

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ  
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

УДК 007:159.965

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ЛОКАЛЬНОЙ РАДИОСЕТИ  
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ\*

© 1996 г. Г. Н. Валаев, В. А. Войцекян, В. Н. Захаров

Москва, ВЦ РАН

Поступила в редакцию 19.04.96 г.

Описывается структура радиосети, обеспечивающая устойчивую радиосвязь между абонентами и состоящая из типовых ретрансляционных центров, построенных на базе многоканальной системы передачи информации. Система обладает всеми положительными качествами радиорелейных линий связи (скрытностью, широкополосностью, оперативностью предоставления каналов) и, вместе с тем, позволяет обеспечивать связь с абонентами по нескольким различным направлениям путем использования в ней кольцевой фазированной антенной решетки. В системе радиосвязи используется многоуровневая интеллектуальная система управления.

**Введение.** С развитием в нашем современном обществе различных негосударственных структур, таких, как коммерческие банки, торговые фирмы, совместные предприятия, страховые фонды, возникает необходимость удовлетворения их потребности в различных видах связи. Перечисленные выше структуры, как правило, насыщены телефонной аппаратурой (включая и телефаксы) и средствами вычислительной техники, нуждаются в обмене между собой значительными объемами конфиденциальной информации, по возможности, наиболее защищенными методами.

Существующие линии городских АТС не всегда удовлетворяют требованиям подобных абонентов в силу своей перегруженности, невозможности оперативного предоставления широкополосных каналов связи для скоростной передачи данных или полутоновой факсимильной информации, а также недостаточного обеспечения скрытности передаваемой информации.

Средствами связи, лишенными недостатков АТС, являются малогабаритные радиорелейные линии (РРЛ), которые могут обеспечить устойчивую радиосвязь между абонентами на дальностях от 5 до 20 км. При этом обеспечивается передача как речевой информации (телефонная связь), так и передачи компьютерных данных и факсимильной информации. Кроме того, при использовании СВЧ диапазона (10–11 ГГц) и цифровых методов передачи и обработки сигналов обеспечивается высокая скрытность передачи информации. Такие РРЛ в настоящее время разработаны и выпускаются рядом отечественных предприятий [1].

Однако РРЛ характеризует одна присущая им особенность, не вполне удовлетворяющая потре-

бителей, заключающаяся в том, что приемо-передающие радиорелейные станции обеспечивают передачу и прием радиосигналов только от одного пункта к другому. Для того, чтобы организовать связь какой-либо радиорелейной станции с несколькими пунктами (в пределах ее дальности действия), необходима установка дополнительных комплектов приемо-передающей аппаратуры и антенн, которых нет в современных РРЛ.

В данной статье рассматривается организация радиосети из типовых ретрансляционных пунктов как многоканальной системы передачи информации. Описываемая система передачи информации обладает всеми положительными качествами радиорелейных линий связи – скрытностью, широкополосностью, оперативностью предоставления каналов. Вместе с тем она имеет существенные преимущества перед РРЛ за счет обеспечения связи с абонентами, расположенными относительно друг друга на различных направлениях (до 5 направлений). Это достигается путем использования кольцевой фазированной антенной решетки (ФАР) для передачи сигналов по 5 различным направлениям, приемной цифровой ФАР для приема сигналов с 5 различных направлений и управляющей вычислительной системы (УВС).

УВС имеет базу данных, включающую адреса всех абонентов, сведения о наличии свободных каналов и направлений связи, данные об исправности аппаратуры и может быть отнесена к системам с интеллектуальным управлением, так как способна путем использования специальных решающих правил и знаний выполнять функции оператора по изменению направлений передачи информации, переключению каналов связи, расширению полосы канала для обеспечения скоростной передачи данных и полутоновых факси-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96-01-01927 А).

мильных изображений. УВС позволяет также организовывать ретрансляцию сигналов, тестировать аппаратуру и подключать резервные блоки при выходе из строя основных блоков.

