

## ВАРИАНТ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СЕТИ ОБМЕНА ДАННЫМИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Г.П. Пуха, С.М. Пищальников (Санкт-Петербург)

**Введение.** Как известно, одним из основных качеств военной связи, наряду с достоверностью и безопасностью, является своевременность обмена сообщениями между соответствующими пунктами управления силами. Причем наибольший вес данное качество имеет в тактическом звене, например – при управлении силами ВМФ в море, когда в качестве основы для обеспечения его оперативности используются радиопередачи данных (ПД) [1].

В качестве показателя своевременности связи, обычно, используется вероятность прохождения сообщений в заданном информационном направлении за время, не превышающее допустимое. Для определения же такого показателя, в общем случае, необходимо иметь функцию распределения этого времени, получение которой, в свою очередь, может быть реализовано с помощью соответствующих методов моделирования и разработанных для этих целей специальных программных средств. Так, например, в набор типовых моделей подобных методик [2,3] входят технологии и алгоритмы, заложенные в функционировании таких радиопередач как:

- слуховая телеграфия (СЛХ ТЛГ);
- односторонняя (без решающей обратной связи) автоматизированная передача коротких телеграфных сообщений (СБД);
- двухсторонняя (с решающей обратной связью) передача данных с помощью узкополосных сигналов (ПД-РОС-УПС);
- двухсторонняя (с решающей обратной связью) передача данных с помощью широкополосных сигналов (ПД-РОС-ШПС);
- односторонняя (без решающей обратной связи) передача данных с помощью узкополосных сигналов (ПД-без РОС УПС).

Как видно, все указанные радиопередачи в арсенале данного набора предполагают частотное (для узкополосных сигналов) или кодовое (для сигналов ШП) разделение доступа к радиоканалу при построении на их основе первичных сетей связи, а средства моделирования сетей ПД с реализацией многостанционного доступа к общему радиоканалу с временным разделением (МДВР) отсутствуют. Восполнить данный пробел в интересах сравнительной оценки радиосетей ПД ТЗУ ВМФ и предполагается в данной работе.

**Особенности реализации МДВР.** В режиме МДВР каждому абоненту (пользователю) периодически выделяется стандартный временной интервал (СВИ, также именуемый кадром) для передачи информации, циркулирующей в той или иной сети, входящей в такую систему связи, причем, необходимый ресурс связи распределяется путем предоставления каждому абоненту всего спектра канала, в течение отведенного ему кадра.

Общая структура кадров периодически повторяется, так что передача данных в режиме множественного доступа с временным разделением (МДВР) – это один или более СВИ, которые периодически повторяются на протяжении всего суперцикла или «эпохи» –  $T_c$ . Каждая передающая станция транслирует данные в виде пакетов таким образом, чтобы они поступали в систему в соответствии с расписанием СВИ, установленным управляющей станцией сети. Принимающая станция детектирует и разуплотняет упакованные данные соответствующего именно ей пакета, что предполагает избирательность доступа к данным и использование средств фильтрации

(например, по представляющему интерес географическому району, по типу используемой для решения возникающих задач).

Временная шкала в сети задается ее управляющей станцией, которая передает управляющие сообщения в подчиненную сеть один раз в течение  $N_u$  циклов (в одной эпохе), поэтому эпохой можно также назвать промежуток времени между двумя последовательными излучениями управляющей станции.

Так, например, в транкинговых системах стандарта TETRA метод МДВР (TDMA) реализуется за счет организации на одной несущей частоте четырех разговорных канала [4]. При этом кадр длительностью 56,67 мс делится на четыре временных интервала - слота, а последовательность из 18 кадров образует мультикадр (цикл) длительностью 1,02 с, причем один кадр является контрольным. 60 таких мультикадров образуют гиперкадр (суперцикл).

В сотовых системах связи стандарта GSM используется узкополосный МДВР (NB TDMA), у которого в структуре кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124 несущих [4].

