



УДК 681.31:681.511.2:534.833

А.Н. Власов, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Особенности построения систем автоматизированного синтеза и моделирования средств защиты от влияния волновых полей

Рассмотрены особенности построения систем автоматизированного синтеза и моделирования средств защиты от вибрационных, акустических и других волновых полей. Основное внимание уделено вопросам автоматизированного проектирования адаптивных и нейронадаптивных систем активного гашения. Обосновано построение базы знаний по вариантам реализации систем гашения на основе фреймовой семантической сети.

1. ВВЕДЕНИЕ

Разработка средств и методов гашения акустических, вибрационных, электромагнитных и других волновых полей по-прежнему остается актуальной задачей. В последнее время наряду с пассивными средствами гашения (СГ), реализуемыми с использованием классических подходов без применения дополнительных источников энергии [1], все большее распространение находят системы активного гашения (САГ), использующие дополнительные источники энергии [2–6]. Принцип их функционирования основан на излучении компенсирующих полей в противофазе к гасимому волновому полю, за счет чего достигается их взаимная компенсация. Данное направление при разработке средств защиты развивается очень быстрыми темпами, что влечет за собой постоянное расширение областей приложения САГ, особенно в области низких частот. Этому способствуют тенденции к постоянному уменьшению стоимости и росту производительности микропроцессорных комплексов (в основном на основе сигнальных (DSP) процессоров).

Построение многоканальных САГ сегодня напрямую связано с использованием нейросетевых технологий. В настоящее время теория нейрокомпьютеров и их приложения получили широкое развитие во всем мире. Они направлены на решение целого круга сложнейших задач (управление динамическими объектами, распознавание образов, обработка сигналов, управление роботами и т.п.), к числу которых относится и применение нейронных сетей для реализации многоканальных систем активного гашения волновых полей.

Однако основным сдерживающим фактором при разработке САГ является практически полное отсутствие систем их автоматизированного проектирования и компьютерного моделирования в реальном масштабе времени, что значительно увеличивает затраты на проведение экспериментальных исследований и натурных испытаний при разработке и доводке САГ. Поэтому основной целью данной работы является разработка обобщенной методики автоматизированного проектирования СГ и ее реализация в виде аппаратно-программного комплекса автоматизированного проектирования как пассивных, так и активных средств гашения волновых полей. В зависимости от типа элементов сенсорного блока данная САПР в равной степени может быть использована при разработке средств защиты от акустических, электромагнитных, вибрационных, виброакустических и других волновых полей.

2. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ГАШЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ, ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ

При проектировании средств защиты перед разработчиками стоит задача создать или выбрать комплекс средств, который обеспечивал бы требуемую степень уменьшения рассматриваемых воздействий при заданном уровне технологичности и надежности наряду с невысокими затратами. При этом решение задачи проектирования должно быть разумно компромиссным относительно качества и сложности разрабатываемой системы гашения. Заданное качество гашения должно быть достигнуто с помощью как можно более простых методов и средств, однако их разработка имеет тенденцию к увеличению количества входящих в них частей и подсистем, что обуславливает постоянное возрастание структурной сложности. Необходимо учитывать, что чем сложнее система, тем выше ее стоимость, больше массогабаритные характеристики и ниже надежность. Все это делает задачу проектирования средств шумозащиты человеко-машинных систем сложной, многовариантной задачей, требующей системного подхода.

2.1. Особенности синтеза систем гашения

При разработке систем гашения, еще на этапе технического задания (ТЗ), очень важно правильно оценить характеристики рассматриваемых полей. После их сравнения с нормативными показателями для рабочих мест личного состава и элементов технических систем принимается решение о необходимости применения тех или иных средств защиты. Наиболее сложным на практике оказывается правильный выбор варианта реализации системы гашения, который осуществляется на основе анализа большого числа различных критериев. Среди основных можно выделить: характер воздействия (стохастический или детерминированный),

