

УДК 534.782.001:621.39

А.А. Давлетьянд

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Рассмотрены методы формирования речевых сообщений, дана их сравнительная характеристика. Обоснована целесообразность выбора ПЭВМ в качестве средства формирования, воспроизведения, хранения и документирования речевых сообщений. В качестве примера рассмотрена система автоматического вещания информации по аэродрому. Приведены алгоритм работы и описание программного блока оценки качества сигнала в вещательной сети*

В авиационных, железнодорожных и других транспортных системах, являющихся эргатическими, операторы должны быть обеспечены непрерывным информационным обслуживанием. Характер информационного обслуживания может быть различным: от простого контроля работоспособности канала связи, до подробной справки о метеорологических условиях по маршруту следования воздушного судна с рекомендациями и указаниями диспетчера по выполнению рейса.

Большая часть информационных сообщений обычно должна быть доступной всем транспортным средствам (конкретного вида транспорта). Такие сообщения, как правило, формируются по установившимся (часто утвержденным соответствующими документами) формам. Это обстоятельство позволяет автоматизировать процесс формирования сообщений с последующей выдачей их в канал вещания по запросу или в заданные моменты времени. Возможна также организация воспроизведения речевых сообщений в циклическом режиме со сменой (коррекцией) содержания через установленные интервалы времени. Изменение содержания сообщений при этом может производиться как по сигналам датчиков (например, метеорологических), так и по инициативе оператора.

Автоматизированные системы информационного обслуживания для различных транспортных систем могут быть построены по одной идеологии и на единых принципах.

Наиболее универсальным базовым техническим средством при реализации таких систем может служить ПЭВМ, периферия которой должна содержать аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи, линейные усилители сигналов, приемники сигналов датчиков. Программное обеспечение ПЭВМ должно быть разработано на основе полностью определенного набора алгоритмов решения задач формирования информационных сообщений для конкретной транспортной системы.

Для реализации автоматизированной системы можно выделить два основных метода формирования речевых сообщений: непосредственное синтезирование речевого сообщения ПЭВМ или предварительная загрузка диктором-оператором банка звуковых данных с записью на жесткий диск (HDD) и дальнейшим воспроизведением.

В первом случае цифровые данные, необходимые для формирования речевого сигнала, занимают небольшой объем памяти. При этом, однако, воспроизводимый речевой сигнал имеет неестественное звучание, что создает нежелательную дополнительную нагрузку на оператора, принимающего информацию. Во втором же случае сигнал по качеству практически совпадает с голосом диктора-оператора, но занимает гораздо больший объем.

Для эргатических систем в большинстве случаев очень важно качество принимаемого сигнала (например, при передаче метеосообщений на борт воздушного судна), поэтому

предпочтение следует отдать второму методу реализации. С целью уменьшения объема цифровых данных следует применять методы компрессии речевых сигналов.

В качестве примера рассмотрим методы и средства подготовки, формирования, передачи и контроля сообщений, реализованные в системе автоматического вещания информации по аэродрому - ATIS (Automated Terminal Information Service).

Используемые средства призваны повысить оперативность формирования и полноту информационного обеспечения воздушных судов в зоне аэродрома и, как следствие, безопасность воздушного движения.

Система является наиболее полной по функциональному составу и реализуемым алгоритмам информационного обслуживания. Кроме того, реализация такой системы инициируется возросшими в последнее время требованиями международной организации ИКАО к сервисному обслуживанию бортов в воздухе, а также соответствующими документами с требованиями по унификации форм и фразеологии речевых сообщений в канале управления земля-борт.

Автоматизация процесса формирования и документирования речевых сообщений позволит производить информационное обслуживание транспортных средств на различных языках вещания.

Основные результаты разработки автоматизированной системы обслуживания воздушных судов могут быть использованы при создании подобных систем для любого вида транспорта.

На разрабатываемую автоматизированную систему формирования и документирования речевых сигналов (АСФДРС) возлагаются следующие задачи :

- сбор и обработка первичных диспетчерских и метеорологических данных;
- составление на основе первичной информации полной сводки ATIS;
- формирование по тексту сводки речевого сигнала;
- циклическое воспроизведение речевого сигнала и передача его в канал радиовещания;
- документирование речевых сигналов, передаваемых по каналам связи.