Одной из наиболее удачных реализаций технологии TDMA в области военной связи является, на наш взгляд, организация многостанционного доступа в объединенной системе распределения тактической информации JTIDS [5]. В данном варианте, в отличие от приведенных выше систем используются уже широкополосный сигнал (назовем этот вариант ВРК-ШПС), а структура суперцикла длительностью 12.8 мин состоит из 64 циклов по 12 с каждый, а цикл, в свою очередь, состоит из 1536 стандартных временных интервалов (СВИ) или кадров -  $N_k$ . Таким образом, суперцикл содержит 98 304 кадров длительностью по 7,8125 мс. Поэтому, если нет необходимости обновлять информацию об объекте чаще одного раза в каждые 12,8 мин, то система может обеспечивать 98304 участников (иными словами, это соответствует тому, что в сети каждому участнику информационного обмена (разумеется, только активному) выделяется только 1 СВИ). Структура всей такой эпохи приведена на рисунке 1.

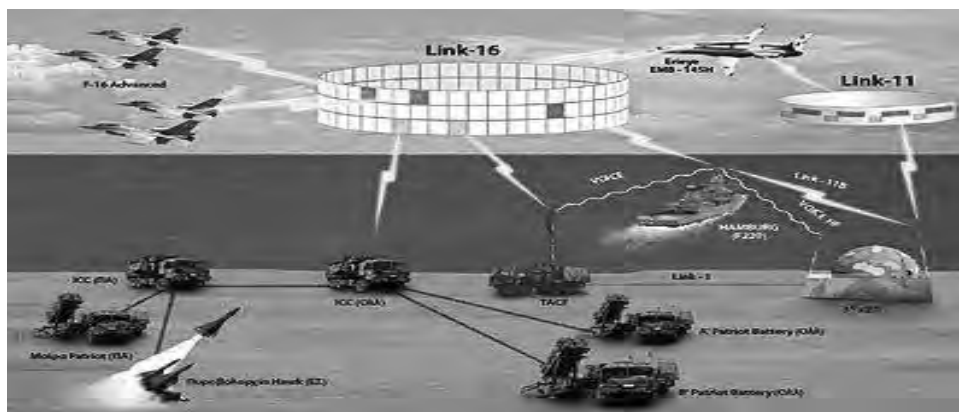


Рис. 1 – Структура МДВР в JTIDS

Следует отметить, что число выделяемых СВИ для каждого конкретного абонента не является строго фиксированной величиной, и может варьировать в зависимости от оперативной необходимости. В целом же использование МДВР в JTIDS позволяет выходить на связь до 1500—2000 абонентов в каждой из 15-20 сетей. Длина цикла в «JTIDS» – 12 с выбрана исходя из необходимости обновления данных от высокоскоростных ЛА, которым выделяется только один кадр для передачи данных за время одного цикла (64 – в суперцикле).

В типовом варианте построения системы, СВИ состоит из начального интервала, называемого «джиттером», передаваемого информационного пакета и защитного

интервала. Временное положение информационного пакета длительностью 3354 мкс внутри СВИ определяется псевдослучайной величиной джиттера ( $0 \div 4453,5$  мкс), связанной с сетевым временем своей сети. Для защиты от преднамеренных помех, в одном из режимов работы, значение длительности джиттера изменяется от кадра к кадру по псевдослучайному закону [6]. В случае необходимости абоненты сети могут иметь не только один, но и несколько СВИ в каждом цикле, что позволяет гибко регулировать скорость передачи информации от каждого из них. Для реализации этого подхода в JTIDS введена система приоритетов, определяющая возможности абонентов по использованию пропускной способности системы (таблица 1).

Таблица 1 – Система приоритетов JTIDS

Приоритет	Скорость передачи информации R, бит/с	Число выделенных кадров в суперцикле	Сквозность повторения СВИ, число пассивных интервалов между передачей
R15 max	9600	32768	2 (каждый третий кадр суперцикла, цикла)
R14	4800	16384	5 (каждый шестой кадр суперцикла, цикла)
R13	2400	8192	11 ....
R12	1200	4096	23 ...
R11	600	2048	47 ..
R10	300	1024	95 ..
R9	150	512	191 .
R8	75	256	383 .
R7	37.5	128	767 (два кадра в каждом цикле)
R6	18.75	64	1535 (один кадр в каждом цикле)
R5	9.375	32	3071
R4	4.6875	16	6143
R3	2.3438	8	12287
R2	1.17	4	24575
R1	0.58	2	49151 (два кадра в суперцикле)
R0 min	0.29	1	98303 (один кадр в суперцикле)

#### Имитационная модель сети ПД с ВРК-ШПС

Очевидно, что общими условиями реализации данного варианта доступа в радиосетях ПД являются:

- регулярный периодический прием сигналов цикловой синхронизации;
- организационно-детерминированное по запросам корреспондентов распределение временных интервалов (слотов),

Общими этапами (операциями) в алгоритме сеанса связи являются:

- разделение информационной части сообщения на необходимое для его передачи число кадров;
- поочередная, в отведенные временные интервалы (слоты), их передача в канале радиосвязи.

