

В.В. Павлов, А.Е. Волков, Д.А. Волошенюк

## Сетецентрическая система управления и контроля передачи информационных данных в моделях удаленного управления воздушными кораблями

Рассмотрена необходимость создания системы управления и контроля передачи информационных данных в моделях удаленного управления динамическими объектами (воздушными кораблями), а также идея применения сетецентрических технологий для создания такой системы в гражданской авиации. Это позволит обеспечить системную и функционально-временную совместимость воздушных кораблей с наземными управляющими комплексами.

The need for a system of management and control of information transmission of data in the remote control of dynamic objects (airships) is considered. The idea of using network-centric technology for creation such system in the civil aviation is proposed. This will ensure a systematic, functional and temporary compatibility of the airships with the ground control systems.

Розглянуто необхідність створення системи керування та контролю передачі інформаційних даних в моделях віддаленого керування динамічними об'єктами (повітряними кораблями), а також ідею застосування мережецентричних технологій для створення такої системи в цивільній авіації. Це дозволить забезпечити системну і функціонально-часову сумісність повітряних кораблів з наземними керуючими комплексами.

**Введение.** В современном мире большинство предприятий и организаций используют в своей деятельности различные информационные системы, обрабатывающие большие массивы информации. Авиационная промышленность не составляет исключение. Большие объемы визуальной и текстовой информации обрабатываются сетевыми технологиями и современными технологиями передачи данных в процессе управления воздушным движением и для пересылки аэронавигационной информации.

Весь процесс управления воздушным движением (УВД) в авиации основан на авиационной связи и передаче данных между потребителями и источниками. Сети авиационной связи охватывают экипажи воздушных кораблей (ВК), диспетчерские службы, аварийно-спасательные службы, производственные предприятия, авиационные метеорологические станции и т.д.

Так как одним из основных звеньев в обеспечении деятельности и безопасности полетов в гражданской авиации (ГА) есть понятие *авиационная вычислительная сеть*, то необходимо дать ему четкое определение. Авиационная вычислительная сеть (АВС) – это система взаимосвязанных и распределенных по фикси-

рованной территории вычислительных центров, ориентированных на комплексное использование общих ресурсов: аппаратных, программных и информационных. АВС – это система, состоящая из двух и более вычислительных машин (компьютеров/серверов), соединенных с помощью специальной аппаратуры и взаимодействующих между собой через каналы передачи данных [1].

Основные компоненты такой современной сети:

- крайние узлы (компьютеры/серверы), которые создают и потребляют информацию;
- коммуникационное оборудование (мультиплексоры, коммутаторы, маршрутизаторы, кодеры, декодеры и т.д.), осуществляющие прием, промежуточное хранение и передачу информации, управляет направлением передачи и контролирует перегрузки узлов и правильность передачи;
- сетевые операционные системы (комплексы программ), обеспечивающие в сети обработку, хранение и передачу данных;
- сетевые дополнения (базы данных, средства архивации данных, системы автоматизации и защиты).

В зависимости от возможных направлений передачи информации различают такие типы каналов связи в ГА [2]:

- симплексные (передачи данных только в одном направлении);

**Ключевые слова:** сетецентрическая система, безопасность полетов, системы связи, динамические модели, воздушный корабль, пакеты данных, удаленное управление.

- полудуплексные (обеспечивают поочередную передачу данных по одной линии связи в прямом и обратном направлении);

- дуплексные (позволяют передавать и принимать данные одновременно в двух встречных направлениях).

Исходя из сказанного, можно сделать вывод о том, что авиационная сеть имеет очень разветвленную структуру, состоящую из многих элементов, обеспечивающих работу всей сети. В нее входят центры УВД (диспетчерские центры), все ВК в зоне действия системы, системы навигации и связи, наземные инженерные и спасательные службы и т.д. (рис. 1).

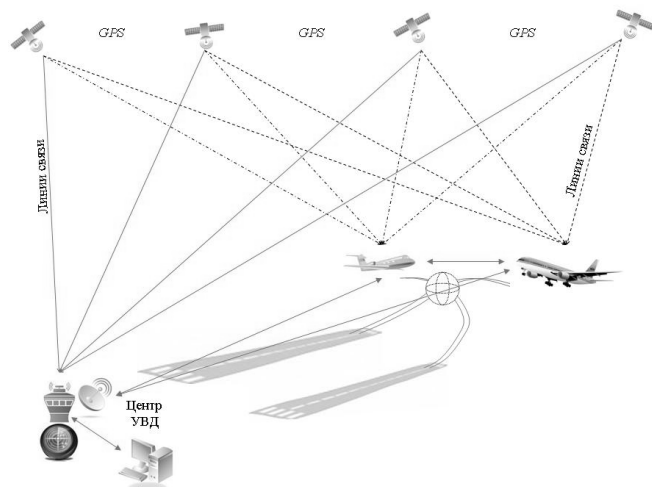


Рис. 1. Структура авиационной сети

Существуют различные способы и методы передачи и приема данных, их кодировки и архивации, контролирования качества передачи и многие другие процессы, которые проявляются в процессе работы АВС. Вопросы качества работы АВС, ее улучшения и модернизации, повышения безопасности, создания новых сверхточных и быстрых каналов передачи данных – имеют высокую *актуальность* в современной авиапромышленности, технологиях управления воздушным движением и научных исследованиях по безопасности полетов и качеству использования авиационной техники (АТ). Данные положения закреплены во многих резолюциях и решениях различных международных организаций, например, ИКАО и Евроконтроль.

