

Т.И. Давыдова, И.В. Ткачев

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ

*Давыдова Татьяна Ивановна, окончила радиотехнический факультет Ульяновского государственного технического университета. Инженер-конструктор 1 категории ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Сфера научных интересов – антенны и устройства СВЧ. [e-mail: tasha\_dav@inbox.ru].*

*Ткачев Илья Викторович, курсант 5 курса ВМИРЭ им. А.С. Попова – ВУНЦ ВМА им. Н.Г. Кузнецова факультета систем автоматизации управления. Область интересов – связь, сетевые технологии. [e-mail: pooh\_bear@list.ru].*

### Аннотация

В статье описывается имитационная модель процесса функционирования радиотехнической аппаратуры (РТА) автоматизированного комплекса обмена информацией, созданная с целью оценки влияния интенсивностей отказов устройств РТА и времен, затрачиваемых на восстановление их работоспособности, на вероятность бесперебойного обмена информацией между комплексами обмена информацией двух кораблей в течение длительного времени.

Модель процесса функционирования РТА разработана с использованием математической схемы системы массового обслуживания (СМО) – Q-схемы. Откликом модели является оценка вероятности бесперебойного обмена информацией между двумя кораблями в течение длительного времени. Факторами модели являются надежностные параметры каждого устройства РТА, такие как интенсивность отказов и время восстановления. В статье представлены блок-схема обобщенного алгоритма процесса функционирования РТА и блок-схемы процедур определения и изменения состояний устройств РТА, имитируемых каналами СМО.

Имитационная модель доведена до программной реализации. Результатом программной реализации имитационной модели с задаваемыми пользователем значениями надежностных параметров устройств РТА является интервальная оценка вероятности бесперебойного обмена информацией между двумя кораблями в течение задаваемого пользователем времени. Требуемая точность и достоверность данной оценки обеспечивается выполнением вычисляемого в программе необходимого количества повторений программы с одними и теми же исходными данными.

Для оценки важности факторов (надежностных параметров устройств РТА) проведен дисперсионный анализ каждого из них с откликом. Методом покоординатного подъема определена комбинация достигаемых значений факторов, при которых значение отклика становится наибольшим.

Ключевые слова: имитационная модель, состояние каналов, дисперсионный анализ, метод покоординатного подъема.

### Abstract

The article describes a simulation model of radio-equipment operation for computer-aided data-exchange system created in order to evaluate influence of failure rate of radio-equipment devices and time for their recovery, on probability of uninterruptible data-exchange between computer-aided data-exchange systems of two ships during a long-time period.

The model of the operation process of radio equipment is developed using a mathematical scheme of queueing system – Q-scheme. The model response is an evaluation of the probability of uninterruptible data-exchange between computer-aided data-exchange systems of two ships during a long-time period. The model factors are the following reliability parameters of each radio equipment: failure rate and recovery time. The article also gives a block-diagram of general algorithm of the radio-equipment operation process and block-diagrams of procedures to define and change states of radio-equipment devices simulated by queueing-system channels.

The simulation model is at the level of software implementation. The result of the software implementation of the simulation model with values of the reliability parameters of radio-equipment devices, given by users, is an interval evaluation of probability of uninterruptible data-exchange between computer-aided

data-exchange systems of two ships during a time period given by users. The required accuracy and adequacy of the evaluation are ensured by a required number of software iterations, calculated by the programme, with the same initial data.

To evaluate the importance of factors (reliability parameters of radio-equipment devices), a variance analysis of each of them with response has been made. A combination of achievable factor values when response values becomes the largest, has been defined by a method of coordinate raising.

Key words: simulation model, channel state, variance analysis, method of coordinate raising.

**ВВЕДЕНИЕ**

Основной задачей РТА является обмен информацией между кораблем-диспетчером и кораблями-абонентами [1]. Чтобы обеспечить устойчивый обмен, устройства РТА комплекса обмена информацией должны надежно функционировать и при выходе из строя иметь возможность быстрого восстановления. Для оценки надежности функционирования РТА создается имитационная модель функционирования РТА.

Предлагаем оценивать надежность устройств РТА при помощи анализа зависимости вероятности обмена информацией за длительный период от значений интенсивности отказов и времени восстановления каждого устройства РТА.

**ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Q-СХЕМЫ**

Рассмотрим функционирование РТА автоматизированного комплекса обмена информацией нового образца с использованием Q-схемы на примере передачи сигналов маяка и информационного сигнала с корабля-диспетчера на корабль-абонент (рис. 1) [2]. Аналогичные схемы получаются для приема сигналов ответа и запроса с корабля-диспетчера на корабль-абонент, при передаче с корабля-абонента на корабль-диспетчер и приеме на корабль-диспетчер с корабля-абонента.

Для примера рассмотрим РТА нового образца. Предположим, что в ее состав входят следующие устройства, которые делятся на значимые части по надежности и восстановлению:

- мини-ЭВМ1, мини-ЭВМ2: платы питания, процессорный модуль (ПМ), платы сопряжения (ПС);
- приемо-передающее устройство (УПП): приемная и передающая части, блок управления (БУУП);
- фазированная антенная решетка (ФАР) — в виде трех линеек излучателей (ЛИ);
- модуль управления фазированной антенной решеткой (УФАР): блок управления (БУУФ), делитель-сумматор мощности (ДМС);
- демодулятор;
- ненаправленная антенна (АНН) в виде шести рупоров;
- модуль управления АНН (УАНН);
- устройство управления (УУ) автоматизированного комплекса обмена информацией.

Для конкретной системы состав устройств РТА уточняется и дополняется.

**ОПИСАНИЕ Q-СХЕМЫ**

$U_{оп1}, U_{вп}$  — источники отказа и восстановления платы питания мини-ЭВМ1 и мини-ЭВМ2;

$U_{опм}, U_{впм}$  — источники отказа и восстановления процессорного модуля из состава мини-ЭВМ1 и мини-ЭВМ2;

$U_{опс}, U_{впс}$  — источники отказа и восстановления платы сопряжения из состава мини-ЭВМ1 и мини-ЭВМ2;

$U_{у}, U_{мс}$  — источники управляющего и модулирующего сигналов от УУ;

$U_{и}, U_{м}$  — источники вероятности передачи информации и сигнала маяка;

$U_{обуф}, U_{вбуф}$  — источники отказа и восстановления БУУФ;

$U_{обуп}, U_{вбуп}$  — источники отказа и восстановления БУПП;

$U_{уфл}, U_{вфл}$  — источники отказа и восстановления УФАР1 (для остальных УФАР аналогично);

$U_{оли}, U_{вли}$  — источники отказа и восстановления ЛИ1 из состава ФАР (для остальных ЛИ аналогично);

$U_{опер}, U_{впер}$  — источники отказа и восстановления передающей части из УПП;

$U_{уанн}, U_{ванн}$  — источники отказа и восстановления УАНН;

$U_{одмс}, U_{вдмс}$  — источники отказа и восстановления ДМС;

$U_{опр}, U_{впр}$  — источники отказа и восстановления первого рупора (Р1) из состава АНН (для остальных рупоров аналогично);

$K_{нз1}, K_{нз2}$  — каналы отказа питания мини-ЭВМ1 и мини-ЭВМ2;

$K_{э1}, K_{э2}$  — каналы отказа мини-ЭВМ1 и мини-ЭВМ2;

$K_{пс}$  — канал отказа ПС в мини-ЭВМ;

$K_{буф}$  — канал отказа БУУФ;

$K_{буп}$  — канал отказа БУУП;

$K_{уфл}$  — канал отказа УФАР1 (для остальных УФАР аналогично);

$K_{ли1}$  — канал отказа ЛИ1 из состава ФАР (для остальных ЛИ аналогично);