Тогда с точки зрения теории систем массового обслуживания канальный фрагмент радиосети с таким алгоритмом функционирования может быть представлен многоканальным – по числу временных кадров –  $N_k$  прибором, число которых для каждого узла связи  $N_{kyc}$  определяется его приоритетом  $n$  по правилу  $N_{kyc} = 2^n$ .

Алгоритм имитационной модели радиосети с ВРК-ШПС в целом, разработанный в нотации GPSS и реализованный в данной среде моделирования [7], предполагает (рисунок 2):

- генерацию потока сообщений с заданными параметрами: интенсивностью, объемом и приоритетом на  $i$ -ом узле связи (в модуле их формирования);
- определение отличительного признака квитанции на сообщение (блок 1), зафиксированное в блоке 19 и отправку ее сразу на передачу (блок 11);
- учет случайных значений времени набора текста сообщения (блок 2) и вхождения в связь (синхронизации технических средств связи) – блок 6;
- присвоение одному из параметров сообщения начального значения счетчика числа передач 1 (блок 3);
- снятие копии сообщения (блок 5) для последующих (в случае квитанционного обмена – блок 4) повторных передач;

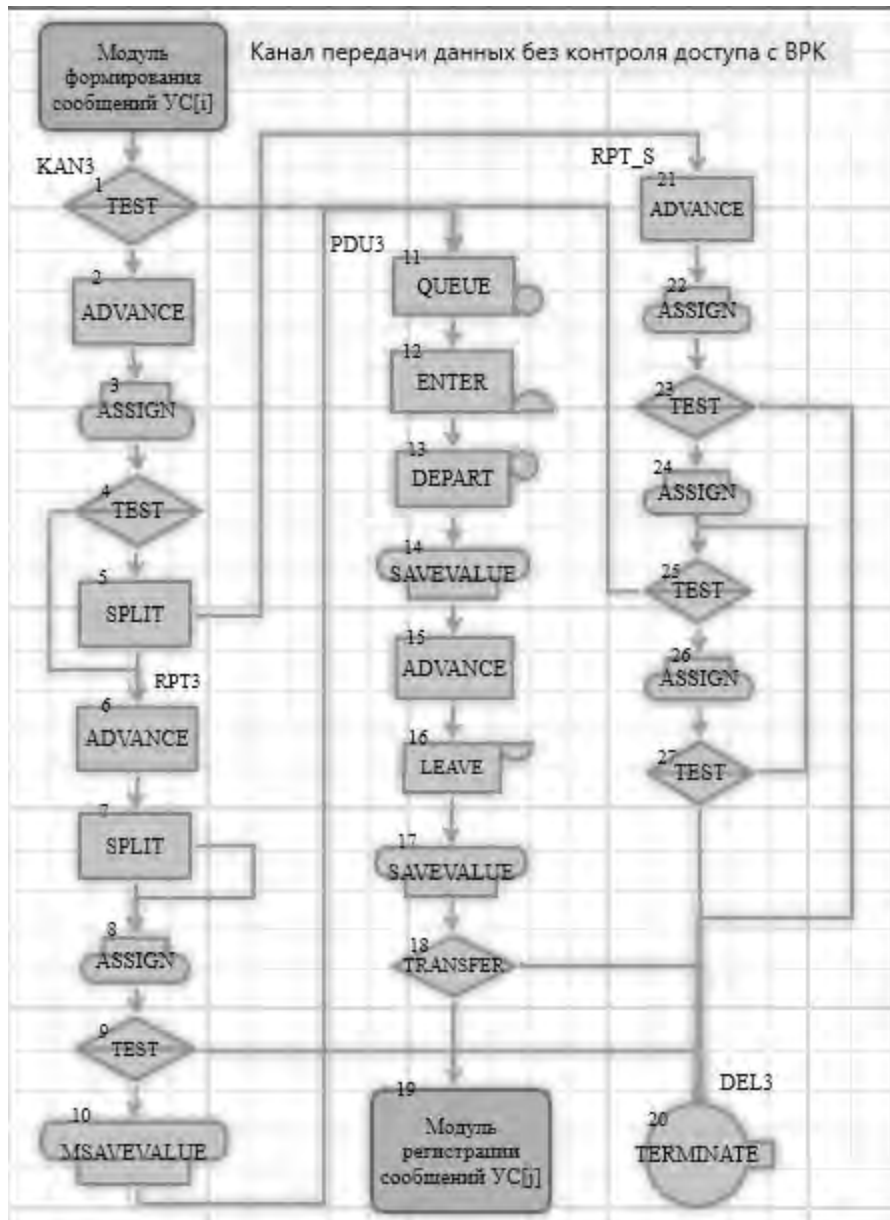


Рис. 2 – Блок-схема канального фрагмента имитационной модели радиосети с BPK-ППС в нотации GPSS

- подсчет числа переданных сообщений данного типа за один опыт (блок 10);
- занятие очереди к радиоканалу (блок 11) и ее освобождение (блок 13);

- занятие заданного (блок 14) ресурса радиоканала (блок 15) на время передачи необходимого числа кадров сообщения и его освобождение (блок 16);
- определение вероятности приема однократно переданного кадра или КВТ каждой пары корреспондентов (блок 17) и отправка их с этой вероятностью (блок 18) на вход модуля регистрации соответствующих (j-x) УС-адресатов (блок 19);
- задержку копии сообщения на время цикла ВРК для осуществления повторной передачи при квитанционном варианте (блок 21), увеличение счетчика повторов на 1 (блок 22), проверку его предельного значения (блок 23);