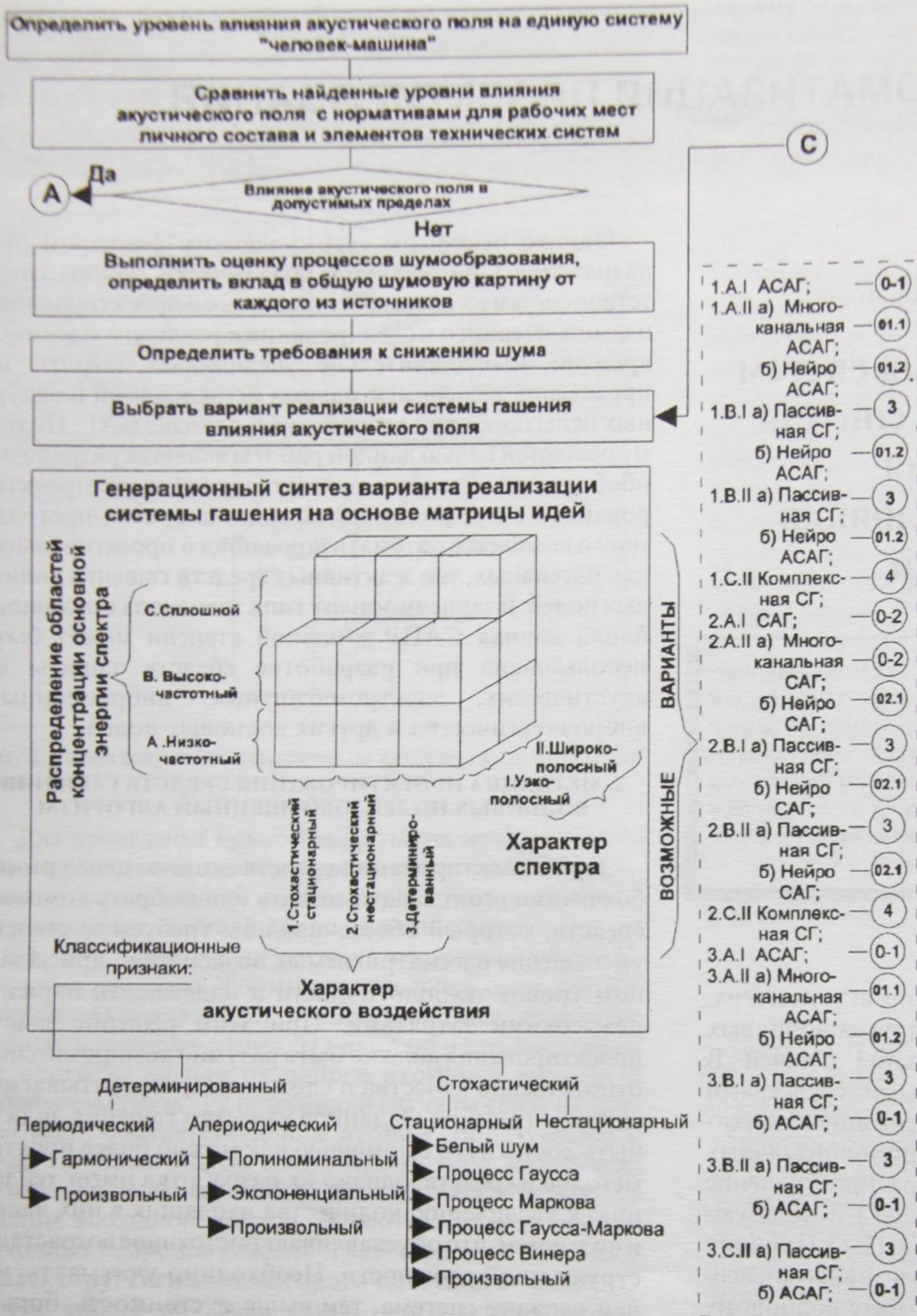


Рис. 1. Обобщенный алгоритм проектирования средств гашения акустических шумов: А, С — функциональные части алгоритма; 0 — 1, 01.1, ... — кодовые обозначения вариантов реализации

вид спектра (узко- или широкополосный), распределение областей концентрации основной энергии в спектре (низкочастотное, высокочастотное или сплошное). Комбинация различных наборов данных факторов обуславливает эффективность выбора того или иного варианта построения СГ. Поскольку таких вариантов много, то возможность выбора уже на начальном этапе эффективного способа реализации для конкретного случая является важной задачей.

При реализации процедур синтеза СГ в общем случае можно выделить три этапа: выбор метода гашения (базовый синтез), построение структуры системы (структурный синтез) и определение значений параметров системы (параметрический синтез). Эти этапы ориентированы на решение следующих общих задач:

- составление физико-математических моделей объекта управления и внешней среды на основе анализа имеющейся априорной информации;
- выбор предварительного варианта реализации системы;
- формулировка целевых функций и их ограничений по локальным и глобальным целям управления;
- формализация постановок задач оптимального управления и выбор методов для их решений;
- решение задач многокритериальной оптимизации;
- общесистемный, структурный и параметрический синтез системы;
- выбор элементной базы;
- моделирование синтезированной системы;
- оценка качественно-технических показателей.

При решении этих задач необходимо обеспечить не только заданный уровень качественных характеристик системы, но и выполнить общетехнические требования по сложности, стоимости, надежности, массе и т.п.

Синтез СГ может осуществляться методами одной из трех групп: оптимизационного, генерационного синтеза или их комбинацией [7, 8]. Оптимизационный синтез предусматривает проектирование с использованием методов параметрической и структурной оптимизации, т.е. для конкретной структуры ищется наилучшая комбинация параметров; если это не приводит к положительному результату, то изменяется структура. Генерационный синтез, в отличие от оптимизационного, представляет собой не последователь-

ность действий по улучшению первоначального варианта, а генерацию сразу модели работоспособного объекта, что крайне важно для разработки СГ и позволяет значительно сократить сроки проектирования.