Проблема автоматизации процессов управления передачей информации в радиосистемах с учетом загрузки, уровня помех и надежности каналов связи не нова. Ведущие отечественные и зарубежные специалисты занимаются ею не один десяток лет [2–7]. В последние годы интерес к этой проблеме повысился в связи с развитием новой информационной технологии, позволяющей создавать надежные адаптивные системы связи с использованием технологии инженерии знаний, нечеткой логики и средств обучения на базе нейронных сетей и генетических алгоритмов. В соответствии с появившейся в последние годы методологией создания интеллектуальных управляющих систем процесс проектирования системы начинается с анализа исполнительного уровня или, другими словами, с анализа объекта управления [8].

**1. Структура и особенности объекта управления.** Предлагаемая адаптивная система передачи информации (АСПИ), как уже упоминалось, обладает повышенной скрытностью и высокой помехозащищенностью за счет использования СВЧ диапазона, а также ФАР (цифровая ФАР на прием и кольцевая ФАР на передачу) и цифровых методов передачи и обработки информации.

Система предназначена для передачи и ретрансляции следующей информации: речевых сообщений (радиотелефонная связь), факсимильной передачи текстов и изображений и компьютерных данных. При этом обеспечивается: радиообмен информацией с 5 смежными АСПИ; передача информации не менее чем от 15 собственных абонентов АСПИ по 15 каналам связи с распределением ее между внешними абонентами 5 других АСПИ; высокоскоростная передача данных до 64 кбит/с и более за счет объединения нескольких каналов связи в один (скоростной).

В состав АСПИ входят следующие устройства:

устройство ввода-вывода информации для сопряжения абонентской аппаратуры (телефоны, факсы, компьютеры) с аппаратурой АСПИ;

каналообразующая аппаратура (КОА) типа серийной аппаратуры связи ИКМ-15 или ИКМ-30 для преобразования информации, передаваемой абонентской аппаратурой, в распределенный во времени набор импульсов (цифровой поток сигналов с временным разделением) и разделения ее на 15–30 каналов связи (в зависимости от типа применяемой КОА);

формирователь направлений для распределения цифрового потока сигналов, выработанного КОА, по 5 направлениям передачи;

приемно-передающая аппаратура;

передающая кольцевая ФАР;

приемная цифровая ФАР;

управляющая цифровая вычислительная система (УВС);

устройства питания;

контрольная и вспомогательная аппаратура.

К основным тактико-техническим характеристикам АСПИ относятся.

1. Дальность действия – до 10 км.
2. Количество направлений связи – 5.
3. Количество каналов связи – не менее 15.
4. Возможность распределения и перераспределения числа каналов связи (от 0 до 15 и более) между 5 направлениями в зависимости от нагрузки.
5. Ретрансляция информации, принимаемой с любого направления на любые другие направления (от 1 до 5 одновременно).
6. Рабочий диапазон частот – 10–11 ГГц.

Пример организации радиосети для связи абонентских пунктов между собой показан на рис. 1.

Каждый абонентский пункт (АП) имеет аппаратуру АСПИ, позволяющую сформировать до 5 приемно-передающих каналов, при помощи которых информация может передаваться по 5 направлениям. На рисунке показаны абонентские пункты АП1–АП6, антенные системы которых формируют диаграммы направленности антенн (ДНА) на прием и передачу в направлениях на каждый смежный АП. При этом каналы связи каждого АП могут быть использованы для непосредственной связи со смежным АП и для ретрансляции информации, поступившей от смежного АП на другой АП при невозможности установления непосредственной связи между ними [4]. Естественно, что в последнем случае число каналов связи, используемых своими абонентами на ретранслирующем АП, соответственно уменьшится.

Как уже указывалось выше, распределение каналов передачи информации по направлениям, перераспределение их с учетом загруженности и организация ретрансляции производится при помощи интеллектуальной УВС, которая выполняет роль диспетчера и оператора.

**2. Описание работы АСПИ.** Структурная схема АСПИ представлена на рис. 2. Ниже приводятся ее описание, особенности работы и прохождение сигналов по устройствам АСПИ.