## Постановка задачи

Проблема заключается в необходимости разработки технологии контроля за процессом связи между всеми объектами описанной структуры авиационной сети, технологии управления передачей информационных данных в моделях удаленного управления динамическими объектами (например, самолет), и в необходимости создания комплексной сетевой системы, которая будет охватывать и объединять все структурные элементы современной авиации.

*Цель и научная новизна статьи* – идея применения сетевых технологий и искусственных нейронных сетей. Отметим, что под сетевыми технологиями понимается такая структура удаленного управления, которая предполагает взаимосвязь бортовых систем управления ВК с системой наземного управления ВК, которая в свою очередь взаимодействует с интегрированной распределенной сетевой средой выдачи команд управления и передачи данных [3], т.е. подразумевается управление ВК в масштабе реального времени с учетом сетевых задержек, ошибок, помех и потерь пакетов информационных данных. Это позволит обеспечить системную и функционально-временную совместимость ВК как объекта управления с наземными интеллектуальными информационно-управляющими комплексами в центрах УВД.

Предусмотрено и создание сетевой системы управления и контроля передачи информационных данных в моделях удаленного управления динамическими объектами, которая:

- будет иметь улучшенную модель состояния инструментальных и методических погрешностей с учетом нелинейностей в преобразовании данных;
- повысит качество моделирования процессов для линейных регрессивных моделей;
- позволит аппроксимировать и экстраполировать выходные сигналы достаточно сложной формы;

- даст возможность учитывать как линейные, так и нелинейные динамические модели;
- откроет путь к созданию новых способов и методов компенсации и предотвращения сетевых ошибок, задержек, искажений, помех и потерь пакетов информационных данных.

#### **Анализ последних исследований**

Литературный и патентный поиски по данной проблеме показывают актуальность и необходимость создания комплексной сетевидной системы, повышающей безопасность полетов в авиации, качество использования АТ за счет технологии управления и контроль передачи информационных данных в моделях удаленного управления динамическими объектами.

В частности, Глобальный аэронавигационный план Международной организации гражданской авиации ИКАО на 2013–2028 гг. предусматривает повышение уровня обслуживания в аэронавигации путем управления цифровой аэронавигационной информацией (ЦАИ), что совпадает с целью статьи авторов [4]. Управление ЦАИ позволит сократить время, необходимое для распространения информации о статусе воздушного пространства, обеспечить более эффективное использование воздушного пространства, повысить качество передачи данных, упростить процедуры проверки данных, организовать поток воздушного движения с минимальными задержками, осуществлять мониторинг за эксплуатационной средой на этапе полета в целях обеспечения своевременной выдачи предупреждений об увеличении риска для безопасности полетов. Все эти задачи имеют высший приоритет в развитии ГА, что подтверждается также их закреплением в Руководстве по сети авиационной электросвязи ИКАО [5].

Однако дальше фактического констатирования задач по решению проблемы повышения уровня безопасности полетов и аэронавигационного обслуживания путем управления цифровой аэронавигационной информацией дело не продвинулось. *Выделив это, как нерешенную часть общей задачи*, в данной научной статье и предлагается идея по ее решению.

#### **Особенности современной передачи информационных данных в гражданской авиации**

Прежде всего необходимо разобраться с проблемами, существующими в современной авиационной сети.

Передача данных от одного узла сети другому – сложный процесс, на каждом этапе которого могут возникнуть ошибки. Технические и программные средства компьютерной сети должны по возможности обнаруживать и исправлять эти ошибки, обеспечивая надежную доставку информации пользователю.

При передаче данных по сети причинами возникновения ошибок могут быть:

- искажение сигнала при передаче по линиям связи, например, вследствие помех;
- помехи, вызванные внешними источниками и атмосферными явлениями;
- сбои в работе аппаратуры передачи данных;
- сбои в какой-то части оборудования сети или возникновение неблагоприятных объективных событий в сети;
- неисправности на сетевых узлах, через которые проходят пакеты данных при передаче по сети;
- нарушения в работе программ на передающем и принимающем узлах сети.

Основная причина возникновения ошибок – непосредственная передача сигнала по линиям связи, поэтому при создании компьютерных сетей первостепенное внимание уделяется разработке надежных высокоскоростных линий связи.

