

УДК 621.3.019.3

## **Выбор параметров управления доступом в сетях связи с мобильными объектами**

**Бородин В.В.\*, Шевцов В.А.\*\***

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*mail: [doc\\_bor1@mail.ru](mailto:doc_bor1@mail.ru)*

*e-mail: [vs@mai.ru](mailto:vs@mai.ru)*

### **Аннотация**

Статья посвящена вопросам анализа и выбора параметров управления сетью связи мобильных авиационных объектов. Такие сети одновременно обслуживают несколько сотен самолетов по одному каналу связи ограниченной пропускной способности. В этих условиях вероятен переход из стационарного состояния в неустойчивое состояние, характеризующееся существенным ухудшением эффективности функционирования. Параметры управления должны обеспечивать однозначное определение состояния сети и прогноз возможности перехода из одного состояния в другое. Показано, что коэффициент формы времени передачи сообщения и коэффициент формы количества повторных передач удовлетворяют поставленным требованиям. Предложены варианты практического использования полученных результатов для эффективного управления сетями связи мобильных авиационных объектов.

**Ключевые слова:** телекоммуникационные технологии авиационных систем, авиационные системы связи и передачи данных, интеллектуальное управление сетью, случайный многостанционный доступ.

### **Введение и постановка задачи**

Современные авиационные системы передачи информации строятся по модульному принципу с использованием открытой архитектуры [1] [2]. Для этого класса сетей характерным является постоянное изменение количества и состава одновременно обслуживаемых мобильных объектов, существенное ограничение на время доступа к сети, а также использование относительно низкоскоростных каналов передачи данных. Определенным компромиссом противоречивых требований к сети является использование протоколов случайного многостанционного доступа, в частности, протокола синхронная Алоха. Исследованию этого протокола доступа посвящено большое число работ [3,4,5,6]. Вместе с тем, на наш взгляд, остается еще достаточно много вопросов, требующих своего решения для обеспечения эффективного управления доступом. Это касается, в частности, исследования поведения сети при большой загрузке. Интерес к этой задаче связан с тем, что вследствие ограниченности частотного ресурса рост количества мобильных объектов приводит к соответствующему увеличению сетевого трафика. При этом велика вероятность перехода сети в неустойчивое состояние, характеризующееся существенным ухудшением эффективности ее функционирования. С целью повышения эксплуатационных характеристик сети

необходимо однозначно определять текущее состояние сети и прогнозировать ее переход в неустойчивое состояние.

В настоящее время для управления сетью в стационарном режиме используется в основном такой параметр, как количество повторных передач [3, 4]. При превышении количества передач заданного порога происходит увеличение периода повторения. Исследованию других параметров управления в литературе уделено гораздо меньше внимания.

В данной работе делается попытка выбора таких параметров управления, значения которых позволяют своевременно обнаруживать возможность выхода сети из устойчивого состояния.

Для детального анализа характеристик сети разработана имитационная модель, позволяющая исследовать поведение сети при достаточно общих предположениях.

### **Описание имитационной модели**

В данной работе исследуется фрагмент адаптивной сети, содержащий  $N$  конечных узлов. Связь между узлами осуществляется по радиолинии с временным уплотнением. Для доступа в канал используется протокол синхронная Алоха [1,3]. Согласно этому протоколу поступившее на узел сообщение разбивается на пакеты одинаковой длины, которые последовательно передаются друг за другом. Интервал

времени, на который пакет при передаче занимает канал, называется окно. В синхронном протоколе Алоха окна следуют последовательно одно за другим. Пакеты могут передаваться только в начале соответствующего окна. Узлы начинают передавать пакеты независимо друг от друга. Если за одно окно только один узел передает пакет, то считается, что пакет передан успешно. После успешной передачи узел может передавать следующий пакет. Если окно два или более узла пытаются передать свои пакеты в одно окно, происходит совместное искажение пакетов (коллизия) и такая передача не является успешной. В этом случае каждый узел повторно передает ранее искаженные пакеты через случайное время, имеющее равномерное распределение. Среднее время повторения равно  $K/2$ . Процедура повторяется до успешной передачи пакета.

Если узел не содержит других сообщений, то поступившее сообщение начинает передаваться в начале следующего после формирования окна. Если к моменту появления нового сообщения узел содержит другие сообщения, то вновь созданное сообщение записывается в буферное запоминающее устройство – встает в очередь и передается в порядке поступления.