2.1. Работа АСПИ на передачу. Сигналы от абонентской аппаратуры (телефонные аппараты, факсимильные аппараты, компьютеры) поступают в устройство ввода-вывода (УВВ), которое производит согласование их характерис-

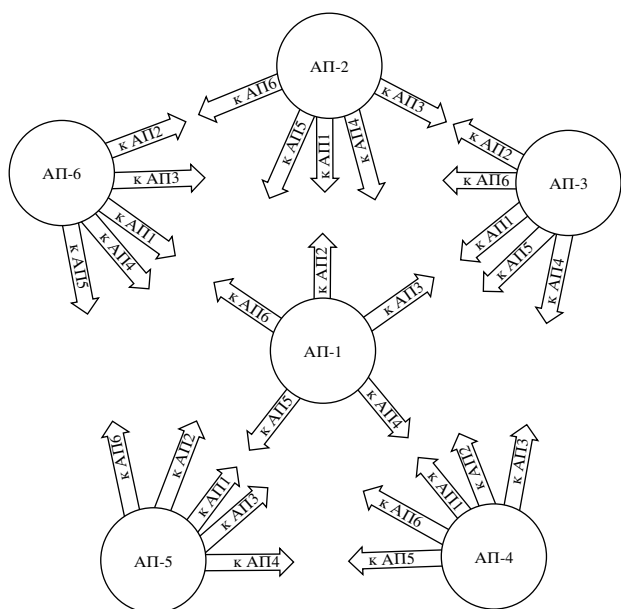


Рис. 1. Фрагмент радиосети для связи абонентских пунктов, оснащенных аппаратурой АСПИ.

тик с входными устройствами каналообразующей аппаратуры (КОА).

Из УВВ сигналы поступают в КОА. При этом аналоговые сигналы перед вводом в соответствующий канал подвергаются аналого-цифровому преобразованию. В КОА происходит формирование каналов и объединение сигналов всех каналов в единый групповой сигнал с временным раз-

делением (цифровой поток). При этом каждому каналному сигналу присваиваются некоторые отличительные признаки, по которым можно было бы эти сигналы при приеме на другом АП распределить по соответствующим приемным каналам.

При временном разделении каналных сигналов по цепи передаются периодические последовательности коротких импульсов, амплитуды которых равны величинам мгновенных значений каналных сигналов. После импульса первого канала передается импульс второго, третьего каналов, после чего цикл передачи повторяется.

По управляющим сигналам УВС в КОА может выполняться операция объединения нескольких телефонных каналов в один канал для скоростной передачи данных или полутоновой факсимильной передачи.

Цифровой поток из КОА поступает в формирователь направлений (ФН). Поскольку АСПИ должна обеспечивать работу с пятью АП, находящимися на различных направлениях, в ФН производится разделение единого цифрового потока, сформированного в КОА, на несколько групп (от 1 до 5). Число этих групп соответствует в каждый момент времени числу используемых направлений передачи, а число каналов в группе – числу абонентов, использующих это направление. Выборку каналов из общего потока и формирование групп по направлениям ФН производит под управлением УВС, то есть ФН производит пространственное распределение направлений передачи.