Важная особенность, которую необходимо отметить, – информация, передаваемая от одного узла к другому, делится на пакеты, причем каждый из пакетов может доставляться получателю по своему маршруту, отличному от остальных пакетов. В связи с этим следует не только правильно передать каждый пакет, но и собрать их в нужном порядке на узле-получателе, а также уведомить узел-отправитель в случае возникновения ошибки. Все эти операции возлагаются на информационные про-

токолы транспортного уровня. При этом существуют разные протоколы, обеспечивающие большую или меньшую надежность передачи данных. И чем выше надежность, тем больше дополнительной (служебной) информации передается по сети, и тем, соответственно, ниже скорость соединения.

Существует много методов защиты сети от различного рода ошибок и помех. На каждом этапе передачи данных по сети используются свои методы обнаружения и коррекции ошибок для повышения надежности передачи данных. Однако прежде необходимо разобраться с основным оценочным критерием работы сети – нагрузкой [1].

Суммарное время использования пучка линий или приборов коммутационной системы сети связи за определенный интервал называют *нагрузкой сети*. Охарактеризуем это понятие более подробно.

Поскольку в системах авиационной связи количество линий связи, источников и потребителей может быть различным, необходимо отметить, что нагрузка, создаваемая пуассоновским потоком вызовов при показательном распределении длительности занятия, называется пуассоновской нагрузкой первого рода. Если нагрузка создается конечным числом источников, причем промежутки из свободного состояния и длительность занятия распределены по показательному закону, то такая нагрузка есть пуассоновской нагрузкой второго рода. Исходя из этого, на практике, при передаче данных в качестве критерия отказа принимается некоторое время  $T_3$ , в течение которого допустима задержка информации. Время  $T_3$  может быть превышено как вследствие всплеска помех (даже при абсолютной аппаратной надежности), так и в результате устойчивого отказа (даже при отсутствии помех). В системах передачи данных (СПД) с обратной связью критерий надежности может задаваться косвенно допустимым числом переспросов  $\nu$ . Если число переспросов  $\nu_r$  достигает  $\nu$ , то канал передачи данных считается отказавшим и принимаются меры для его восстановления. Это позволяет в стационарном режиме пред-

ставить некоторый интервал времени  $T$ , выделенный для передачи данных, состоящим из трех подынтервалов. На первом  $T_1$  работа СПД происходит без устойчивых отказов и характеризуется такой интенсивностью помех, что  $\nu_r < \nu$ . На второй подынтервал  $T_2$  система попадает, если  $\nu_r \geq \nu$ . Здесь происходит восстановление системы в течение среднего времени  $T_{B1}$ , после чего она снова начинает функционировать. На третий подынтервал  $T_3$  система попадает вследствие устойчивых отказов, которые происходят с некоторой интенсивностью  $\omega$  и восстанавливаются в течение среднего времени  $T_{B2}$ .

Все показатели нагрузки, ее величина, время задержек зависит от множества факторов. Решающими считаются критерии маршрутизации, кодирования и декодирования пакетов информации.

Маршрутизация сообщений на коммутируемой сети связи осуществляется согласно целесообразности использования возможного пути с учетом принятого критерия эффективности работы сети. Целесообразность использования пути между узлами оценивают одной из его характеристик: длиной пути, временем передачи сообщения, стоимостью, качеством обслуживания, числом транзитных участков и т.д. Наиболее универсальный из них – критерий кратчайшего пути. Кратчайшим путем передачи сообщений называют путь, *длина* которого, выраженная числом транзитных участков (или числом транзитных узлов), либо физической длиной либо временем передачи сообщения, имеет наименьшее значение в сравнении со значениями для других возможных путей. Методы маршрутизации сообщений разделяют на динамические и статические. Динамические методы используют, а статические не используют информацию о состоянии сети.

Что касается процесса кодирования информации, то он напрямую зависит от качества и принципа работы кодера [6]. От этого же зависят и задержки, возникающие в процессе кодирования. Рассмотреть этот процесс проще всего основываясь на математической модели кодера.

Искажения пакетов данных в кодере вносятся на этапе квантования сигналов. Таким образом, в процессе определения качества кодирования одним из этапов будет определение показателей степени искажений (погрешности сжатия) и разработка математической модели, связывающей эти показатели с параметрами, входными данными и условиями функционирования кодера.

Помимо искажений, вносимых кодером, основным выходным эффектом кодера есть сжатие исходного кода данных, показатель которого – плотность кодирования данных, решающим образом определяет скорость передачи данных. Поэтому необходимо связывать этот показатель с параметрами, входными данными и условиями функционирования кодера.

Для исследования параметров работы кодера и процесса кодирования в качестве основных характеристик пакетов информационных данных, оказывающих решающее влияние на плотность кодирования, были выбраны автокорреляционные характеристики. Среди таких характеристик широко используются функция (матрица) автокорреляции, площадь автокорреляции и коэффициент автокорреляции. Применять подобные характеристики достаточно удобно при использовании в качестве стохастической модели данных случайный двумерный марковский процесс первого порядка, и получая статистические оценки путем осреднения. Однако для работы с отдельными пакетами данных этот подход не корректен, поскольку статистические характеристики отдельно взятого пакета, как правило, существенно нестационарны. В подобных случаях зачастую используется осредненные одномерные статистические характеристики по элементам строк и столбцов данных.

