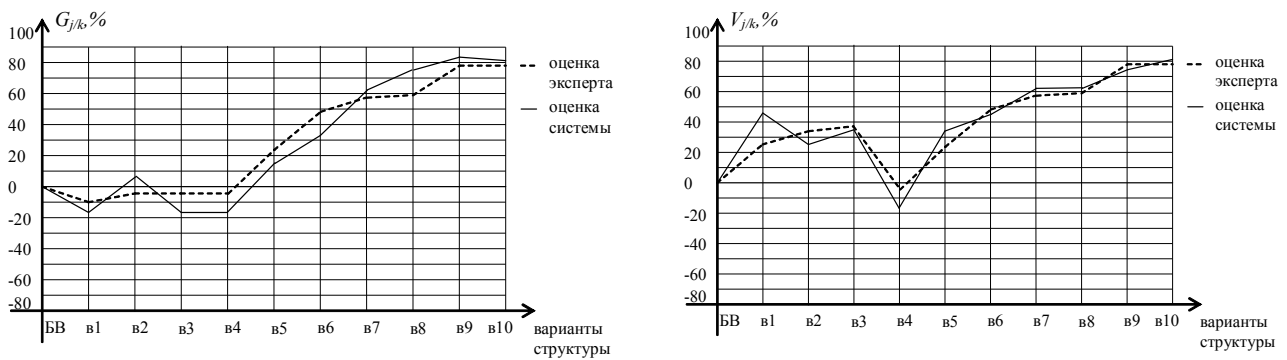


Рис. 6. Зависимость величин критериев от структуры устройства.

Из рис. 6 видно, что система, реализующая разработанный алгоритм, выполняет оценку близкую к экспертной (расхождение не более 15%). В ходе дальнейшей разработки устройства были получены данные о том, что полученная оценка системы по критерию стоимости ( $G_{j/k}$ ) ближе, чем экспертная оценка, к реальному показателю на 10-20%.

Программно-аппаратная структура коммутационных центров и абонентских устройств разрабатываемой оперативно-командной телекоммуникационной системе корабельной связи, приведена на рис. 7.

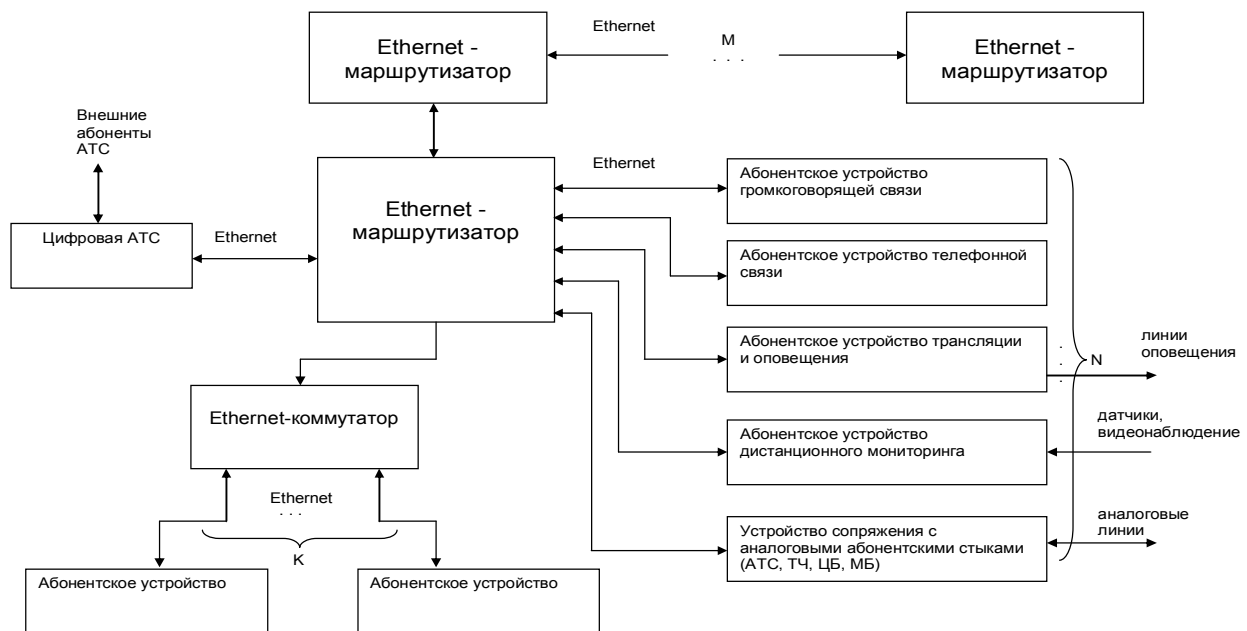


Рис. 7. Структура телекоммуникационной оперативно-командной системы связи.