Так как строгая формализация постановки задачи гашения практически невозможна, то для осуществления процедур генерационного синтеза используется априорная информация, полученная на основе опытно-экспериментальных данных и выраженная в виде различных эмпирических методик, структур, зависимостей и т.п. При этом применение генерационного синтеза допускает много альтернативных решений. На практике при разработке СГ наилучшие результаты были достигнуты при комбинации генерационного и оптимизационного

синтеза. На начальном этапе проектирования применяется генерационный синтез, который в зависимости от характеристик объекта, числа каналов гашения, стационарности или нестационарности волнового поля, его частотного спектра и других характеристик генерирует, используя процедуры структурно-параметрического синтеза, наиболее подходящую структуру СГ. На втором этапе на основе параметрического синтеза находятся наилучшие значения параметров СГ для рассматриваемого объекта. При этом качество синтезируемых систем определяется полнотой и адекватностью априорной информации о вариантах построения СГ и параметрах среды, заложенной в систему проектирования.

Использование процедур генерационного синтеза на основе матрицы идей для обеспечения выбора эффективного варианта построения СГ приведено на рис. 1. В зависимости от характеристик среды и требований ТЗ в основу реализации СГ может быть положен один из следующих методов: *пассивное гашение*, *активное гашение* или их комбинация. После выбора метода гашения переходим непосредственно к проектированию конкретной системы. Так, например, если требуется осуществить гашение стационарного поля в пространстве, то система гашения реализуется в виде нейроадаптивной САГ (нейроАСАГ). Синтез ее структуры заключается в определении типа нейронов, числа слоев сети, числа нейронов в слоях и способа осуществления связей между слоями (рис. 2). Он также должен предусматривать возможность реализации нейроАСАГ как в виде нейросети с постоянной структурой, так и в виде нейросети с переменной структурой. Обобщенный алгоритм проектирования нейроадаптивной САГ приведен на рис. 2, а основные математические закономерности, лежащие в его основе, рассмотрены в работах [6, 9, 10]. Алгоритмы проектирования и математические модели альтернативных вариантов реализации СГ подробно рассмотрены в [2–6].

После разработки всего комплекса шумозащитных средств объекта оцениваем достигнутые показатели качества гашения и общие надежность характеристики в целом. В случае удовлетворения всех требований ТЗ переходим к разработке опытного и серийных