В ходе исследований было установлено, что для фиксированных параметров алгоритма сжатия и параметра входных данных математическая модель плотности кодирования будет представлять собой однопараметрический случайный гауссовский процесс с независимыми значениями. Основываясь на этом, можно построить математическую модель кодера, функ-

ционально состоящую из двух стохастических звеньев – моделей показателей точности передачи данных и математической модели показателя результативности кодирования.

Процесс кодирования информации влечет за собой и процесс ее декодирования. Соответственно, необходимо учитывать и работу декодера. Декодер выполняет операцию преобразования кодов (восстановления исходной разрядности данных). Построение математической модели декодера аналитическим путем хотя и возможно (поскольку алгоритм декодирования строго детерминирован), однако представляет достаточно трудоемкую задачу, требующую знания множества статистических характеристик всех предполагаемых для сжатия пакетов данных, что, учитывая значительную их нестационарность, практически неосуществимо. Поэтому более целесообразным в рамках исследования было решение проводить оценку декодера на основе статистического эксперимента.

В ходе проведенных исследований установлено, что для исследуемых алгоритмов существует три основных варианта декодирования искаженного сжатого кода данных: достоверное декодирование данных (фильтрация ошибки); ошибочное декодирование части данных; ошибочное декодирование всех данных (невозможность декодирования).

Как показали исследования, в процентном отношении описанные три варианта декодирования распределены неравномерно. Так, для рассматриваемых алгоритмов наиболее вероятны либо достоверное декодирование, либо полностью недостоверное. Частичная потеря данных имеет место менее чем в одном проценте исходов. Подобный результат вполне объясним использованием в этих алгоритмах для энтропийного кодирования префиксных кодов и алгоритмов арифметического кодирования.

Было также выяснено, что наиболее критичны для декодера искажения служебной части сжатого кода – потеря данных в ней. Как правило, недостоверно декодируется вся информация, поэтому поскольку служебная часть

сжатого кода, обычно имеет фиксированную длину, важен относительный процент длины служебной части кода. В то же время потери декодирования при искажениях в информационной части в основном определяются методом статистического кодирования и опять же от относительной длины информационной части сжатого кода. Таким образом, в качестве показателя достоверности декодирования сжатого кода целесообразно использовать условную вероятность достоверного декодирования одного пакета данных с заданными статистическими характеристиками, при заданных значениях параметров алгоритма сжатия, параметрах модели сети и длине кода сжатого пакета. Соответственно, в качестве математической модели декодера можно использовать стохастический оператор, определяющий вероятность достоверного декодирования одного сжатого пакета данных.

На основе полученных моделей кодера и декодера, дальнейшее построение математической модели системы передачи данных возможно после построения математической модели показателя скорости передачи данных по цифровым каналам передачи данных (ЦКПД).

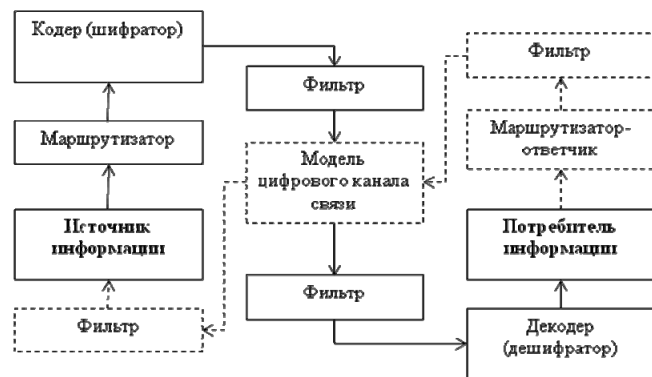


Рис. 2. Математическая модель системы передачи данных

Построение такой приближенной модели для рассматриваемого случая не представляет особого труда, поскольку скорость передачи данных будет целиком определяться двумя параметрами: скоростью передачи двоичных данных по ЦКПД и показателем результативности кодирования. Таким образом, на основе полученных моделей кодера, декодера и ЦКПД не-

трудно синтезировать математическую модель всей системы передачи информационных данных, которая будет определяться зависимостью показателей работы самой системы от входных данных, условий функционирования и параметров моделей.

Основываясь на математической модели системы передачи данных в ГА, можно утверждать, что существует необходимость в практически действующих и легко реализуемых методах, способах и системах, которые будут предотвращать или исправлять возникающие при передаче информации ошибки, сбои, искажения, шумы, помехи и задержки. В современных технологиях связи и передачи данных существует множество таких методов. Среди них выделяют три основные группы: групповые методы, помехоустойчивое кодирование и методы защиты от ошибок в системах передачи с обратной связью [7].