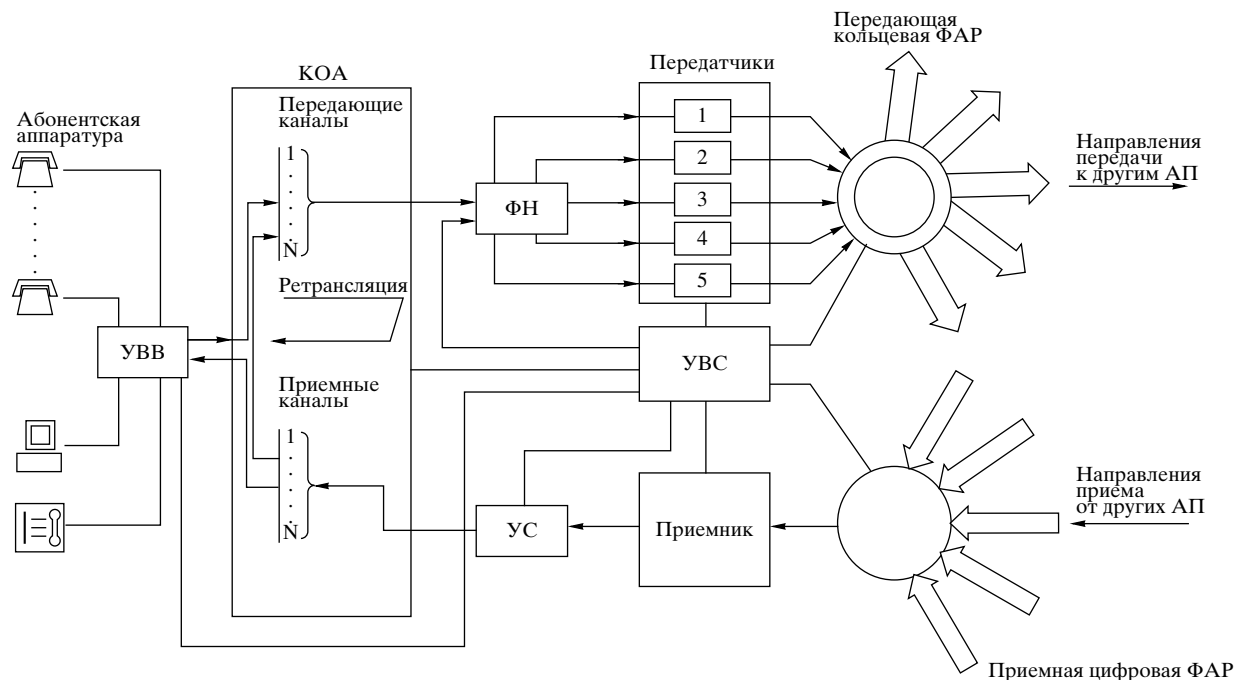


Рис. 2. Структурная схема АСПИ: УВВ – устройство ввода-вывода; КОА – каналообразующая аппаратура; ФН – формирователь направлений; УС – устройство сопряжения; УВС – управляющая вычислительная система.

Цифровой сигнал, сформированный в ФН для соответствующего направления, поступает в передатчик сигналов этого направления, а оттуда – в кольцевую передающую ФАР. Передающая кольцевая ФАР, в отличие от антенны обычной РРЛ, имеющей одну ДНА, формирует необходимое число диаграмм направленности на передачу (от 1 до 5) в пределах  $360^\circ$  по азимуту и обеспечивает излучение радиосигналов в заданных направлениях. Управление передающей кольцевой ФАР производится от УВС.

**2.2. Работа АСПИ на прием.** Сигналы, принимаемые от смежных АП, поступают на вход приемной цифровой ФАР, которая формирует до 5 приемных ДНА, направленных на соответствующие АП. Формирование ДНА производится по управляющим командам УВС.

Одним из преимуществ цифровой приемной ФАР является то, что наряду с формированием ДНА, обработка принятого сигнала, включая частотные преобразования и цифровую обработку, производится в приемных модулях самой антенны и с выхода ФАР в приемное устройство сигналы поступают в цифровой форме [7].

В приемном устройстве цифровые сигналы подвергаются дальнейшему преобразованию и усилению и поступают в устройство сопряжения (УС), предназначенное для преобразования цифровых сигналов к виду, удобному для обработки в КОА.

В КОА обеспечивается регенерация ослабленных и искаженных при передаче сигналов и распределение цифрового потока по каналам. После цифро-аналогового преобразования (в случае обработки речевых сигналов) сигналы из КОА через УВВ вводятся в окончательную абонентскую аппаратуру.

При поступлении из приемника в КОА сигналов для ретрансляции, они по командам УВС направляются после их регенерации в ФН в соответствии с присвоенным им адресом.