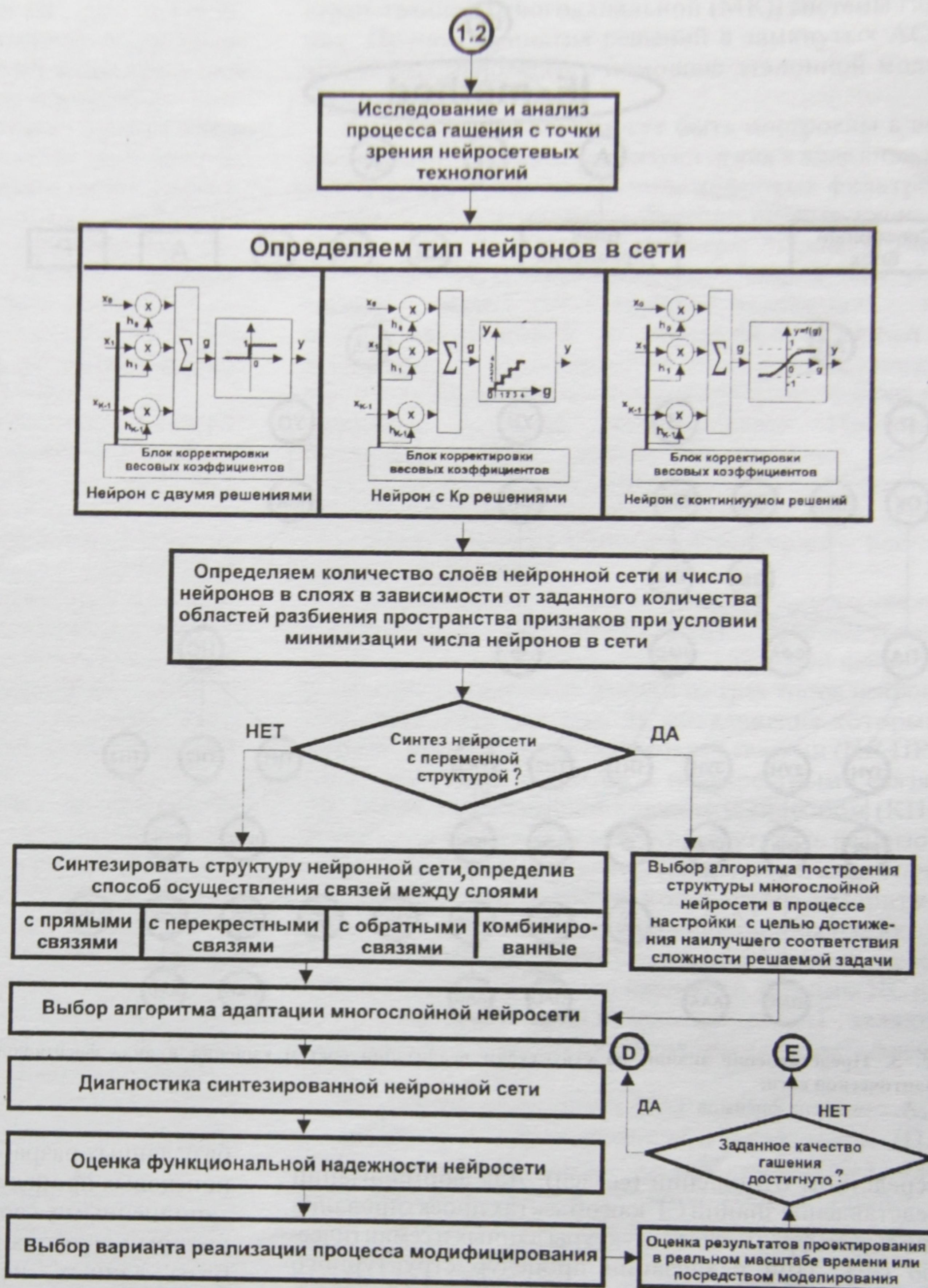


Рис. 2. Алгоритм проектирования нейроадаптивных САГ (нейроАСАГ): D, E – функциональные части; 1.2 – кодовое обозначение алгоритма проектирования нейроАСАГ

образцов СГ, в противном случае принимаем меры конструктивного характера по корректировке конструкции объекта.

2.2. Форма и методы представления и извлечения знаний по вариантам реализации систем гашения

При разработке СГ представление знаний о реальных объектах проектирования осуществляется посредством формализованных описаний разрабатываемых систем и процессов. Сведения об объектах могут включать в себя данные о законченных и промежуточных структурах систем, макроэлементах, элементарных узлах. Взаимосвязь элементов более низкого уровня с элементами более высокого уровня определяется

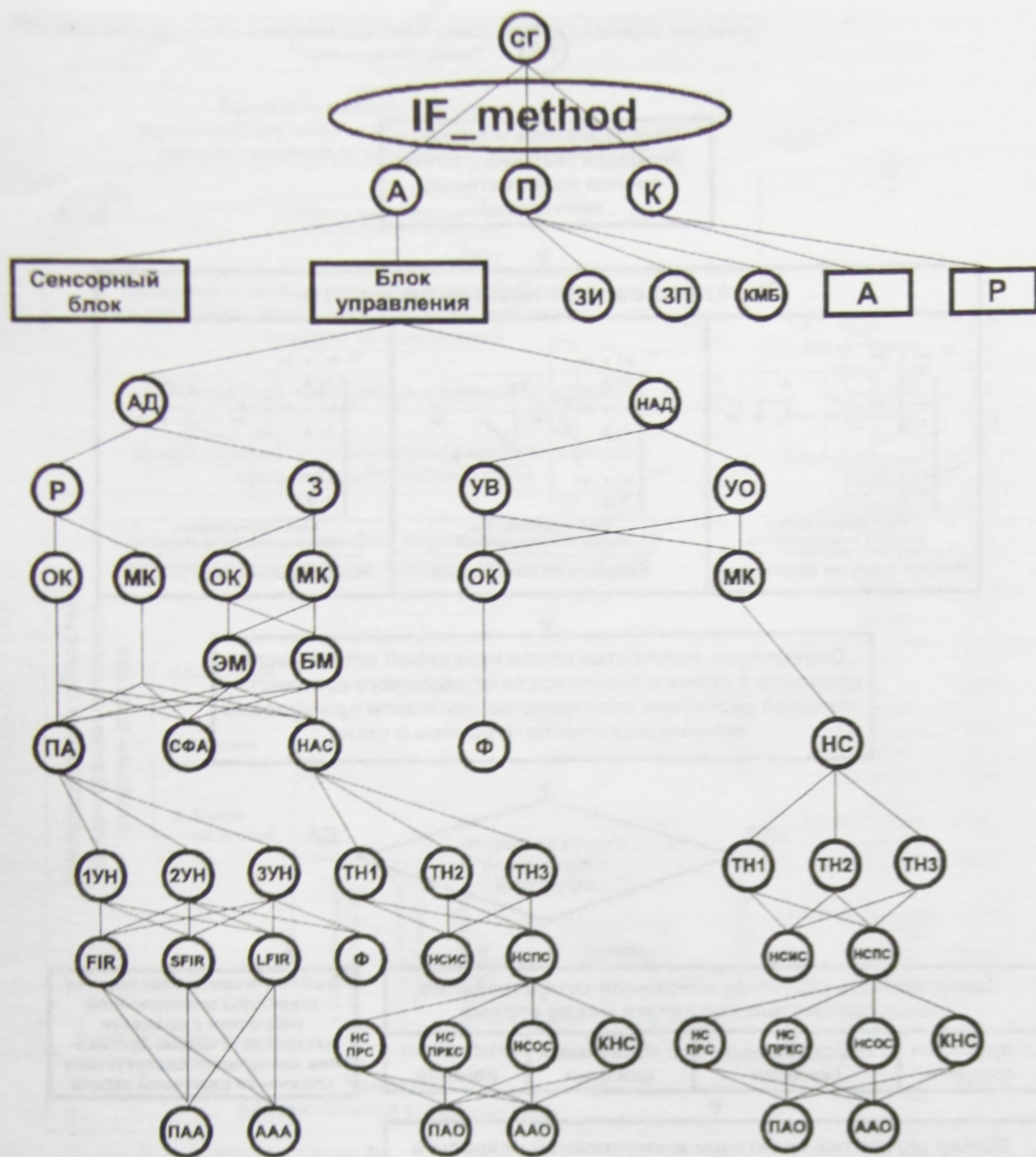


Рис. 3. Представление знаний по структурам реализации систем гашения в виде фреймовой семантической сети:
 СГ, А, ... – имена фреймов