Из групповых методов широкое применение получили мажоритарный метод, реализующий принцип Вердана, и метод передач информационными блоками с количественной характеристикой блока.

Суть мажоритарного метода давно и широко используемого в телеграфии, состоит в следующем. Каждое сообщение ограниченной длины передается несколько раз, чаще всего три. Принимаемые сообщения запоминаются, а потом проводится их поразрядное сравнение. Например, кодовая комбинация 01101 при трехразовой передаче была частично искажена помехами, поэтому приемник принял такие комбинации: 10101, 01110, 01001. В результате проверки каждой позиции правильной считается комбинация 01101.

Передача блоками с количественной характеристикой – это метод, который также не требует перекодирования информации. Он предполагает передачу данных блоками с количественной характеристикой блока. Такими характеристиками могут быть: число единиц или нулей в блоке, контрольная сумма передаваемых символов в блоке, остаток от деления контрольной суммы на постоянную величину и др. На приемном пункте эта характеристика

вновь подсчитывается и сравнивается с переданной по каналу связи. Если характеристики совпадают, считается, что блок не содержит ошибок. В противном случае на передающую сторону поступает сигнал с требованием повторной передачи блока. В современных вычислительных сетях такой метод получил самое широкое распространение.

Помехоустойчивое (избыточное) кодирование – метод, который предполагает разработку и использование корректирующих (помехоустойчивых) кодов. Он применяется не только в вычислительных сетях, но и в компьютерных устройствах для защиты от ошибок при передаче информации между устройствами машины. Помехоустойчивое кодирование позволяет получить более высокие качественные показатели работы систем связи. Его основное назначение заключается в обеспечении малой вероятности искажений передаваемой информации, несмотря на присутствие помех или сбоев в работе сети.

Системы передачи с обратной связью делятся на системы с решающей обратной связью и системы с информационной обратной связью.

Особенность систем с решающей обратной связью (систем с перезапросом) – это то, что решение о необходимости повторной передачи информации (пакета) принимает приемник. При этом обязательно применяется помехоустойчивое кодирование, с помощью которого на приемной станции осуществляется проверка принимаемой информации. При обнаружении ошибки на передающую сторону по каналу обратной связи посылается сигнал перезапроса, по которому информация передается повторно. Канал обратной связи используется также для отправки сигнала подтверждения правильности приема, автоматически определяющего начало следующей передачи.

В системах с информационной обратной связью передача информации осуществляется без помехоустойчивого кодирования. Приемник, приняв информацию по прямому каналу и зафиксировав ее в своей памяти, передает ее в полном объеме по каналу обратной связи пе-

редатчику, где переданная и возвращенная информация сравниваются. При совпадении передатчик посылает приемнику сигнал подтверждения, в противном случае происходит повторная передача всей информации. Таким образом, решение о необходимости повторной передачи принимает передатчик.

Рассмотренные системы и методы защиты обеспечивают практически одинаковую достоверность, однако в системах с решающей обратной связью пропускная способность каналов используется эффективнее, поэтому они получили большее распространение.

### **Сетецентрическая система управления и контроля передачи информационных данных в моделях удаленного управления воздушными кораблями**

Для проведения необходимых исследований работы сетевых технологий и линий связи в ГА, применения сетецентрических и нейросетевых технологий, был создан и предлагается в данной статье способ контроля маршрута и определения качества передачи информационных данных через проводную Интернет-связь в моделях управления динамическими объектами (в нашем случае воздушными кораблями) (рис. 3) [8].

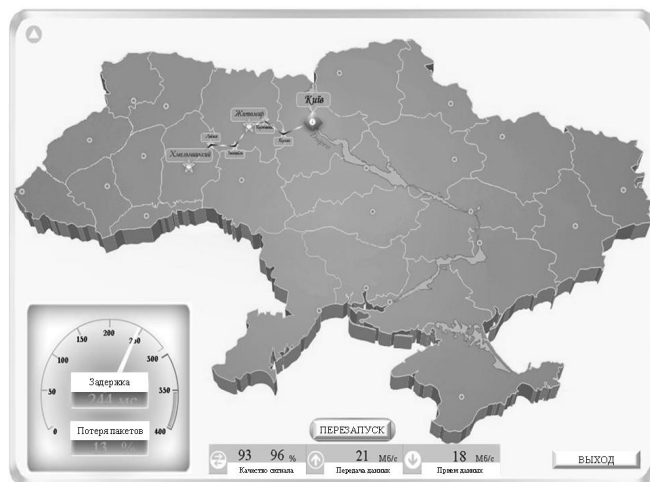


Рис. 3. Компьютерная программа контроля маршрута и определения качества процесса передачи информационных данных через проводную Интернет-связь

Разработан компьютерный алгоритм и программа [9], определяющие маршрут передачи данных через Интернет, параметры работы сети, задержки и потери пакетов данных, а также

локализуют точку маршрута передачи с наибольшими задержками и потерями и предлагают альтернативный, более качественный, маршрут передачи данных.