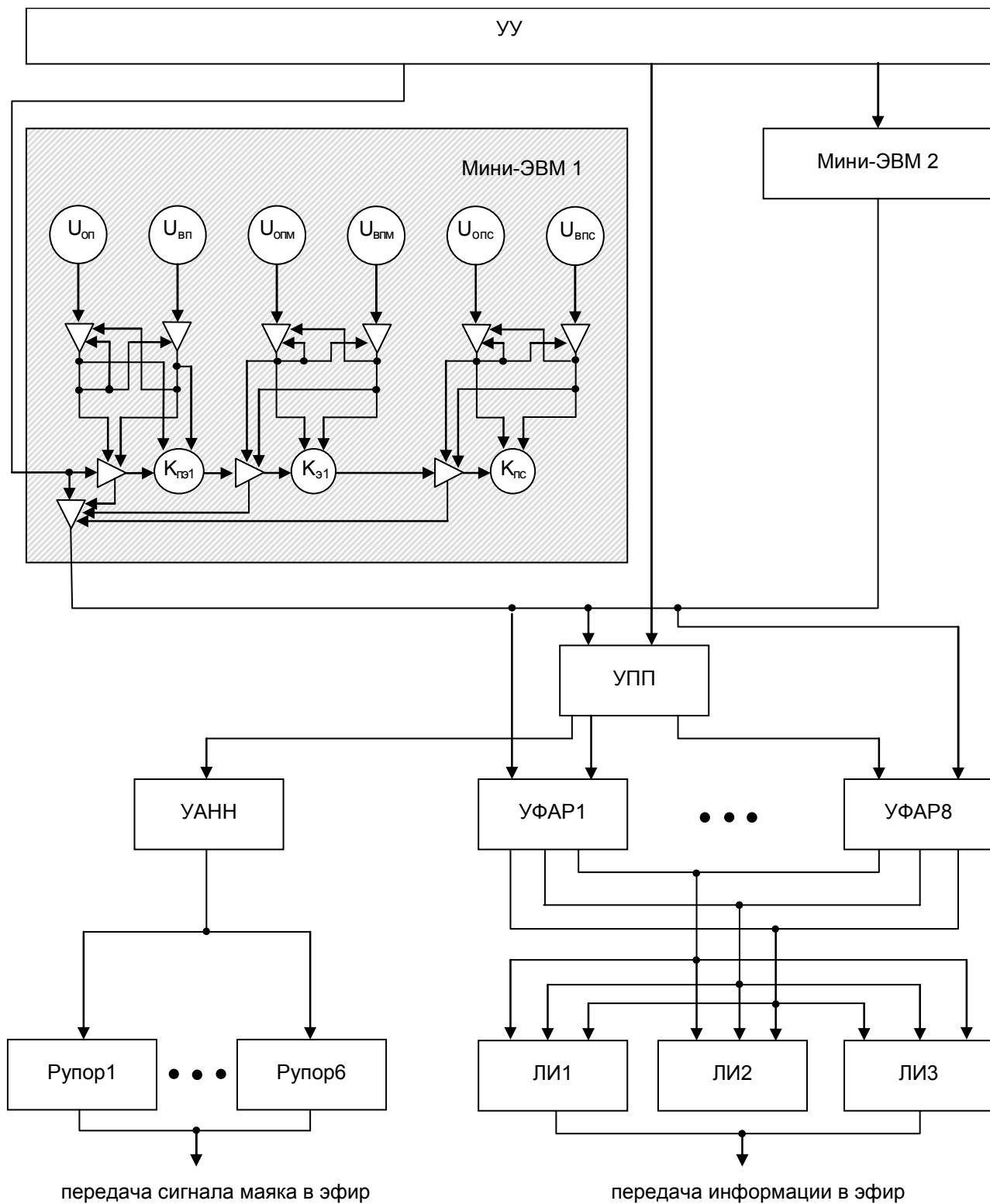


Рис. 1. Q-схема моделируемой системы при передаче с корабля-диспетчера на корабль-абонент