Исходными данными при моделировании являются: количество узлов сети  $N$ , трафик сети  $G$ , максимальное время повторной передачи  $K$  (период повторения), время функционирования  $t$ . Каждый узел формирует пуассоновский поток однопакетных сообщений одинаковой интенсивности. Трафик сети равен суммарной интенсивности первичных пакетов, нормированной на одно окно.

Каждый узел узнает о том, произошла коллизия или нет с его пакетом к началу следующего после передачи окна.

Выходными данными модели являются: условная функция распределения времени передачи сообщения и функция распределения количества повторных передач. На основании функций распределения определяются первые два момента соответствующих величин – среднее время и среднеквадратическое отклонение.

В качестве показателя эффективности функционирования используется условное среднее время передачи пакета  $W_u$ . Время передачи пакета содержит два слагаемых. Первое - время ожидания в очереди начала передачи, второе - задержка, вызванная многократной повторной передачей пакета. Время передачи по каналу (длительность окна) мы в данном случае не учитываем виду аддитивности и постоянства этого времени.

Единицей измерения времени является окно. По этой причине все показатели входные и выходные величины нормированы на одно окно. В частности среднее время передачи пакета (сообщения) – это время, выраженное в количестве окон от момента поступления сообщения на узел до момента успешной передачи всего сообщения. Аналогично нормированы все остальные показатели сети.

### **Анализ поведения сети**

В данном разделе приводится анализ поведения сети в зависимости от значений ее параметров.

Типичные графики зависимости условного времени передачи пакета от времени функционирования приведены на рисунке 1. Параметром графиков является количество станций  $N$ . Период повторения  $K$  и трафик  $G$  указаны на графике.

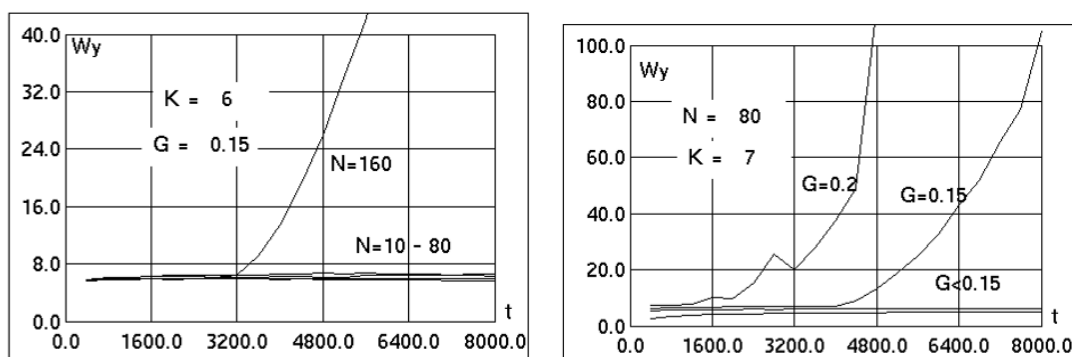


Рисунок 1. Зависимость среднего времени передачи от времени функционирования для различных наборов входных параметров

Из анализа результатов моделирования следует, что в общем случае время функционирования сети состоит из следующих участков. Первый, начальный участок, соответствует времени установления стационарного состояния из начального. Второй участок соответствует стационарному состоянию функционирования. Это состояние характеризуется постоянными значениями показателей эффективности. На третьем участке происходит изменение параметров сети со временем, что характерно для нестационарного поведения процесса. Четвертый участок соответствует неустойчивому состоянию функционирования,

при котором показатели эффективности существенно изменяют свое значение в сторону ухудшения по отношению к стационарному состоянию.

Неустойчивость поведения сети проявляется в хаотическом характере изменении эффективности функционирования. При этом возникают многократные изменения времени передачи от стационарного (и относительно малого значения) к существенно большим значениям и возврат к стационарным значениям. Неустойчивый характер поведения сети иллюстрируется на рисунке 2, на котором представлены две различные усредненные реализации процесса функционирования.