посредством отношений (связей). Для формализации представления знаний СГ как объектах проектирования используем фреймовые структуры данных и семантическую сеть. При реализации процедур структурного синтеза наибольшее применение нашли фреймы с иерархической вложенной структурой, в которой в качестве значения слота используется имя другого фрейма. Путем комбинации в этих структурах фреймов типа "И" (декомпозиция объекта) и фреймов типа "ИЛИ" (выбор альтернатив реализации) можно выразить процесс структурного синтеза СГ в виде фрейм-сценария. Фрейм-сценарий удобно представить в виде фреймовой семантической сети, в которой каждой из вершин соответствует фрейм, а связи между ними осуществляются путем использования либо имен фреймов в качестве значений слотов, либо общих имен слотов в разных фреймах. Основным отличием фреймовой семантической сети от обычной, где многообразие типов вершин и связей между ними создают определенную сложность по обработке информации, является четкость структуры. Благодаря этому можно строить различные сценарии и отображать разнообразные проектные решения с помощью вложенных фреймов.

Обобщенный вид фреймовой семантической сети для синтеза структуры СГ приведен на рис. 3.

Рассмотрим особенности построения фреймовой семантической сети, описывающей процесс структурного генерационного синтеза СГ. Данная сеть представляет возможные варианты обобщенных структур СГ, имеющих иерархическое построение, посредством "И-ИЛИ" графа. Вершины "И" показаны прямоугольниками, а вершины "ИЛИ" – окружностями (см. рис. 3). В данном графе все вершины делятся на уровни, каждому из которых соответствует свое интенциональное описание фрейма. Уровни объединяют вершины, обладающие общими функциональными свойствами (имеющими аналогичное интенциональное описание), каждая из которых описана посредством экстенционального описания фрейма-образца (конкретные фреймы). Символически описанные фреймы образуют интенциональную фреймовую семантическую сеть, характеризующую общие закономерности построения СГ, и составляют базу знаний аппаратно-программного комплекса (АПК). Набор конкретных фреймов образует экстенциональную фреймовую семантическую сеть, выражающую сведения о конкретных структурных вариантах построения СГ, и составляет

базу данных разрабатываемого АПК. При выполнении поисковых процедур символический фрейм с частично заполненными слотами входит в запрос, ответом на который является несколько конкретных фреймов из базы данных, не противоречащих ограничениям, содержащимся в запросе.

Вершину графа семантической фреймовой сети (см. рис. 3) образует фрейм обобщенного описания СГ (фрейм-СГ):

<СГ; метод гашения: *.*>.

В качестве конкретного значения слота <метод гашения> фрейма СГ может быть выбрано имя фрейма, описывающего один из возможных методов гашения: активный (А), пассивный (П) или комбинированный (К). Выбор определенного метода осуществляется в зависимости от характеристик гасимого поля посредством процедуры

IF_method

Пассивные средства гашения (фрейм-П) могут быть реализованы на основе следующих принципов: изоляции (ЗИ), поглощения (ЗП) и их комбинации (КМБ) (отра-

жение и поглощение). Пассивные САГ, как правило, проектируются с использованием конечно- и гранично-элементного анализа путем сеточной аппроксимации среды и объекта [3]. Среди интегрированных программных комплексов, использующих сеточное представление среды и объектов при анализе акустических полей и разработке пассивных средств шумогашения, можно отметить следующие: Comet Acoustics&Sound Solution [ANSYS Inc (США) [11], официальный дистрибьютор CAD-FEM GmbH, т. 460-47-22], I-DEAS Vibro-Acoustics [Structural Dynamics Research Corporation (США) [11], представительство в России SCAN Ltd, тел. 232-23-43], SYSNOISE [LMS (Бельгия), дистрибьютор ООО Тесис, тел. 212-38-34] и т.п.

Программный комплекс *Comet Acoustics* позволяет разработчикам еще на стадии проектирования изделия расчетным путем оценить его акустические свойства и оптимизировать конструкцию, что значительно сокращает число опытных образцов и объем экспериментальных исследований, связанных с акустической доводкой. Анализ базируется на следующих основных методах: прямом методе граничных элементов (многосвязанные области и области с различными акустическими свойствами), непрямом методе граничных элементов (решение задач совместных колебаний структур и сред), методе конечных элементов (расчет откликов объемов исследуемой среды на воздействие).

Модуль *I-DEAS Vibro-Acoustics* программного комплекса *I-DEAS Master Series* предназначен для решения временных/гармонических задач виброакустики. Анализ базируется на обобщенной вариационной формулировке связи между методом граничных элементов для моделирования сред и методом конечных элементов для моделирования объектов. Также используются бесконечные элементы (AT&T Bell Lab), предоставляющие очень эффективный путь решения акустических и виброакустических задач излучения.

Комбинированные САГ (фрейм К) состоят из комплекса активных (*A*) и пассивных (*P*) средств, синтез которых осуществляется согласно рис. 3.