**2.3. Функции УВС в структуре АСПИ.** УВС в структуре АСПИ выполняет следующие задачи.

1. Управление работой ФН по распределению цифрового потока на несколько адресных направлений (до 5).

2. Управление формированием передающих ДНА.

3. Управление формированием приемных ДНА.

4. Управление объединением нескольких телефонных каналов в один канал скоростной передачи или передачи полутонового изображения по факсу с последующим их разъединением после окончания передачи.

5. Обеспечение приема и передачи транзитных сигналов в соответствии с их адресацией (ретрансляция).

6. Организация ретрансляции своих собственных абонентов через другие АП при отсутствии связи со смежным АП напрямую.

7. Обеспечение контроля за исправностью аппаратуры АСПИ и подключение резерва.

Для выполнения указанных выше задач УВС должна обладать определенным объемом информации (базой данных). К ней относятся:

1. Номера абонентов своего АП.
2. Вид обрабатываемой информации каждым абонентом своего АП (речевая, факсимильная, передача данных).
3. Номера (адреса) внешних абонентов (по каждому смежному АП).
4. Номера направлений на смежные АП.
5. Азимутальные углы направлений на смежные АП.
6. Тип аппаратуры на смежных АП и вид передаваемой ими информации.
7. Номера направлений (радиоканалов), с которыми имеется надежная связь.
8. Номера свободных и занятых каналов в КОА своего АП.
9. Номера исправных резервных блоков в АСПИ своего АП.
10. Допустимое отношение сигнал/помеха в радиоканале.
11. Допустимые уровни снижения рабочих параметров блоков АСПИ.
12. Текущая информация об уровнях сигналов и помех в каждом из 5 радиоканалов.
13. Текущая информация об уровнях рабочих параметров в блоках АСПИ.

**3. Пример функционирования АСПИ.** В качестве примера работы АСПИ рассмотрим рис. 2 и 3. На рис. 2 представлена структурная схема АСПИ, по которой можно проследить функционирование входящих в нее устройств. На рис. 3 изображены два АП (АП1 и АП2), связанные между собой радиолинией. Для упрощения рассмотрения из всей аппаратуры АСПИ на рисунке показана лишь абонентская аппаратура.

Предположим, что абоненту № 1 АП1 необходимо связаться с абонентом № 4 АП2. Задача решается следующим образом. Сигнал вызова от абонента № 1 через УВВ поступает в КОА, которая этот сигнал преобразует в цифровой код и для его передачи выделяет любой свободный канал, в данном случае, канал № 1. УВС АСПИ-1, получив информацию о вызове абонента № 4 в АП2, основываясь на знаниях об адресе абонента № 4, вырабатывает команды:

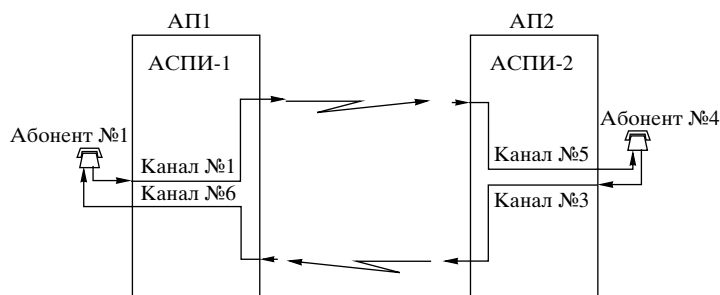


Рис. 3. Схема прохождения сигналов от абонента № 1 к абоненту № 4 и обратно.

формирователю направлений – о передаче сигналов канала № 1 на направление № 2;

передающей ФАР – на формирование ДНА с установкой ее в направлении на АП2.

Сигнал, переданный с АП1, будет принят приемной ФАР АП2. После обработки в приемнике и в УС сигнал поступит в КОА и займет один из свободных каналов, например, канал № 5. В КОА произойдет цифро-аналоговое преобразование сигнала и его адресация через УВВ к вызываемому абоненту № 4.