В настоящее время подготовка речевых сообщений к вещанию, их вещание и документирование осуществляется по следующей технологии.

Оператором на основе информации различных служб поступающей по различным каналам (телефон, телеграф, показания технических средств) формируется сводка ATIS.

В установленные моменты времени (обычно 00 и 30 мин. каждого часа) оператор с помощью микрофона производит запись речевого сообщения в долговременную память. В качестве запоминающего устройства используются аналоговые магнитофоны типа «Погода», «Погода М», а также разработанная на кафедре радиоэлектроники Киевского международного университета гражданской авиации электронная аппаратура «ЭРИ» и серийно выпускаемый вариант «Тон».

Перечисленные технические средства имеют циклический режим работы, что позволяет производить вещание в интервале между моментами обновления информации без участия диктора, т.е. в автоматическом режиме. Обновление речевой информации осуществляется оператором всегда в полном объеме независимо от степени изменения первичной информации.

В разрабатываемой автоматизированной системе изменению подлежат лишь отличные от предыдущего сообщения элементы. Основной объем элементов сообщений (текстовых, речевых) хранится в предварительно созданных базах данных. Для метеорологической части сводки ATIS при наличии соответствующего канала информационного обеспечения коррекция сообщений может производиться без участия оператора.

Диспетчерская часть информации при существующем в настоящее время техническом уровне оснащения аэропортов подлежит коррекции с помощью элементов разработанных графическо-текстовых интерфейсов. На экране дисплея при этом должна формироваться общая сводка в текстовой форме. При переходе в режим воспроизведения речевое сообще-

ние, формируемое автоматически без участия оператора в циклическом режиме, должно полностью соответствовать имеющейся в текстовой форме сводке ATIS.

Указанный подход к формированию сообщений ATIS обеспечивает большую оперативность смены сообщений, что особо важно при возникновении особых условий, влияющих на безопасность воздушного движения. Кроме того, при формировании сообщений при этом будут использованы лишь термины, утвержденные соответствующими документами.

Обеспечивается высокая разборчивость речи, так как база речевых сигналов может быть создана с привлечением квалифицированных дикторов, а звукозапись соответствует студийному качеству.

База данных может содержать несколько языков вещания. Выбор языка (языков) вещания осуществляется соответствующими органами управления.

После формирования и выдачи информации в эфир осуществляется архивирование всех переговоров, ведущихся по каналу «земля – борт», метеорологической сводки, информации канала ATIS и других речевых сигналов в каналах информационного обеспечения полетов. Архивирование требует использования соответствующих систем документирования сигналов звукового диапазона частот. В аэропортах гражданской авиации эксплуатируются, в основном, физически и морально устаревшие многоканальные магнитофоны венгерского производства типа SHR.

В последнее время на рынке Украины появились цифровые многоканальные системы регистрации речевых сигналов. В некоторых аэропортах гражданской авиации Украины уже приняты к опытной эксплуатации такие цифровые регистраторы. К сожалению, стоимость этих изделий очень высока.

Разрабатываемая автоматизированная система формирования и документирования речевых сигналов в первую очередь должна удовлетворять общим требованиям к техническим средствам, используемым в обеспечении безопасности воздушного движения.

Специфические требования к системе определяются рекомендациями ИКАО и соответствующими инструкциями по подготовке и передаче сообщений автоматического вещания и документирования информации по аэродрому.

Автоматизированная система должна обеспечивать:

- возможность оперативного обновления вещаемой информации с автоматическим изменением кодового обозначения, соответствующего очередной сводке;
- запись через микрофон речевых сигналов в банк речевых данных;
- возможность оперативного дополнения с помощью микрофона сформированной для вещания сводки ATIS неформализованным речевым сообщением (без расширения базы данных);
- составление с предъявлением оператору системы для контроля формализованной части сообщения в текстовой форме;
- возможность контрольного прослушивания с помощью акустической системы полной сводки ATIS (формализованной и неформализованной частей) без выдачи сигнала в вещательную сеть;
- контрольные прослушивания текущей сводки, передаваемой в вещательную сеть с возможностью регулировки громкости;
- минимум операций при смене сводки (корректируются лишь изменившиеся параметры);
- уровень звуковой разборчивости речевой информации не хуже первого класса качества воспроизведения речи по ГОСТ 16600-72;
- выходной сигнал, регулируемый в диапазоне 0.1-0.7 В при сопротивлении нагрузки 600 Ом;
- формирование ATIS сводки до четырех направлений вылета и посадки;