- проверку доставки сообщений адресатам по приему КВТ (наличие в адресной группе- матрицы УС-отправителя 1 блока 24-27), повторную отставку копии на передачу в эти адреса (к блоку 11) или ее удаление (в блоке 20) при прекращении этого процесса).

### Некоторые результаты сравнительной оценки возможностей современных радиолиний ПД по обеспечению своевременности связи в ТЗУ ВМФ

С помощью данной модели и комплекса имитационных моделей радиолиний ПД, разработанных, как уже отмечалось – ранее [2], произведена оценка своевременности прохождения (например, за 100 с) типового для ТЗУ короткого (объемом 50 знаков кода МТК-2) сообщения с интенсивностью, например, 3 ед./час, передаваемого с одного из узлов сети в адрес всех остальных корреспондентов сети по радиолиниям ПД с различными алгоритмами доступа к каналу и функционирования. Для сравнения только этих факторов принято, что энергетические потенциалы каналообразующей аппаратуры радиолиний идентичны и обеспечивают вероятность приема однократно переданного такого сообщения  $P_1$  от 1.0 до 0.5 с шагом 0.25.

Стандартные и предполагаемые характеристики исследуемых радиолиний, взятые в качестве исходных для этого случая, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Стандартные и предполагаемые характеристики исследуемых радиолиний

Тип р/л	Скорость ввода в ЗУ, бит/с	Время вхождения в связь, с	Время ожидания КВТ, с	Число передач или кадров	Интервал повторных передач, с	Число частот или приоритет для ВРК	Скорость передачи, бит/с или число СВИ для ВРК	Объем кадра, бит	Объем КВТ, бит
СЛХ ТЛГ	0	15	120	1	10	1	5	250	20
СБД	5	0	120	1	5	1	500	851	299
ВРК-ШПС	8	0	120	1	768	11	98304	645	16
ПД-РОС-УПС	8	2	1	2	1	1	1200	768	160
ПД-РОС-ШПС	8	1	1	1	0	1	1000000	1732	32
ПД-без РОС УПС	8	0	120	1	0	1	1200	1738	16

Результаты моделирования эпизода функционирования данного набора сетей ПД в течение суток для трех значений вероятности приема представлены в виде номограмм зависимости среднего времени доставки сообщения и вероятности этого события не более чем за 100 с от качества радиоканала (рисунки 3 и 4).