Аппаратная структура основывается на процессоре обеспечивающем возможность организации многозвенной сети коммутационных центров и выбор оптимальных маршрутов для доставки данных от абонента к адресату, а также. обеспечивает постоянную диагностику сети и в случае обнаружения повреждений линий связи или коммутационный центров обеспечивает передачу данных по резервным маршрутам.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработанная математическая модель многокритериального принятия решения по выбору элементов программно-аппаратной структуры позволяет решать задачи поддержки оптимального конфигурирования оперативно-командных систем громкоговорящей связи с высокой размерностью.

2. Разработан алгоритм определения критериев принимаемых решений, который позволяет определить программные и аппаратные параметры при проектировании оперативно-командных систем громкоговорящей связи.

3. Создан алгоритм оценки принятия решения по конфигурации структурных элементов устройств систем телекоммуникаций, обеспечивающий повышение скорости проведения опытно-конструкторских разработок.

4. Разработано программное обеспечение системы принятия решений, которое позволяет оценить и определить эффективную структурную конфигурацию устройств оперативно-командной системы громкоговорящей связи за счет построения и обучения гибридной нейронной сети.

5. Разработаны алгоритмы автоматизированной подсистемы сбора информации о параметрах аппаратных и программных элементах, а также поиска параметров и ввода критериев, обеспечивающие предоставление информации о структурных элементах и критериях для системы принятия решений.

6. Применение системы оценивания и определения эффективности структуры для осуществления опытно-конструкторских разработок показало, что разработанные алгоритмы обеспечивают оценку близкую к экспертной с погрешностью не более 15%.

7. Разработаны подходы к исследованиям характеристик каналов передачи данных и протоколов синхронизации трафика в сетях пакетной связи.

8. Разработана методика создания программно-аппаратной структуры модуля кодирования речевого сигнала в устройстве беспроводной передачи речевой информации для системы громкоговорящей связи, позволяющая осуществлять оценку сочетания аппаратных и программных конфигураций, на базе нескольких семейств процессоров.

9. Разработана аппаратная структура, основанная на процессоре, обеспечивающая возможность организации многозвенной сети коммутационных центров и выбор оптимальных маршрутов для доставки данных от абонента к адресату.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК**

1. Бейлекчи, Д.В. Обработка акустических сигналов методами локального анализа в телекоммуникационных системах / Д.В. Бейлекчи, В.А. Ермолаев, Ю.А. Кропотов, // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015.- № 1 (17). - С. 49-56.

2. Бейлекчи, Д.В. Информационно - управляющие телекоммуникационные системы аудиообмена и автоматизированного мониторинга / Д.В. Бейлекчи, А.А. Белов, В.А. Ермолаев, О.Е. Карасев, А.А. Колпаков, А.Н. Коноплев, Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014.-№ 1 (13). - С. 99-113.

3. Бейлекчи, Д.В. Метод автоматизированной оптимизации структуры аппаратно-программного обеспечения телекоммуникационных систем // Информационные системы и технологии. 2013. - №3. – С. 61-66.

4. Бейлекчи, Д.В. Метод определения критериев оценки оптимизации аппаратно-программной структуры устройств систем телекоммуникаций // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. - №1. – С. 32-36.

5. Бейлекчи, Д.В. Исследование вопросов сжатия информационных потоков речевых сигналов с применением вейвлет-преобразования / Д.В. Бейлекчи, Ю.А. Кропотов. Радиотехника. 2008. - №9. – С. 103-106.

6. Пат. 70000 Российская Федерация, МПК7 G01R17/02 (2006.01). Устройство кодирования речевого сигнала в системах громкоговорящей связи / Ю.А. Кропотов, Д.В. Бейлекчи. Заявители и патентообладатели Кропотов Ю.А., Бейлекчи Д.В. – № 2007134691/22; заявл. 17.09.2007; опубл. 10.01.2008. Бюл. №1.

### **Статьи в других изданиях**

7. Бейлекчи, Д. В. Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом / Д. В. Бейлекчи, А. А. Белов, В. А. Ермолаев, Ю. А. Кропотов // Системы управления, связи и безопасности. 2017. - №1. - С. 1-15.

8. Бейлекчи, Д.В. Модель устройства передачи речевого сигнала по каналу связи // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2007.– №8.- С.87-93.

9. Бейлекчи, Д.В. Алгоритм передачи цифрового речевого сигнала по каналу связи / Д. В. Бейлекчи, Ю. А. Кропотов // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. Рязань:РГРТА,2005.- С.84-88.

10. Бейлекчи, Д.В. Исследование влияния функции компрессии речевого сигнала на его спектральные характеристики / Д.В. Бейлекчи, Я.Ю. Кульков // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2004. – №. 4. – С. 200-205.

11. Бейлекчи, Д.В. Выбор оптимальной функции компрессии динамического диапазона речевого сигнала / Д.В. Бейлекчи, Я.Ю. Кульков // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2004. - № 5. – С. 122-126.

12. Бейлекчи, Д.В. Минимизация информационного потока речевого сигнала с применением вейвлет преобразований / Д.В. Бейлекчи, Ю.А. Кропотов, А.В. Цаплёв // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2003. - № 3. – С. 208-211.