Системы активного гашения (фрейм А) состоят из сенсорного блока и блока микропроцессорного управления. Соответствующая декомпозиция САГ представлена на следующем уровне семантической сети (см. рис. 3). Выбор типов датчиков и исполнительных устройств сенсорного блока проводится перебором имеющихся в распоряжении проектировщика элементов, а определение их пространственного расположения может быть осуществлено посредством итерационного алгоритма [4] или на основе модели, реализующей сеточную аппроксимацию среды и процесса гашения [3].

Блок микропроцессорного управления САГ может быть реализован с адаптивной настройкой (АД) или без нее (НАД). В свою очередь, в зависимости от количества априорной информации о процессе гашения АСАГ могут быть реализованы с разомкнутыми (Р) или замкнутым (З) контуром управления, а неадаптивные САГ могут быть построены на основе управления по возмущению (УВ) или управления по отклонению (УО). Каждый из возможных вариантов САГ в зависимости от характеристик гасимого поля может быть реализован в виде одномерной [одноканальной (ОК) или про-

странственной (многоканальной (МК)] системы гашения. Процесс принятия решений в замкнутых АСАГ может быть проведен с помощью эталонной модели (ЭМ) или без нее (БМ).

Неадаптивные САГ могут быть построены в виде фильтров (Ф), которые реализуются как в виде аналоговых фильтров (Ф), так и в виде цифровых фильтров с постоянными параметрами. Фреймы, описывающие их, имеют вид: <Ф; название фильтра: *.*;analog_filter_simulation>, <Ф; название фильтра: *.*;digital_filter_simulation; digital_filter_realtime_synthesis>, где *analog_filter_simulation* и *digital_filter_simulation* – процедуры, осуществляющие интерфейс АПК с подсистемами моделирования и оптимизации аналоговых или цифровых фильтров соответственно. Процедура *digital_filter_realtime_synthesis* осуществляет запуск подпрограммы АПК по определению параметров путем синтеза в реальном масштабе времени и на основе обработки реальных сигналов с сенсорного блока в режиме адаптации.

Неадаптивные САГ могут быть построены также в виде предварительно обученной на конкретные условия эксплуатации нейронной сети (НС) [6]. Слои нейросети реализуются с помощью любого из трех типов нейронов ТН1, ТН2, ТН3 (см. рис. 3), объединение которых в нейросеть осуществляется прямыми связями (НС ПРС), обратными связями (НС ОС), перекрестными связями (НС ПРС) или комбинированным способом (КНС). Алгоритмы обучения нейросети могут быть реализованы как с помощью поисковых (ПАО), так и аналитических (ААО) методов. Выбор конкретного алгоритма в АПК осуществляется проектировщиком с использованием диалоговых окон непосредственно перед процессом обучения синтезированной нейросети. Фреймы НС и Ф, описывающие варианты неадаптивных САГ, являются значениями слота "реализация регулятора" фрейма НАД.

Каждая из адаптивных САГ (АСАГ) может быть реализована с параметрической адаптацией (ПА), структурно-функциональной адаптацией (СФА) или в виде нейроадаптивной системы (НАС), причем ее обучение осуществляется в процессе адаптации [6]. Алгоритмы обучения нейросети в реальном времени могут быть реализованы как с помощью поисковых (ПАА), так и аналитических (ААА) алгоритмов адаптации [4, 5, 6, 7].

Микропроцессорный блок управления АСАГ с параметрической адаптацией реализуются в виде электронного блока, имеющего в своем составе один (1УН), два (2УН) или три (3УН) узла настройки (слоты фрейма ПА) [6]. Основным является центральный узел настройки (1УН), который осуществляет адаптивную настройку параметров регулятора основного контура. Узел настройки 2УН предназначен для учета влияния обратной связи между приемной и излучающей поверхностями, а 3УН – для учета изменения параметров акустического поля от компенсирующей до контрольной (измерительной) поверхности [4]. При этом 1УН может быть реализован только в виде цифрового фильтра с изменяемыми в процессе адаптации параметрами или в виде нейроадаптивной сети с постоянной структурой (НСПС). Реализация остальных узлов

настройки, если они используются, может осуществляться любым из возможных вариантов: в виде как адаптивной, так и неадаптивной, предварительно обученной нейросети, цифровых фильтров с изменяемой (адаптивной) или неизменяемой структурой, а также в виде аналоговых фильтров. Изображение в узлах фреймовой семантической сети (см. рис. 3) некоторых повторяющихся узлов осуществлено только с целью повышения читаемости графа сети, реально данные узлы не разделены и образуют единое целое с единственно возможным видом описания фрейма-образца. Построение баз знаний и данных АПК автоматизированного проектирования СГ на основе рассмотренной фреймовой семантической сети позволило эффективно осуществлять их автоматизированный синтез.