Алгоритм разработанной программы основан на применении сетевых технологий и принципов, суть которых описана ранее.

Для решения задачи определения качества процесса передачи данных, с целью последующего контроля и управления этим процессом, проводится расчет следующих параметров по формулам:

- длина пути передачи, равная сумме длин веток, составляющих путь между промежуточными пунктами:  $l(\mu_{sf}^k) = \sum_{\forall \beta_{ij} \in \mu_{sf}^k} l_{ij}$ ;

- пропускная способность сети, определяемая веткой с минимальной пропускной способностью:  $c(\mu_{sf}^k) = \min_{\forall \beta_{ij} \in \mu_{sf}^k} c_{ij}$ ;

- емкость сети:  $\vartheta(\mu_{sf}^k) = \min_{\forall \beta_{ij} \in \mu_{sf}^k} \vartheta_{ij}$ ;

- длина кратчайшего пути между конечными пунктами  $\alpha_s$  и  $\alpha_f$ :  $d_{sf} = \min_k l(\mu_{sf}^k)$ ;

- продолжительность занятости сети:  $\tau_0 = t_y + \tau + t_p$ , где  $\tau_y$  и  $\tau_p$  – соответственно время подключения и отключения соединения,  $\tau$  – длина сообщения;

- среднее время ожидания в сети:

$$\begin{aligned} \bar{t}_0 &= \int_0^{\infty} t d[-p(t_0 > t)] = p(t_0 > 0) \int_0^{\infty} e^{-\mu(v-y)t} dt = \\ &= \frac{p(t_0 > 0)}{\mu(v-y)} = p(t_0 > 0) \frac{\bar{\tau}_0}{v(1-\rho)}, \end{aligned}$$

где  $\bar{\tau}_0$  – среднее время обслуживания сети,  $\rho$  – удельная нагрузка;

- сумма временных затрат:  $T_n = \lambda T \sum_{i=1}^M \rho_{n,i} \cdot n_i \tau_{c,i} = \lambda T Q_n$ , где  $T_n$  – потери времени, обусловленные восстановлением сообщений поврежденных помехами,  $\tau_{c,i}$  – среднее время восстановления сообщений;  $\lambda$  – интенсивность входного потока;

- скорость передачи данных:  $R = f(R_0, \rho_k, n_6, t, \varepsilon, \omega, T_b, v, p_3)$ , где  $R_0$  – скорость модуляции;

$\rho_k$  – кодовая скорость;  $n_6$  – длина блока данных;  $t$  – время распространения сигналов по каналу, анализа и подтверждения (или перезапроса) блока данных;  $\varepsilon$  – показатель группирования ошибок вследствие помех;  $p_3$  – вероятность сбоя элементов;  $\omega$  – интенсивность устойчивых отказов;  $T_b$  – среднее время восстановления системы после отказа;

- среднее время задержки передачи данных:

$$T_3 = \frac{\bar{l} \left( \sum_{i=1}^M \sqrt{R_i S_i} \right)^2}{\Lambda s(c)_{\min}}, \text{ где } \bar{l} \text{ – средняя длина}$$

пути,  $T_3$  – время задержки при передаче данных.

Поставленная задача решается тем, что разработанный способ основан на программном обеспечении, которое унифицировано работает с любой компьютерной средой, определяет и оценивает на основе приведенного математического аппарата параметры работы проводной Интернет-сети до, в процессе и после передачи информационных пакетов данных, выдает аналитические (числовые значения временных задержек передачи пакета, процент потерянных данных, качество сигнала, скорость передачи и принятия данных) и графические показатели определения и контроля маршрутов передачи информационных данных. Выполнение способа обеспечивается подключением к любой проводной Интернет-сети с произвольными параметрами работы. Собранные данные хранятся в компьютерной среде для последующей обработки и сбора статистических данных. На основе полученных данных рассматривается возможность применения различных способов компенсации временных задержек и потерь пакетов данных в сети, а прежде всего возникает практическая возможность использования способов компенсации, основанных на системах передачи данных с обратной связью с функцией перезапроса, что и реализовано в представленном способе. Характерная особенность такого способа – решение о необходимости повторной передачи и применения протоколов компенсации принимается в конечном пункте маршрута.



С помощью функции определения маршрутов передачи данных можно определить маршрут (рис. 4), при котором показатели работы сети будут наилучшими, и использовать его впоследствии; можно определить допуски и границы отклонения в маршрутах (рис. 5).