Управление выбором свободного канала и адресацией сигнала к абоненту происходит по командам УВС АСПИ-2 на основании ее знаний и поступившей от АСПИ-1 адресной информации.

В свою очередь, при ответе на вызов абонент АП2 № 4 займет в КОА АСПИ-2 один из свободных каналов, например, канал № 3. По этому каналу сигнал с помощью ФН будет направлен в соответствующий передатчик и передан на АП1. Сигнал ответа от абонента № 4 АП2, будучи принятым в АП1 приемной антенной, поступит через приемник и УС в КОА и там займет один из свободных каналов, например, № 6. После цифро-аналогового преобразования сигнал через УВВ поступит к абоненту № 1.

Таким образом, для организации двухсторонней связи между АСПИ на каждой из них будет

занято по 2 канала: 1 канал на передачу и 1 канал на прием. В нашем случае на АП1 на передачу занят канал № 1 и на прием – канал № 6; на АП2 на передачу занят канал № 3 и на прием – канал № 5. Организация транзита каналов показана на рис. 4, где рассматривается организация связи абонента № 3 АП1 с абонентом № 8 АП3 через АП2. Логика работы аппаратуры и прохождения сигнала от АП1 к АП2 будут аналогичны описанным выше. Однако при организации транзитной передачи сигнала в ретранслирующей АСПИ используется удвоенное число каналов: 2 канала на прием (четвертый и девятый на рис. 4) и 2 канала на передачу (первый и второй). При проектировании аппаратуры это обстоятельство необходимо учитывать с тем, чтобы число каналов КОА было достаточным для обеспечения связи между абонентами всех АП.

**4. Меры повышения надежности связи.** Задачи, решаемые УВС, по своей сложности могут быть разбиты на 2 группы.

1-я группа задач является относительно простой, решаемой по сравнительно несложным алгоритмам и требует лишь наличия соответствующего программного обеспечения и достаточного быстродействия ЭВМ для выполнения вычислений в реальном масштабе времени.

К этим задачам относятся функции системы, выполняемые в обычном режиме:

распределение цифрового потока по радиоканалам;

управление устройствами сопряжения;

формирование передающих и приемных ДНА;

объединение нескольких каналов в один канал и обратное их разъединение;

контроль за исправностью аппаратуры с подключением резерва.

Наиболее сложной задачей здесь является формирование ДНА, которое производится методом дискретного преобразования Фурье. Однако современными ЭВМ эта задача успешно решается.

Гораздо более трудной для решения является вторая группа задач, призванная обеспечить ус-

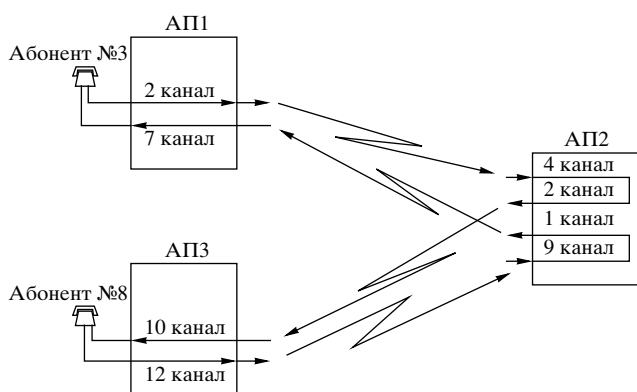


Рис. 4. Схема ретрансляции сигналов.

тойчивую связь в сложных условиях, включая поиск обходных путей для обеспечения связи при наличии неисправных или пораженных помехой каналов (как для своих собственных абонентов, так и для абонентов смежных систем по их запросам). Эта группа задач в свою очередь может быть разбита на несколько подзадач:

контроль за уровнем загрузки каналов и радиолиний и его анализ;

контроль за уровнем помех в радиолиниях и каналах и его анализ;

контроль работоспособности каналов и радиолиний и ее анализ;

опрос смежных АП о наличии свободных от передачи информации каналов и радиолиний с созданием базы данных и ее непрерывным обновлением;

передача ответов на запросы смежных АП о наличии свободных каналов и радиолиний на своем АП (с учетом приоритетности своих абонентов);

поиск и организация обходных путей для передачи информации на один из смежных АП через другие АП при отсутствии с ним прямой связи;

обеспечение приема и ретрансляции информации от одного АП к другому по их запросу при отсутствии непосредственной связи между ними (с учетом приоритетности своих абонентов).