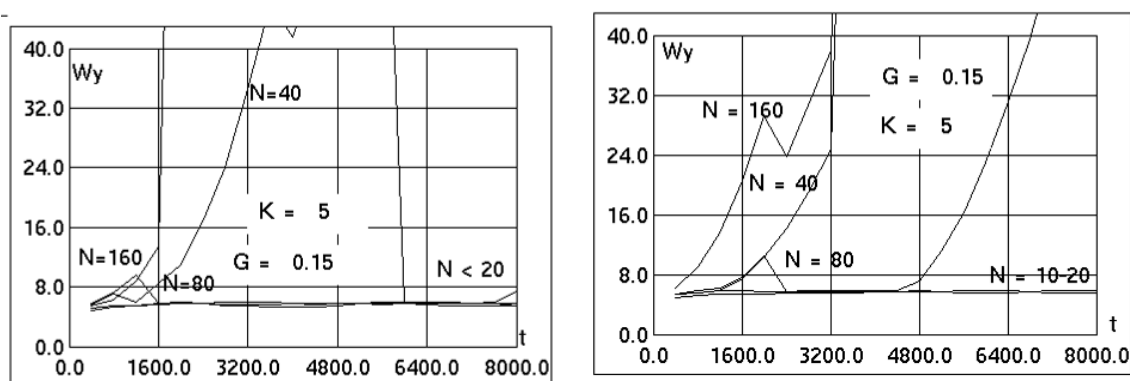


Рисунок 2. Неустойчивый характер процесса функционирования сети

Важно отметить следующую особенность процесса изменения показателя эффективности (см. рис.3). Время передачи в стационарном состоянии в основном зависит от периода повторения и трафика. Увеличение периода повторения позволяет скомпенсировать случайные изменения времени передачи, вызванные ростом количества повторных передач. Однако такое изменение периода повторения, вообще говоря, не предотвращает переход сети в неустойчивое

состояние. Связано это с тем, что длительность стационарного состояния зависит не только от трафика и периода повторения, а и от количества узлов сети.

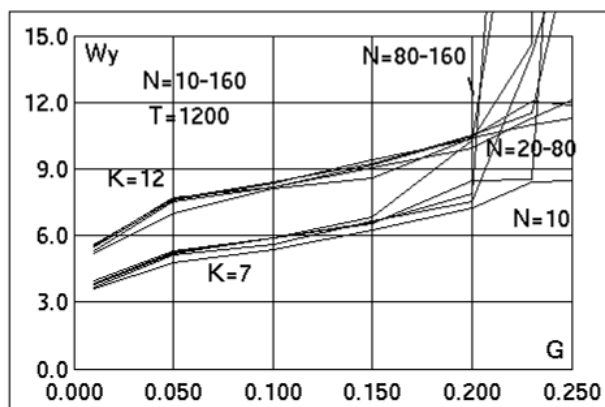


Рисунок 3. Зависимость эффективности сети от трафика

Следовательно, для того, чтобы управлять сетью на всем интервале ее функционирования (включая стационарное и неустойчивое состояния), необходимо выбрать такие параметры управления, по значению которых на каждом узле может быть однозначно определено состояние сети и спрогнозирована возможность перехода из стационарного состояния в неустойчивое. Определение и анализ искомых параметров приводится ниже.

### **Выбор и анализ параметров управления**

Для решения поставленной задачи был проведен анализ функции распределения времени передачи пакета. Результаты моделирования показали, что



не только характеристики, но и вид плотности распределения зависит от параметров и состояния сети. Замечена следующая особенность поведения плотности распределения. При малом количестве узлов и низком трафике, характерном для стационарного состояния, плотность распределения имеет вид нормального распределения. Большое количество узлов или высокий трафик, характерные для перехода сети в неустойчивое состояние, приводит к расширению плотности распределения, график функции становится более пологим. Таким образом, вид плотности распределения позволяет оценить количество узлов и трафик сети, а также степень близости сети к переходу в неустойчивое состояние.

На рисунке 4 приведены типичные графики плотности распределения времени передачи для двух значений количества станций. Для наглядности, плотности нормированы к среднему значению времени передачи.