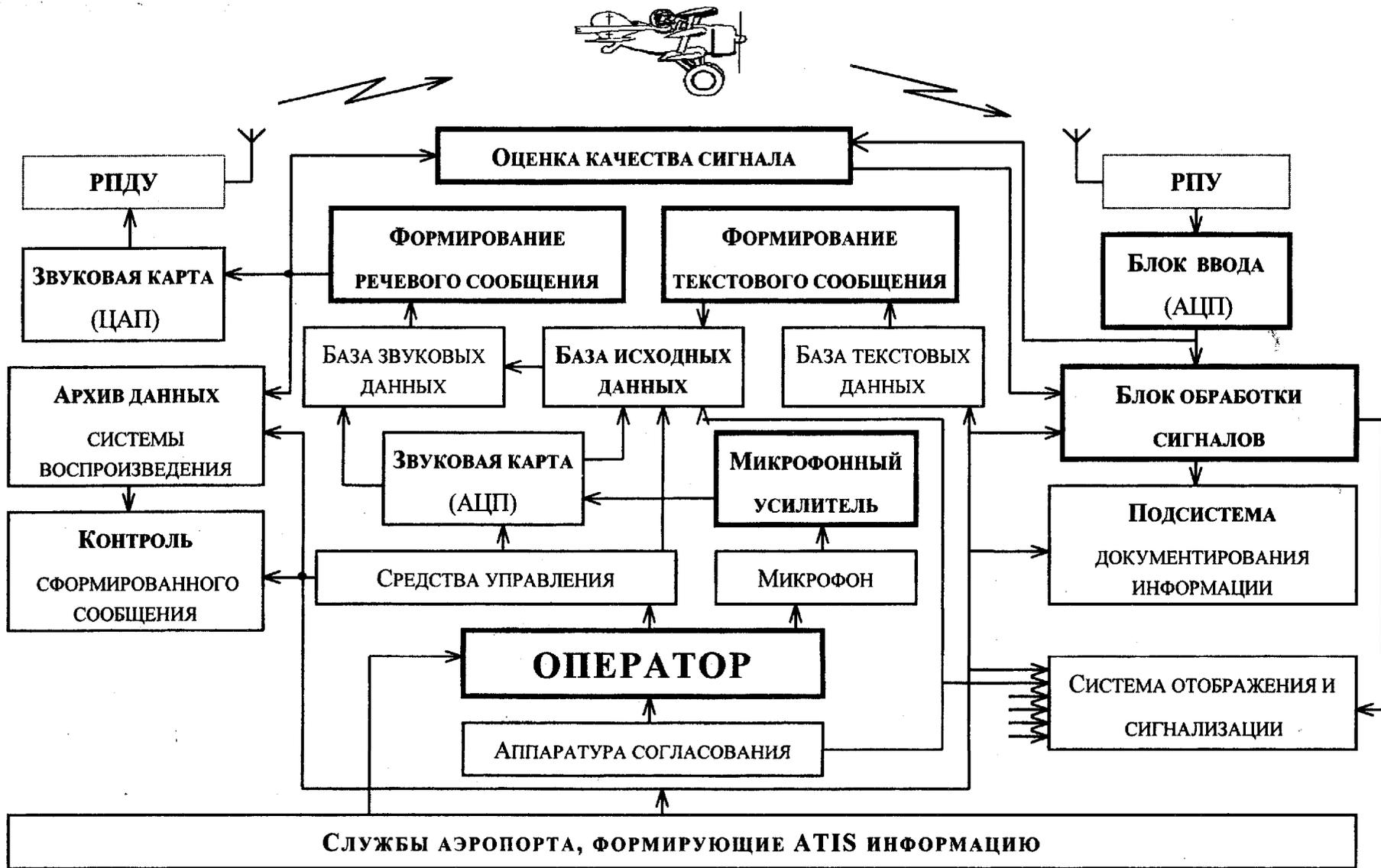


Схема подготовки, формирования, передачи, контроля и документирования ATIS информации