К настоящему времени известны многочисленные подходы к решению всех перечисленных выше задач, начиная от пионерских работ по моделям коллективного поведения автоматов [3] и до вполне современных исследований, основанных на использовании моделей и методов, традиционных для проблемной области “искусственный интеллект”. Решение этих задач с привлечением средств современной информационной технологии требует введения в состав управляющих вычислительных систем баз знаний, а также использования специальных методов обработки неточных и неопределенных знаний и организации логического вывода на знаниях.

Управляющие вычислительные системы, в алгоритмах управления которых используется обработка знаний, относятся к классу интеллектуальных управляющих систем [8].

**5. Общая структура проектируемой интеллектуальной УВС.** Современные интеллектуальные системы управления строятся по многоуровневому принципу с отношением соподчинения нижних уровней верхним. Как минимум, в таких системах выделяются следующие два глобальных уровня, каждый из которых в свою очередь может быть многоуровневым: нижний уровень – исполнительный, а верхний – уровень интеллектуальной надстройки.

В проектируемой интеллектуальной УВС исполнительный уровень состоит из совокупности процессоров и блоков управления ими, работающих по “жесткой” логике. На их работу существенное влияние оказывают управляющие сигналы, поступающие от уровня интеллектуальной надстройки. На первом этапе разработки этот уровень будет включать в свой состав базу нечетких знаний и механизмы нечеткого вывода. При этом используется известная схема “мягких” вычислений, приведенная, в частности, в [9]. С помощью нечетких продукционных правил осуществляется лингвистическая аппроксимация процессов выбора и коммутации каналов с учетом их загруженности, уровня помех, параметров аппаратуры.

На более поздних этапах разработки системы уровень нечеткого управления дополнится уровнем прогноза внешних ситуаций, уровнем самообучения системы и диагностической экспертной системой, позволяющей своевременно выявлять и устранять повреждения в системе путем включения резервных блоков.

Управляющая система, включающая перечисленные выше уровни, относится, как известно из [8], к системам управления, интеллектуальным в “большом”.

В качестве примера работы уровня нечеткого управления рассмотрим задачу обеспечения обходного канала связи через смежный АП после выхода из строя радиолинии, обеспечивающей прямую связь.

В нормальном (“штатном”) режиме работа системы проходит как обычно (см. рис. 1), то есть для обеспечения, например, связи АП1 с АП2 на АП1 сформированы ДНА на прием и передачу, ориентированные на АП2. На АП2, в свою очередь, сформированы ДНА на прием и передачу, сориентированные, соответственно на АП1. Таким же образом организованы радиолинии и между другими АП. По всем радиолиниям ведется обмен передаваемой информацией.

Пусть в ходе работы в подсистеме анализа внешней ситуации УВС АСПИ-1 появляются данные о том, что радиолиния между АП1 и АП2 вышла из строя (отказ аппаратуры или появление помех, превышающих допустимый порог). В свя-

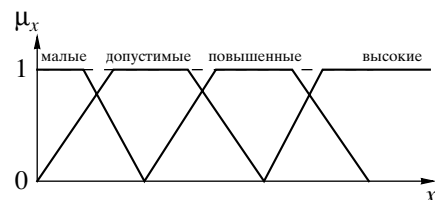


Рис. 5. Общий вид функций принадлежности:  $x$  – лингвистическая переменная “уровень помех”.

зи с этим возникает задача обеспечения связи через другие АП.