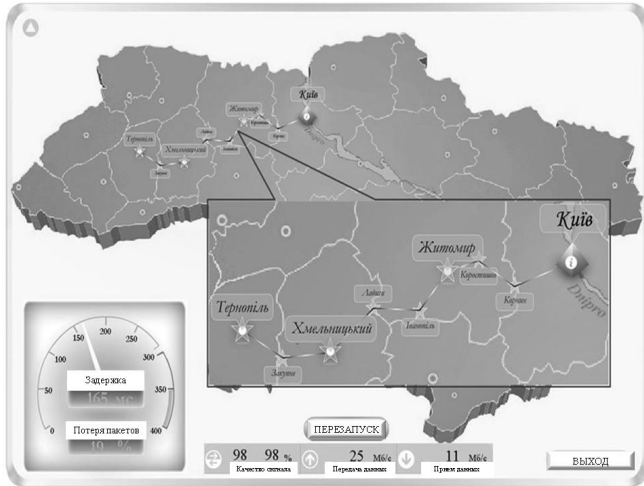


Рис. 4. Экспериментально полученный маршрут передачи данных



Рис. 5. Пример допусков и границ отклонения маршрута передачи

Результаты проводимых исследований и моделирования на основании описанного способа показали, что задержки, равно как и потери и искажения данных, значительно превышают авиационные допуски; задержки составляют до 350 мс при гранично-возможном уровне в 50 мс (рис. 6).

Что касается искажений и потерь пакетов данных, то, например, при передаче по сети обычного графического изображения (рис. 7), они настолько существенны и недопустимы, что проблема необходимости значительного улучшения работы сетевых линий связи становится еще более актуальной.

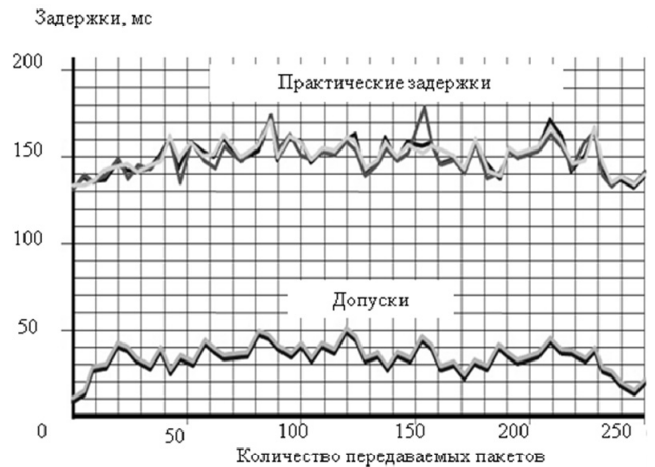


Рис. 6. График допустимых и практически полученных временных задержек передачи данных

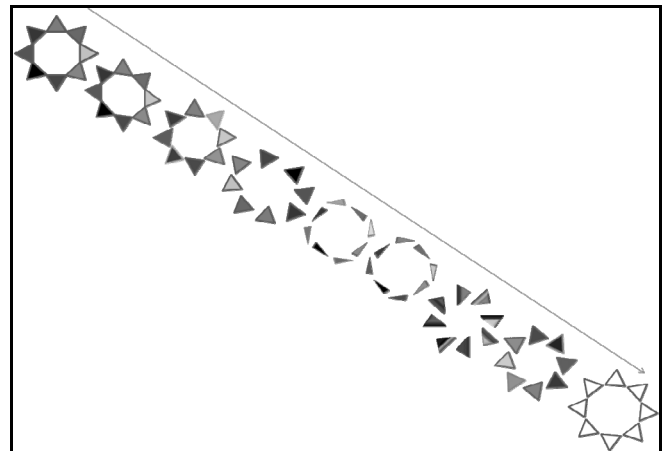


Рис. 7. Пример искажений графической информации при передаче данных по стандартным каналам связи

Данные испытания проводились на проводной связи с учетом и без учета работы протоколов *TCP/IP*. А показатели беспроводной связи, которая более распространена в авиации, были бы несомненно еще хуже по причине большего количества помех и воздействий. Сейчас проводятся работы по разработке подобной программы для беспроводной связи, а также по защите сети от несанкционированного доступа.

Первые результаты моделирования передачи данных в сетевых системах, основанной на способе контроля маршрута и определения качества передачи информационных данных через проводную Интернет-связь, показали результаты качества работы сети практически в три раза лучше, чем при применении

стандартной сетевой связи (рис. 8). Это подтверждает целесообразность применения данной разработки в наземной проводной системе передачи данных в ГА и необходимость разработки такой технологии для воздушной беспроводной связи.

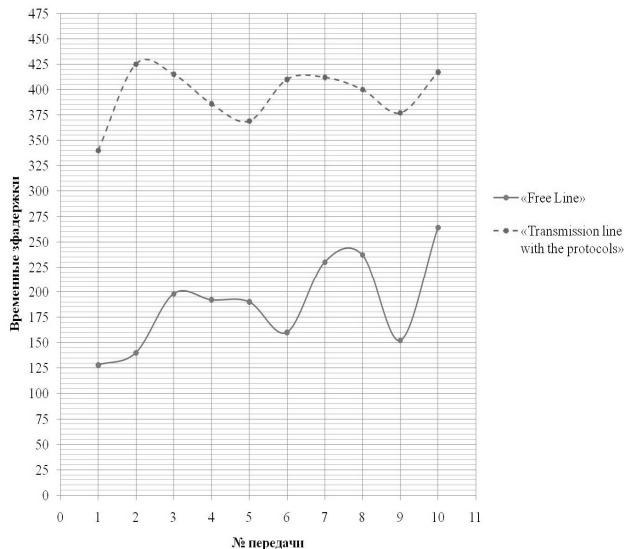


Рис. 8. График задержек при передаче информационных данных по обычной линии связи («Transmission line with the protocols») и по каналу с сетевым управлением («Free Line»)