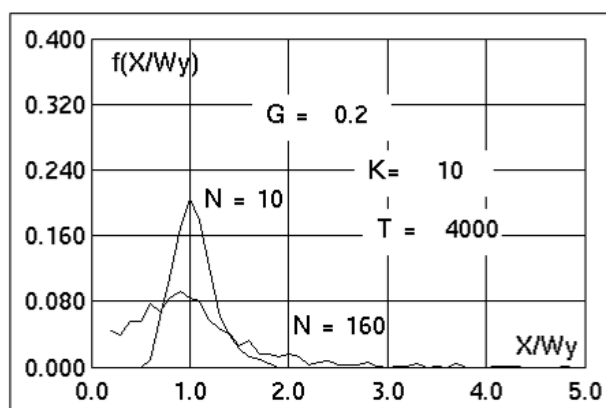


Рис4. Плотности распределения времени передачи

Качественное изменение функции распределения при переходе сети из стационарного в неустойчивое состояние позволяют предположить, что и изменение моментов распределения также будет отражать переход сети из одного состояния в другое. Интерес к изучению именно моментов распределения носит и чисто практический характер. Построение функции распределения требует сбора и обработки большого объема статистической информации, что может оказаться проблематичным во время функционирования узла. Анализ моментов распределения может быть сделан при существенно меньшем объеме статистической информации, что упрощает задачу оперативной оценки состояния сети.

В рамках данной работы проведено исследование первых двух моментов распределения времени передачи и количества повторных передач. В ходе анализа результатов получено, что более информативным параметром является не сам второй момент распределения, а коэффициент формы распределения (КФР), равный отношению среднеквадратического отклонения к среднему значению.

Типичная зависимость КФР времени передачи от времени приведена на рисунке 5.

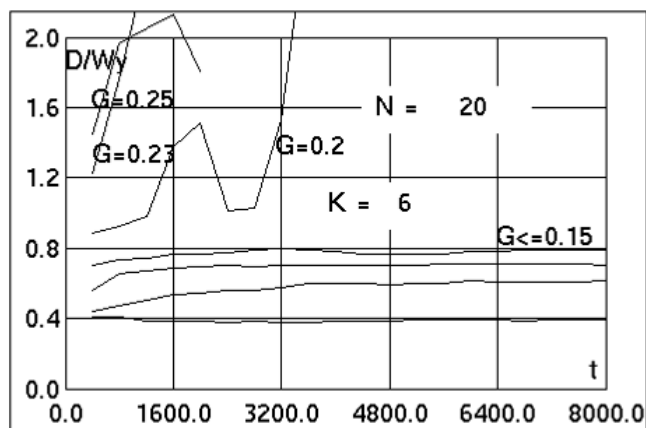


Рис 5. Зависимость коэффициента формы от времени функционирования сети

На этом рисунке графики, при  $G=0.23$  и  $G=0.25$  относятся к неустойчивому состоянию, график при  $G=0.2$  соответствует переходу сети из стационарного в неустойчивое состояние, остальные графики при  $G \leq 0.15$  относятся к стационарному состоянию. В ходе исследования было отмечено, что стационарному состоянию соответствует значение  $KФР < 1$ , значение  $KФР > 1$  указывает на неустойчивое состояние сети. Таким образом, имеется критическое значение  $KФР$ , достижение которого указывает на возможность перехода сети из одного состояния в другое. Это свойство  $KФР$  времени передачи сохраняется для широкого диапазона трафика и количества узлов сети. Соответствующие результаты для фиксированного интервала функционирования сети приведены на рисунке 6.

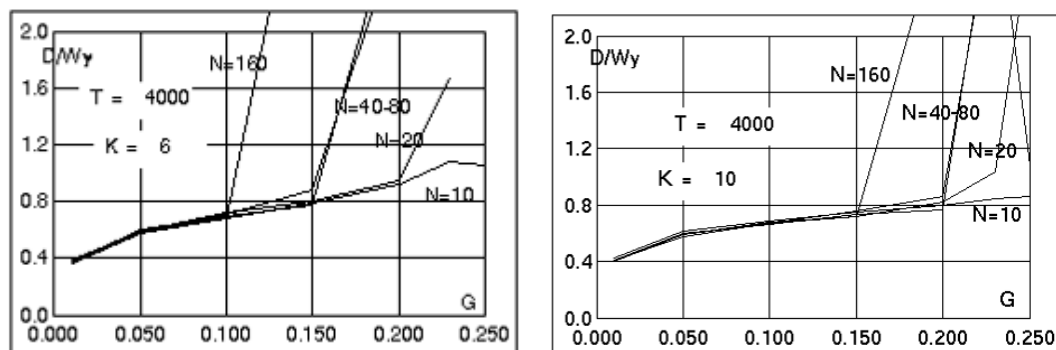


Рис.6. Графики зависимости коэффициента формы от трафика

Проведенные исследования показывают, что среднее количество повторных передач и КФР количества повторных передач также имеют критические значения. Для стационарного режима функционирования сети эти параметры принимают значения, ниже критического значения, а для неустойчивого режима параметры принимают значения, выше критического.