На рис. 5 дан примерный вид функций принадлежности показателям уровня помех или отклонений параметров аппаратуры канала лингвистическим значениям: “малые”, “допустимые”, “повышенные”, “высокие”. Измеряемые значения уровня помех или отклонений параметров поступают для преобразования в специальный блок УВС, называемый “фазификатор”. На выходе фазификатора формируются перечисленные выше лингвистические значения и передаются в базу нечетких продукционных правил. При совпадении соответствующих условий правила срабатывают и формируют управляющие воздействия на исполнительный уровень УВС.

Для решения задачи поиска обходного канала связи решающие правила могут иметь следующий вид.

1. Если уровень помех или отклонения от параметров аппаратуры в какой-либо радиолинии (в нашем случае между АП1 и АП2) “малые”, то продолжать программу “Прямая связь”.

2. Если уровень помех или отклонения от параметров “допустимые”, то продолжать реализацию программы “Прямая связь” и включить программу “Запрос”. По этой программе начинается опрос станций, смежных с АП2 (в нашем случае – АП3 и АП6) о наличии свободных каналов в сторону АП2.

3. Если уровень помех или отклонения от параметров “Повышенные”, то включается программа “Приоритеты”. По этой программе для всех абонентов АП1 и смежных АП3 и АП6, ведущих передачу информации на АП2, устанавливаются приоритеты передаваемой информации в соответствии с ее важностью.

4. Если уровень помех или отклонения от параметров “Высокие”, то включается программа “Ретрансляция”. По этой программе радиолиния между АП1 и АП2 отключается и всем абонентам, передававшим информацию на АП2 предоставляются обходные каналы через АП3 и (или) АП5 в соответствии с очередностью, установленной программой “Приоритеты”.

**Заключение.** Описанная система будет способна решать достаточно сложные задачи в реальном времени без привлечения оператора. При этом следует отметить одно из существенных преимуществ такой системы перед человеком-оператором. Оператор, обнаружив возрастание

уровня помех (либо наличие первых признаков неисправности аппаратуры) обычно не предпринимает никаких действий, а ограничивается лишь констатацией факта наличия небольшой помехи или пока еще не явной неисправности (ухудшения параметров). И только тогда, когда происходит реальное событие (полное нарушение связи), оператор вынужден, отвлекаясь от обслуживания других абонентов, начать операции по поиску обходных каналов или по замене (переключению) вышедшей из строя аппаратуры.

В то же время интеллектуальная УВС сможет постоянно контролировать ситуацию от первых проявлений неисправности или незначительного возрастания помех, еще не влияющих на работоспособность системы, до полного прекращения связи. Используя ряд специальных решающих правил УВС сможет заранее подготовиться к экстремальной ситуации с тем, чтобы сразу после ее возникновения обеспечить ретрансляцию сигналов через смежные станции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баева Н.Н.* Многоканальная электросвязь и РРЛ. М.: Радио и связь, 1988.
2. *Stefanuk V.L., Tzetlin M.L.* On power control in the collective of radiostations // Information transmission problems. 1967. V. 3. № 4.
3. *Stefanuk V.L.* The behaviour of the collective of automata in the problem of power control // Problems of cybernetics. 1968. № 20.
4. *Stefanuk V.L.* On a mutual assistance in the collective of radiostations // Information transmission problems. 1971. V. 7. № 3.
5. *Stefanuk V.L.* On the interaction in local control // Automation and remote control. 1973. № 6.
6. *Бутрименко А.В.* Разработка и эксплуатация сетей ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1981.
7. Проблемы антенной техники / Под ред. Л.Д. Бахраха и Д.И. Воскресенского. М.: Радио и связь, 1989.
8. *Zakharov V.N., Ulyanov S.V.* Fuzzy models of intelligent industrial controllers and control systems // Journal of computer and systems sciences international. 1995. V. 33. № 2.
9. *Валаев Г.Н., Войцекян В.А., Захаров В.Н., Шевяков В.П.* Реконфигурируемая вычислительная среда в интеллектуальной системе управления автономным ЛА // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1995. № 4.