3. СОСТАВ, СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ

Рассмотренные выше обобщенный алгоритм проектирования СГ, форма и метод представления знаний по вариантам реализации СГ в виде фреймовой семантической сети положены в основу построения АПК автоматизированного проектирования средств защиты от волновых полей. Основными элементами АПК являются:

- персональный компьютер, который обрабатывает полученные в ходе моделирования данные и вырабатывает управляющие воздействия в соответствии с заложенным в его программное обеспечение алгоритмом;

- "органы чувств", которые представляют собой набор определенных датчиков (в зависимости от вида рассматриваемых волновых полей) для регистрации экспериментальных данных;

- виртуальные аппаратные измерительные средства (ВАИС) со встроенными АЦ/ЦА преобразователями для преобразования исходной информации, регистрируемой датчиками, в вид, понятный компьютеру.

Выработанные в ходе работы алгоритма управляющие сигналы подаются через ВАИС к исполнительным устройствам. Структурная схема построения АПК приведена на рис. 4 [6].

Основные функции по накоплению и обработке поступающей с блоков датчиков информации осуществляет прикладное программное обеспечение (ППО АПК). Оно позволяет пользователю выполнять работу в двух основных режимах:

- отработка алгоритмов гашения на основе анализа реальных сигналов с датчиков (с использованием ВАИС);

- проектирование пассивных средств гашения и теоретическая отработка алгоритмов активного гашения на основе математических моделей (при этом наличие ВАИС не требуется).

При загрузке головного программного модуля происходит автоматическое тестирование на обнаруже-

ние интерфейсной платы в компьютере и выводится сообщение о доступных для пользователя режимах. Имеющаяся в системе интерактивная система графического отображения результатов выводит информацию в двух режимах: в режиме анализа реальных сигналов; в режиме построения диаграмм эффективности процесса гашения, при котором отображаются текущие изменения коэффициента сходимости процесса настройки и коэффициентов фильтра.

Основными модулями ППО являются (рис. 4): препроцессор, процессор и постпроцессор.

Препроцессор осуществляет инициализацию ВАИС, выбор режимов работы и выполнение процедур структурного генерационного синтеза СГ на основе рассмотренной в п. 2 фреймовой семантической сети.

Процессор обеспечивает:

- при работе в режиме обработки реальных сигналов – ввод сигналов с сенсорного блока в режиме генерации прерываний и их обработку в соответствии с выбранным на этапе синтеза САГ алгоритмом;

- при работе в режиме моделирования – имитационное моделирование процесса гашения.

Постпроцессор осуществляет визуализацию динамики процесса гашения с возможностью модификации параметров синтезированной САГ.

Используя возможности изменения параметров алгоритма гашения пользователь по получаемым результатам может корректировать эффективность гашения, тем самым выбирая наилучшие характеристики будущей системы, ориентированной на реальные условия работы.

* * *

Данный АПК является практически единственной системой, ориентированной на автоматизацию проектирования систем активного гашения волновых полей, на основе обработки сигналов в реальном масштабе времени. На рынке программного обеспечения существует достаточно большое число универсальных пакетов, ориентированных на создание ППО обработки сигналов [11], которые позволяют проектировщикам самим создавать необходимую систему компьютерного обеспечения разработки и исследования САГ, однако это потребует от них достаточно глубоких знаний в области программно-аппаратного обеспечения и увеличит время проектирования. Использование в АПК представления знаний по структурам реализации СГ в виде фреймовой семантической сети позволило формализовать процедуры генерационного структурного синтеза систем гашения, что обеспечило возможность уже на начальных этапах проектирования генерировать работоспособные структуры построения СГ. Получить учебную версию АПК можно в Интернете на сервере МГТУ им. Н.Э. Баумана [12]. Дальнейшее развитие САПР данного направления будет осуществляться на основе объединения возможностей по обработке реальных сигналов с сеточными методами представления среды и объектов для более детального и адекватного учета характеристик и особенностей распространения различных волновых полей.