- многооконный интерфейс с возможностью оперативного доступа к любому компоненту формируемой сводки;
- возможность доступа к конфигурации и ресурсам программы лишь администратору системы;
- возможность дублирования базы данных на нескольких языках с использованием при вещании одного или двух языков;
- документирование сообщений, принятых по каналам связи;
- запись речевой информации по нескольким каналам;
- возможность прослушивания речевых сигналов канала, записанных в определенный отрезок времени;
- естественное звучание речевого сигнала, воспроизводимого автоматизированной системой;
- цикл записи не менее 24 ч;
- надежность хранения всей информации, поступающей в систему;
- непрерывный режим работы.

На основе сформулированных требований к системе, разработана обобщенная структурная схема (см. рисунок).

В состав АСФДРС входят следующие функциональные элементы:

- базовая ЭВМ;
- блок ввода – аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- микрофон и микрофонный усилитель;
- аппаратура согласования;
- рабочие места диспетчеров.

Базовая ЭВМ представляет собой персональную ЭВМ типа IBM PC, которая выполняет следующие функции:

- управление АСФДРС;
- формирование звуковой информации;
- отображение и сигнализация работы системы;
- цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразования звука;
- оценка качества сигнала и канала связи;
- документирование поступающей информации;
- обеспечение взаимодействия между функциональными блоками системы.

Работа системы происходит по следующему циклу.

1. Формируется сводка сообщения ATIS. Сообщение подготавливается службой движения на основании информации, предоставляемой ответственными лицами служб, участвующих в обеспечении полетов и обслуживании воздушного движения.

2. Сформированная сводка передается по телеграфному или по телефонному каналу связи на аппаратуру согласования, где происходит преобразование сигнала из аналоговой формы в цифровую.

3. Цифровой сигнал поступает в ПЭВМ через порт ввода. Посредством программных средств данные перемещаются в базу исходных данных. База исходных данных содержит упорядоченный набор текстовых и возможных речевых данных, которые составляют текущую сводку ATIS. При этом все элементарные части текстовых сообщений представлены в базе текстовых сообщений, которая может корректироваться и дополняться пользователями системы.

4. Во время формирования текущей сводки ATIS оператор имеет возможность корректировать и дополнять ее новыми речевыми фрагментами.

Дополнительные речевые фрагменты, которых нет в звуковой базе данных, могут быть начитаны оператором с использованием микрофона. При записи аналоговый сигнал проходит через микрофонный усилитель, поступая на звуковую карту компьютера.

Используя микрофонный вход можно также формировать новые элементарные звуковые фрагменты для пополнения звуковой базы данных.

5. По инициативе оператора (либо в случае автоматизации процесса вещания) в определенные моменты времени сигнал выдается в вещательную сеть. При этом цифровой сигнал проходит через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) звуковой платы, где преобразуется в аналоговый, и поступает на устройство согласования с радиопередающим устройством (РПДУ).

В системе осуществляется запись времени выдачи сообщения в сеть. Текстовое содержание сообщения регистрируется в архиве данных системы воспроизведения.

В процессе работы системы возможен режим контрольного прослушивания сформированного сообщения без выдачи его в вещательную сеть.

6. Аналоговый сигнал, согласованный по уровню, передается на РПДУ. Излученный сигнал принимается потребителями, а также наземным радиоприемным устройством (РПУ), откуда через аппаратуру согласования передается на блок ввода (АЦП) системы.

7. Блок ввода представляет собой АЦП, после которого полученные и преобразованные данные поступают в блок обработки и в блок оценки качества.

В блоке оценки качества производится оценка коэффициента взаимной корреляции сформированного системой и принятого РПУ сигналов. Одновременно оценивается уровень принятого сигнала. При снижении значения коэффициента корреляции или уровня сигнала ниже допустимого уровня вырабатывается сигнал тревоги, который предоставляется пользователю с помощью системы отображения и сигнализации.