Из данных номограмм следуют достаточно интересные и, на первый взгляд, не вполне очевидные выводы:

– в идеальных условиях, когда энергетический потенциал аппаратуры связи без противодействия противника обеспечивает такое соотношение сигнала и естественных помех, при котором вероятность однократно переданного сообщения между любой парой корреспондентов (узлов связи) близка к единице (рисунки 3.а и 4.а), радиолинии ПД за счет автоматизации основных телекоммуникационных процессов, несомненно, имеют явное преимущество по показателям своевременности. При этом алгоритмы их функционирования обеспечивают, в этом смысле, примерно одинаковую эффективность, если речь идет о передаче сообщений в радионаправлениях или только одному узлу (см. рисунок 4.а – ряд диаграмм под номером 1);

– («сеансовую») связь с каждой радиостанцией сети с занятием всего канального ресурса, как для узкополосных, так и широкополосных сигнальных конструкций.

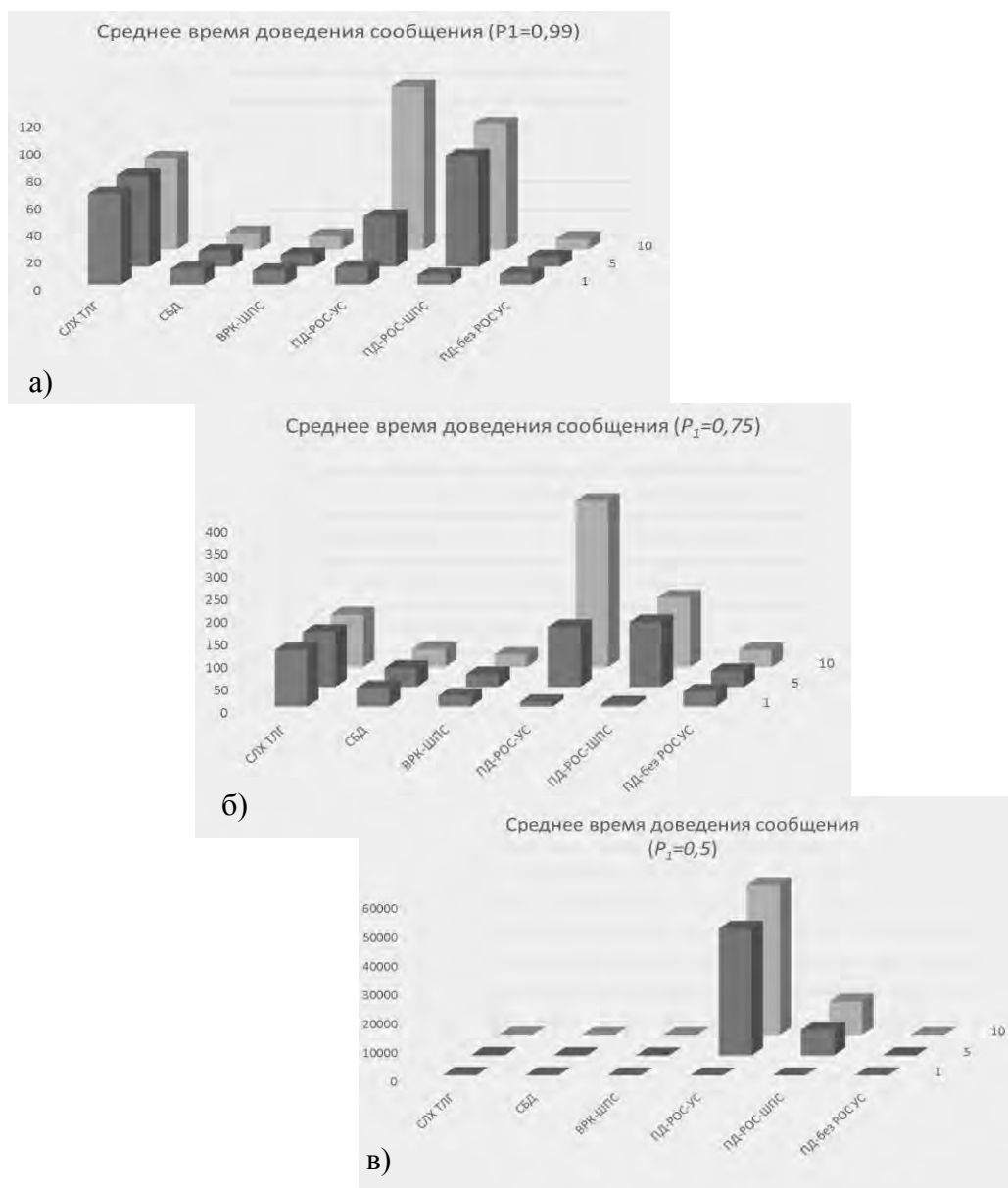


Рис. 3 – Сравнительная оценка возможностей радиосетей ПД по среднему времени доведения сообщений

Однако же, если речь идет о передаче сообщений по этим радиопередача сразу целому ряду корреспондентов (например, с 1 по 10), что характерно для организации связи в сети, то картина несколько видоизменяется. Дело в том, что алгоритмы радиопередачи, обеспечивающие высокую достоверность и скорость передаваемых данных за счет решающей обратной связи, предполагают, как правило, последовательную.