В процессе моделирования получены критические значения исследуемых параметров управления в зависимости от трафика, количества узлов и периода повторения. Анализ результатов показывает, что для каждого исследуемого параметра существуют определенные области, в которых находятся критические значения. Диапазоны изменения критических значений следующие:

- для КФР времени передачи (0.75; 1),
- для среднего количества повторений (1.5; 2),
- для КФР количества повторений (0.65; 1.16),

- для среднего времени передачи (6: 10)

Анализ полученных результатов показывает, что все исследуемые параметры имеют критические значения, при этом отношение максимального значения к минимальному для всех параметров примерно одинаково и находится в диапазоне 1.3 – 1.5. Наименьший разброс значений при различных наборах исходных данных имеет КФР времени передачи и среднее количество повторений. Для этих параметров существует достаточно выраженное критическое значение, равное соответственно 1 и 2.

Результаты исследований показали, что выбранные параметры кроме наличия критических значений, характеризуются также определенными временными соотношениями.

Как было показано выше, в стационарном состоянии все параметры сети являются постоянными, не зависят от времени функционирования. В процессе перехода сети в неустойчивое состояние, значения параметров также изменяется. Обозначим через  $T_p$  – момент времени, в который параметр «п» начинает изменяться. Было получено, что для всей области изменения входных величин существует следующее соотношение между моментами  $T_p$ :

$$T_{D/W} \leq T_{D/Nr} \leq T_{Nr} = T_w$$

Таким образом, изменение КФР времени передачи (D/W) начинается ранее, чем соответствующие изменения других параметров. Изменение среднего количества повторений наступает одновременно с соответствующим изменением времени передачи.

Разность между моментом изменения параметра и соответствующим изменением среднего времени передачи можно определить как интервал предупреждения  $T_{\text{предупр}}$  перехода сети в неустойчивое состояние:  $T_{\text{предупр}} = T_{\text{п}} - T_{\text{w}}$ .

В зависимости от набора исходных данных, интервал предупреждения КФР времени передачи составляет величину от 400 до 5000 окон (наиболее вероятное значение – 1200 окон), для КФР количества повторений этот интервал в среднем равен 800 окон.

Полученные результаты показывают, что КФР времени передачи является наиболее чувствительным параметром к переходу сети из стационарного в неустойчивое состояние и обладает максимальным значением интервала предупреждения. Для широкого набора параметров интервал предупреждения составляет заметную величину в несколько сотен или тысяч окон.

Таким образом, изменение среднего времени передачи или среднего количества повторений только фиксируют факт перехода сети в неустойчивое состояние. Параметры управления, учитывающие вторые моменты распределения

времени передачи или количества повторений, позволяют предсказать возможность выхода сети из стационарного состояния.

Практический результат, следующий из проведенных исследований, состоит в том, что интервал предупреждения предоставляет дополнительный временной ресурс, который может быть использован для своевременного проведения необходимых работ, связанных с управлением сетью в неустойчивом режиме.

### **Выводы**

Проведенные исследования показали, что переход сети из стационарного в неустойчивое состояние сопровождается не только количественным, но и качественным изменением распределения времени передачи пакетов. Эти изменения отражаются на поведении коэффициента формы распределения времени передачи и распределения количества повторных передач. Указанные параметры имеют критические значения, характерные для перехода сети в неустойчивое состояние. Кроме того, изменение КФР времени передачи и КФР количества повторных передач, связанное с переходом в неустойчивое состояние, наступает по времени ранее, чем соответствующие изменения времени передачи и количества повторных передач.

### **Библиографический список**

1. ARINC specification 618. AIR/Ground character-oriented protocol specification.
2. ARINC specification 631. Aviation VHF packet communications. Functional description.
3. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979. - 600 с.
4. Блэк Ю. Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы. М.: Мир, 1990. – 506 с.
5. Кузнецов Д.Ю., Назаров А.А. Исследование сетей связи с конечным числом абонентских станций, управляемых адаптивными протоколами случайного множественного доступа в условиях перегрузки // Автоматика и телемеханика. 1999. № 12. С. 99–113.
6. Кузнецов Д.Ю., Назаров А.А. Исследование немарковских моделей сетей связи с адаптивными протоколами случайного множественного доступа // Автоматика и телемеханика. 2001. № 5. С. 124–146.