8. В блоке обработки происходит подготовка речевой информации и сведений о работе системы для документирования.

Информация, поступающая в блок, перед документированием должна быть сжата, что необходимо для повышения времени цикла документирования.

В качестве алгоритмов сжатия разработан следующий метод.

Речевой сигнал подвергается дельта-модуляции, который позволяет увеличить время записи в 2-4 раза (в зависимости от требований к качеству восстанавливаемого сигнала) при сохранении режима записи в реальном времени.

После этого применяется разработанный алгоритм сжатия данных после импульсно-кодовой модуляции.

Коэффициент сжатия информации зависит от задаваемой разрядности документированной информации, что в свою очередь влияет на качество записи.

9. В подсистеме документирования происходит запись сжатой речевой информации, а также таких текстовых элементов как время записи, режим состояния системы, значений показателей качества сигналов и т.п.

В подсистеме имеется возможность поиска нужной записи по введенным параметрам сообщения и воспроизведения через контрольную систему на рабочем месте оператора.

В процессе работы системы оператор имеет возможность доступа ко всем программным модулям с помощью средств управления. К средствам управления относятся стандартные устройства: клавиатура, манипулятор «мышь» и т.д. Могут быть использованы также дополнительные: тумблеры, переключатели, реле и т.п.

В процессе работы автоматизированной системы состояния всех узлов индицируются в подсистеме отображения и сигнализации.

В разрабатываемой системе для оценки качества речевого сигнала используется программный блок, который анализирует не только интенсивность принятого сигнала, но и его корреляцию с сигналом, выданным в вещательную сеть. Таким образом, осуществляется контроль работы системы от формирования речевого сигнала до его приема.

Если значение вычисленной оценки выходит за границы допустимой области, то в системе формируется и воспроизводится сигнал тревоги.

Оценка корреляции сигналов осуществляется по выборочным значениям отсчетов, формируемого ПЭВМ сигнала и принятого сигнала после его аналого-цифрового преобразования. При этом метод оценки заключается в замене вероятностей в теоретических показателях частотами, математических ожиданий – соответствующими средними арифметическими, дисперсий – их статистическими оценками, т.е. выборочными дисперсиями и т.д.

Вместо двумерного теоретического закона распределения выборка доставляет эмпирический аналог его в виде  $n$  наблюдений, каждое из которых фиксирует пару сопряженных значений интересующих величин  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ .

Корреляционные характеристики вычисляются в следующем порядке. Сначала определяются два средних значения

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i,$$

где  $x_i$  – отсчет, формируемой реализации речевого сигнала;  $y_i$  – отсчет, реализации речевого сигнала в канале вещания.

Далее определяются три момента второго порядка, а именно: две эмпирические дисперсии

$$m_{2x} = s_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2,$$

$$m_{2y} = s_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 - \bar{y}^2,$$

и эмпирический момент связи (ковариация)

$$\overline{\text{cov}(x, y)} = m_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y} = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n} \right].$$

По этим данным вычисляется оценка коэффициента корреляции :

$$r = \frac{m_{xy}}{\sqrt{m_{2x} \cdot m_{2y}}}.$$

Значение  $m_{2y}$  является оценкой интенсивности принятого сигнала.

Значение  $r$  лежит в пределах  $[0;1]$ . Близость значения  $r$  к единице означает точное воспроизведение речевого сигнала в канале связи. Снижение значения  $r$  характеризует снижение качества воспроизводимого сигнала. Минимальное значение  $r$  определяется допустимым уровнем искажения речевого сигнала.

Результаты лабораторных испытаний разработанного макетного образца рассмотренной автоматизированной системы вещания показали, что предложенные средства формирования речевых сообщений повысили оперативность, полноту и качество информационного обеспечения потребителей.

#### Список литературы

1. Дядунов А.Н., Онищенко Ю.А., Сенин А.И.. Адаптивные системы сбора и передачи аналоговой информации. Основы теории. - М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.

Стаття надійшла до редакції 18 листопада 1999 року.