Поэтому, естественным образом, узлы связи в радиосетях такого типа (ПД-РОС-УПС и ПД-РОС-ШПС) становятся неравнозначными с точки зрения своевременности доведения до них сигналов: для больших номеров корреспондентов среднее время их доведения резко возрастает (см. рисунок 3.а – ряды диаграмм для 5 и 10 узлов), и даже несмотря на высокие скорости ПД есть вероятность не уложиться в заданное время (см. рисунок 4.а – ряды диаграмм 5 и 10 УС).

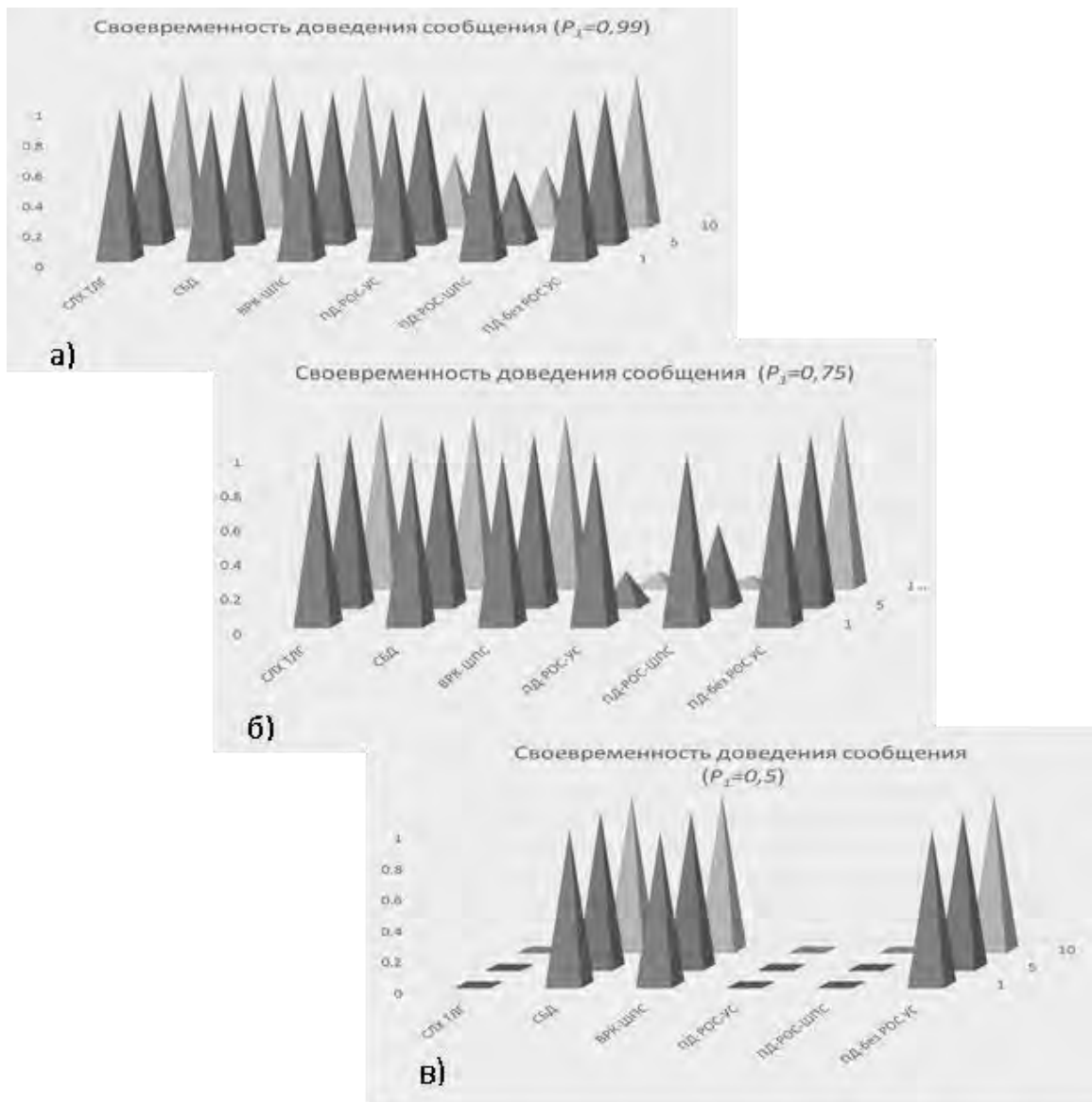


Рис. 4 – Сравнительная оценка возможностей радиосетей ПД по своевременности доведения сообщений

– в реальных условиях, когда уровень естественных помех, и без противника, будет позволять иметь вероятность однократно переданного сообщения порядка 0,75,

ситуация, с сохранением указанной тенденции, будет только усугубляться (см. рисунки 3.б и 4.б – ряды диаграмм для 5 и 10 узлов);

– в случае активного противодействия противника, когда вероятность однократно переданного сообщения может снизиться до 0,5 и ниже, это различие по времени становится таким, что оно даже не отражается в масштабе номограммы, представленной на рис.3.в, а своевременность радиолиний ПД этого типа сводится к нулю (рисунок 4.в);

– радиолинии, в алгоритмах которых предполагается односторонняя (без решающей обратной связи) передача данных с помощью узкополосных сигналов (ПД-без РОС УПС) или такие, у которых используется временное разделение доступа к радиоканалу и ШПС, могут продолжать успешно функционировать и в этих «суровых» условиях (рисунок 5.а). Обеспечивая, тем самым, возможность удовлетворения, например, требований по своевременности (рисунок 5.б);