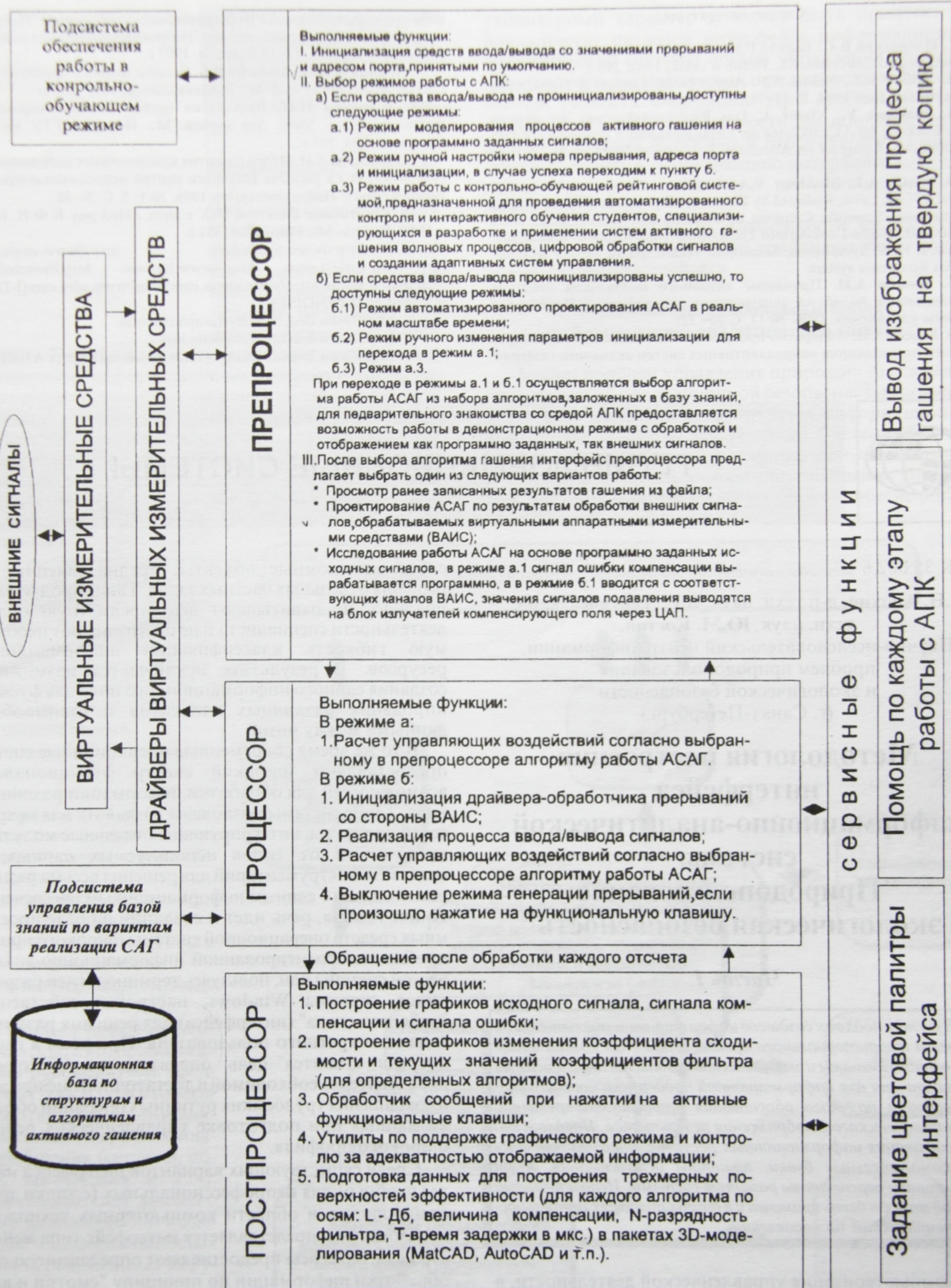


Рис. 4. Структурная схема аппаратно-программного комплекса автоматизированного проектирования систем активного гашения волновых полей

Список литературы

1. **Ильинский В.С.** Защита РЭА и прецизионного оборудования от внешних воздействий. М.: Радио и связь, 1982. 296 с.
2. **Elliott S.J., Nelson A.P.** Active Noise Control // *Noise/News International*, June 1994, P. 75–98.
3. **Shakhnov V., Vlasov A.** Das Realisierungskonzept der aktiven Unterdrückung der Akustiklärme der Electronengeräte // *Proceeding of 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, Norway, 26–30 June 1995*.
4. **Vlasov A.I., Shakhnov V.A.** Automatic Correction Means for Acoustic Noise Level, Radiated by Electronic Equipment // *Proceeding of International Scientific Congress of Students and Young Researchers "Youth and Science-Looking into Third Millennium, Moscow, Russia, Jan. 28-Feb. 2, 1996 / Symposium: Sciences in Technosphere, section State-of-the-Art Electronic system*.
5. **Власов А.И.** Принципы активного подавления действия вибрационных полей на электронную аппаратуру // *Приборы и системы управления*. 1996. № 11. С 30– 32.
6. **Власов А.И.** Аппаратно-программный комплекс автоматизированного исследования нейроадаптивных систем активного гашения виброакустических полей // III Всероссийская конференция "Нейрокомпьютеры и их применение", секция: "Нейрокомпьютеры для обработки сигналов", Москва, 12–14 февраля, 1997 г.
7. **Норенков И.П., Маличев В.Б.** Основы теории и проектирования САПР: Учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 1990. 355 с.
8. **Норенков И.П.** Разработка систем автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1994. 207 с.
9. **Галушкин А.И.** Итоги развития многослойных нейронных сетей (1965–1995 гг.) в работах Научного центра нейрокомпьютеров и ее перспективы // *Нейрокомпьютер* 1996. № 1, 2. С. 5– 38.
10. **Адаптивные фильтры:** Пер. с англ. / Под ред. К.Ф.Н. Коузла и П.М. Гранта. М.: Мир, 1988. 392 с.
11. <http://www.ti.com/sc/>; <http://www.analog.com/>;
<http://www.natinst.com/>; <http://www.hp.com/>; <http://prenhall.com/>;
<http://www.sni.de/>; <http://www.ansys.com/>; [http://www.sdrc.com\(I-DEAS\);](http://www.sdrc.com(I-DEAS);)
info@nit.be (SYSNOISE)
12. <http://www.deol.ru/vser/vlasov/activ.htm>
<http://www.bmstu.ru/in4/activ.htm>
<http://www.bmstu.ru/iu4/soft.htm> (учебная версия АПК)