**Заключение.** Рассматриваемая проблема необходимости создания сетевых систем управления и контроля передачи информационных данных в моделях удаленного управления динамическими объектами (а в нашем случае ВК) имеет высокий приоритет и актуальность, что подтверждено Глобальным авиационным планом ИКАО на 2013–2028 гг.

В статье предлагается идея применения сетевых технологий, что даст уникальную возможность управлять динамическими объектами в масштабе реального времени.

Взяв за основу проблему качества работы авиационной сети и необходимость ее улучшения переходом на новые принципы и технологии передачи данных, разработан способ контроля маршрута и определения качества передачи информационных данных через проводную Интернет-связь, который позволяет:

- определить маршрут передачи данных через Интернет, параметры работы сети, задержки и потери пакетов данных;

- локализовать точку маршрута передачи с наибольшими задержками и потерями;
- предоставить альтернативный, более качественный маршрут передачи данных.

Данный способ положен в основу разрабатываемой сетевых технологий системы управления и контроля передачи информационных данных в моделях удаленного управления воздушными судами.

Эксперименты и моделирование по использованию такой системы показали, что:

- полученные задержки, равно как и потери и искажения данных, значительно превышают авиационные допуски, что подтверждает актуальность данной статьи;
- применение разработанного способа повышает качество моделирования процессов для линейных регрессивных моделей;
- появляется возможность аппроксимировать и экстраполировать выходные сигналы достаточно сложной формы;
- учитываются как линейные, так и нелинейные динамические модели;
- открывается путь к созданию новых способов и методов компенсации и предотвращения сетевых ошибок, задержек, искажений, помех и потерь пакетов информационных данных;
- создание способа определения качества процесса передачи информационных данных через беспроводную связь, а также, создание программ защиты АВС от несанкционированного доступа – это перспективные задачи исследований.

Согласно статистике, ГА – один из наиболее безопасных видов транспорта. Однако авиационные инциденты и происшествия все-таки происходят. Предложенная система и способ ее реализации позволят повысить уровень безопасности полетов и качество использования авиационной техники.

1. Паук С.М. Сети авиационной электросвязи. – М.: Транспорт, 1986. – 271 с.
2. Харченко В.П., Креденцар С.М. Мережі та бази даних // Національний авіаційний університет. – К.: НАУ-друк, 2013. – 328 с.

Окончание на стр. 60

3. Павлова С.В., Богачук Ю.П., Мельников С.В. Моделирование технологии распределенного сетевого управления летательными аппаратами // КВТ. – 2011. – **163**. – С. 45–53.
4. ИКАО. Глобальный аэронавигационный план на 2013–2028 гг. Пропускная способность и эффективность. – Монреаль: Изд-во ИКАО, 2013. – **4**. – 128 с.
5. ИКАО. Руководство по сети авиационной электросвязи (ATN), использующей стандарты и протоколы Интернет (IPS). – Там же. – 2010. – **1**. – 112 с.
6. Севастьянов Е.В. Методика априорной оценки эффективности сжатия цифровых данных в системе оперативной передачи данных. – М.: Мир, 1999. – 297 с.
7. Мизин И.А., Уринюк Л.С., Храмушин Г.К. Передача информации в сетях с коммутацией сообщений. – М.: Связь, 1977. – 328 с.
8. Пат. України № 04108. МПК (2013) G06N 7/00. Спосіб контролю маршруту та визначення якості процесу передачі інформаційних даних через дротову Інтернет-мережу. – Заявл. 15.05.2014 р.; Опубл. 16.07.2014. – 9 с.
9. А.С. України № 52370. Комп'ютерна програма «Спостереження маршруту та якості процесу передачі інформаційних даних через Інтернет-мережу для дослідження мережецентризованих систем віддаленого керування динамічними об'єктами» / В.В. Павлов, О.Є. Волков, Д.О. Волошенко. – Опубл. 02.12.2013 р. – 1 с.

Поступила 08.09.2014

Тел. для справок: +38 095 346-9153, 067 505-7138,  
941-0887 (Київ)

E-mail: [dep185@irtc.org.ua](mailto:dep185@irtc.org.ua), [alexvolk@ukr.net](mailto:alexvolk@ukr.net),  
[p-h-o-e-n-i-x@ukr.net](mailto:p-h-o-e-n-i-x@ukr.net)

© В.В. Павлов, А.Е. Волков, Д.А. Волошенко, 2014