### **Материалы конференций**

13. Бейлекчи, Д.В. Адаптивное управление степенью сжатия динамического диапазона речевого сигнала / Д.В. Бейлекчи, Я.Ю. Кульков // Сборник тезисов докладов I-й Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. – 267 с.,– с. 87-88.

14. Бейлекчи, Д.В. Исследование влияние типа частотного преобразования на степень сжатия потока цифрового речевого сигнала // Туполевские чтения: Международная молодежная научная конференция, посвященная 1000-летию города Казани, Казань, 10-11 ноября 2005 года: Материалы конференции. Том IV: Изд-во КГТУ, 2005. – 151с., с. 5-6.

15. Бейлекчи, Д.В. Применение частотных преобразований при передаче цифрового речевого сигнала / Д.В. Бейлекчи, А.В. Шачков // XXXII Гагаринские чтения. Научные труды международной молодежной научной конференции в 8 томах. – Москва, 4-8 апреля 2006г. – М.: МАТИ,2006. – Т.4. – с. 6-7

16. Бейлекчи, Д.В. Алгоритм исследования влияния параметров вейвлет-преобразования на сжатие речевого сигнала. / Д.В. Бейлекчи, А.М. Ключников // Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет, 19-21 апреля 2007г. – Рязань: Редакционно-издательский центр РГ РТУ, 2007. – 340с., с.158-159.

17. Бейлекчи, Д.В. Исследование влияния параметра порога фильтрации коэффициентов вейвлет-преобразования на сжатие речевого сигнала / Д.В. Бейлекчи, И.А. Русаков // XXXIII Гагаринские чтения. Научные труды Международной

молодежной научной конференции в 8 томах. Москва. 3-7 апреля 2007г. – М.:МАТИ,2007. Т.4. – 220 с., с. 72-73.

18. Бейлекчи, Д.В. Алгоритм сокращения объема цифровых данных представляющих речевой сигнал // Наука и образование в развитии промышленного потенциала и социально-экономической сферы региона: сб. докладов научно-практической конференции, посвященной 50-летию МИ ВлГУ Муром, 2 февраля 2007 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ (ф) ВлГУ,2007. - с. 111.

19. Бейлекчи, Д.В. Исследование модели устройства кодирования речевого сигнала // Наука и образование в развитии промышленного потенциала и социально-экономической сферы региона: сб. докладов научно-практической конференции, муром, 1 февраля 2008 г./ Муромский институт (филиал) Владим. гос. ун-та. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ (ф) ВлГУ, 2008. – 301с., с. 137.

20. Бейлекчи, Д.В. Алгоритм исследования влияния параметров фильтрации коэффициентов целочисленного вейвлет-преобразования на сжатие речевого сигнала / Д.В. Бейлекчи, Ю.А. Кропотов // Всероссийские научные Зворыкинские чтения – I. Всероссийская межвузовская научная конференция «Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России»: сб. тез. докл. В 3 т. Т. 1/ Муромский ин-т Владимирского гос. Ун-та, 6 февраля 2009г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2009. – 153 с., с.65.

21. Бейлекчи, Д.В. Исследование и разработка методов управления устройством диагностики линий звуковых каналов систем оповещения / Д.В. Бейлекчи, А.Н. Коноплев // XXXVI Гагаринские чтения. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 8 томах. Москва, 6-10 апреля 2010 г. М. МАТИ, 2010. Т.4,– с. 20-22.

22. Бейлекчи, Д.В. Исследование и разработка методов автоматизации принятия решения по выбору электронных компонент информационно-управляющих систем // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России [Электронный ресурс]: III Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. III Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 4 февр. 2011 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2011.– 1022 с.: ил.– 1 электрон. опт. Диск (CD-ROM). . – с. 265-266.

23. Бейлекчи, Д.В. Исследование и разработка методов автоматизации выбора электронных компонент для микропроцессорных систем // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов

России. IV Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. IV Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 3 февр. 2012 г.– [Электронный ресурс].– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2012.– 771 с.: ил.– 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – с. 151-152.

24. Бейлекчи, Д.В. Автоматизация сбора информации об электронных компонентах при проектировании микропроцессорных систем. Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. V Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 1 февр. 2013 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013.– 649 с.: ил.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – с. 179-180.

25. Бейлекчи, Д.В. Метод оптимизации аппаратно-программной структуры при проектировании устройств телекоммуникационных систем // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VI Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 14 февр. 2014 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2014.– 695 с.: ил.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – с. 553-554.

26. Бейлекчи, Д.В. Алгоритм оценки аппаратно-программной структуры устройств телекоммуникационных систем // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VIII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 05.02.2016 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2016.– 478 с.: ил.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – с. 119-120.

Подписано в печать 18.06.2018 г.

Формат 60x84 1/16. Печ.л 1,0 . Тираж 100 экз.

Типография

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