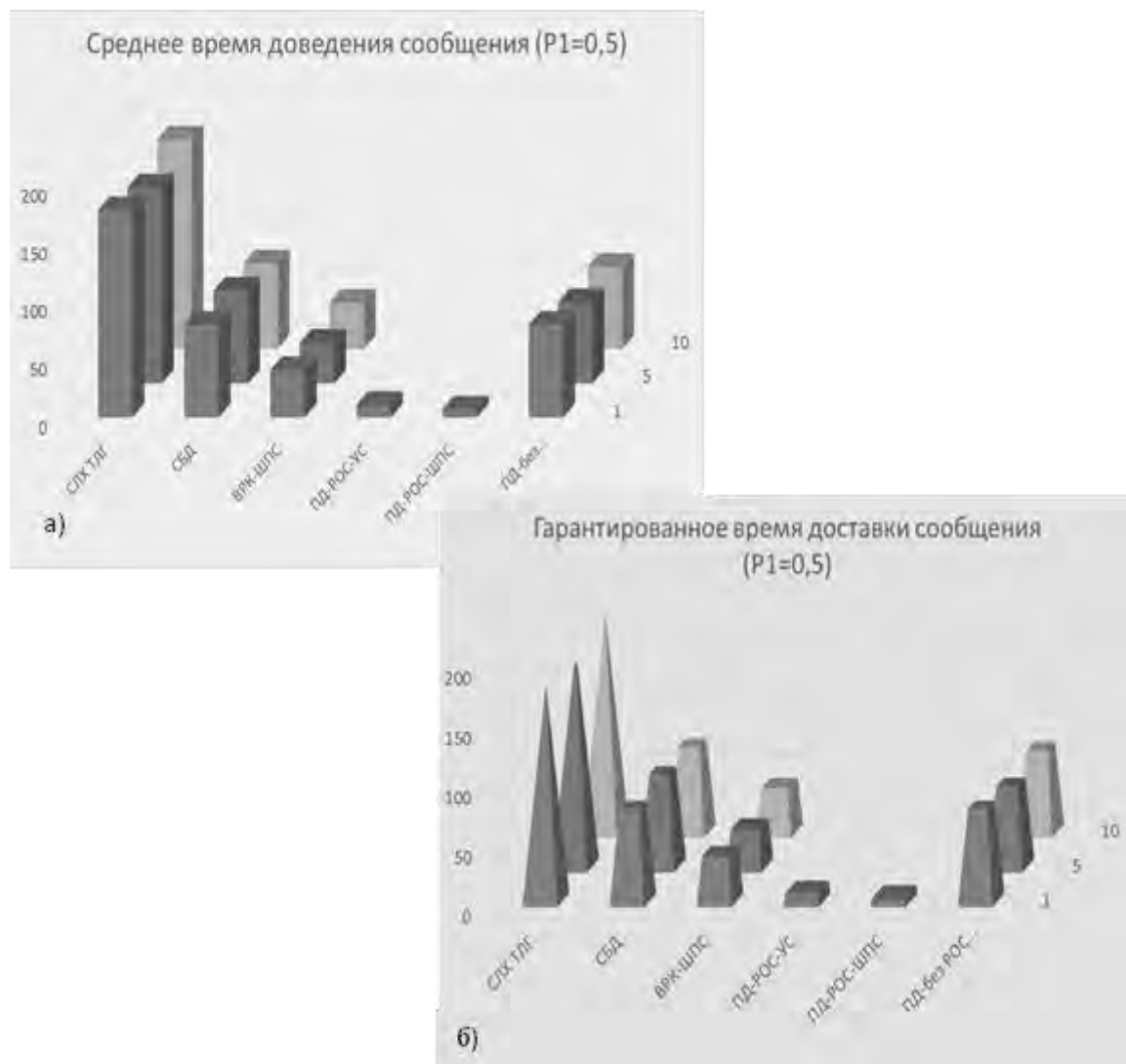


Рис. 5 – Сравнительная оценка возможностей радиосетей ПД без РОС по среднему времени доведения сообщений

– наилучшие показатели этого качества связи, имеющего приоритетное значение при управлении силами ВМФ в ТЗУ, отмечаются в сетях ПД, которые реализуют временное разделение доступа к радиоканалу.



### **Заключение**

Таким образом, в результате исследований, проведенных в данной работе с помощью усовершенствованного здесь же научно-методического аппарата моделирования сетей передачи данных, можно с большой долей уверенности утверждать, что наиболее перспективным направлением развития радиосетей этого класса применительно к потребностям ТЗУ ВМФ является реализация в их алгоритмах функционирования временного доступа к радиоканалу, что, на наш взгляд, позволяет надеяться на обеспечение и в этом звене требуемой оперативности управления.

Учитывая к тому же еще и требования к помехозащищенности таких сетей ПД, то, скорее всего, потребуется использовать в них и технологии формирования широкополосных сигналов. Целесообразность использования этих технологий в сочетании с ВРК требует дополнительных и более основательных исследований.

Данное направление создания технических средств ПД для ТЗУ имеет положительные исторические примеры не только в рамках НИР, но ОКР, и не заслужено забыто (или не может быть пока реализовано) нашей «доблестной» радиоэлектронной промышленностью, работающей в интересах ВМФ.

### **Литература**

1. **Пуха Г.П.** К вопросу об использовании системы поддержки принятия решений в работе пунктов управления связью флотов // Морская радиоэлектроника. № 2(72), июнь 2020. С. 10-13.
2. **Пуха Г.П., Пищальников С.М.** Оценка эффективности автоматизированных радиолиний и сетей передачи данных ТЗУ ВМФ / С.М. Пищальников, Г.П. Пуха / под общей редакцией Пуха Г.П. – СПб.: ВУНЦ ВМФ «Военно-морская Академия», 2021. 242 с.
3. Оценка реальной пропускной способности радиолиний обмена данными ВМФ / Г.П. Пуха, С.М. Пищальников // Морская радиоэлектроника. № 1(75), март 2021. С. 16-21.
4. **Ибраимов Р.Р.** Мобильные системы и сети связи / Конспект лекций для направления образования 5524400 – «Мобильные системы связи». – Ташкент, Ташкентский университет информационных технологий, 2010. 137 с.
5. Современное состояние и перспективы развития радиостанций зарубежных государств. / Харченко Н.К. // ЗВО-2003, №6. С. 22-30.
6. Тактические цифровые системы связи / Иностранная печать. Серия «ТСР служб зарубежных государств», ВИНТИ, Информ. Бюлл. 2003, №9 Jane's Defense Weekly, 2002, 16 октября, С.2-15.
7. Имитационные исследования в среде моделирования GPSSSTUDIO: учеб. Пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. — М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. 283 с.