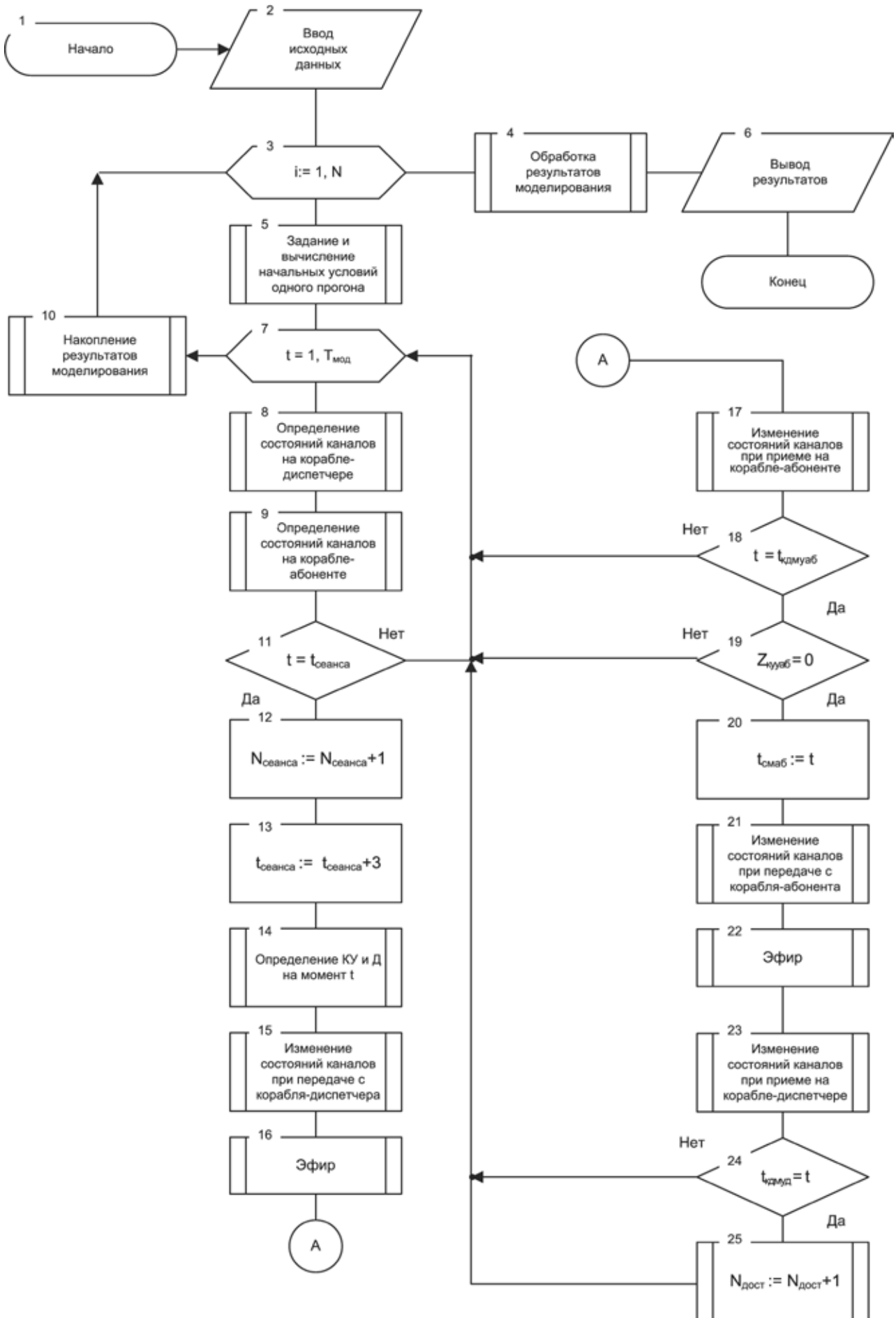


Рис. 2. Обобщенный алгоритм

$K_{пер}$  — канал отказа передающей части УПП;  
 $K_{уанн}$  — канал отказа УАНН;  
 $K_{дмс}$  — канал отказа ДМС;  
 $K_{р1}$  — канал отказа Р1 из состава АНН (для остальных рупоров аналогично).

#### Обобщенный алгоритм

На рисунке 2 представлен обобщенный алгоритм моделирования. Описание блоков алгоритма приведем ниже.

1 — начало обобщенного алгоритма;

2 — ввод исходных данных (времена наработки на отказ ( $T_{но}$ ) и времена восстановления ( $T_{в}$ ) каналов каждого устройства РТА), теоретически рассчитанных для системы нового образца, и данных, полученных во время эксплуатации систем старого образца;

3 — задание количества прогнозов программы;

4 — обработка результатов моделирования;

5 — задание и вычисление начальных условий одного прогноза;

6 — вывод результатов моделирования;

7 — задание времени моделирования ( $T_{мод} = 3600000$  с);

8 — определение состояний каналов на корабле-диспетчере;

9 — определение состояний каналов на корабле-абоненте;

10 — накопление результатов моделирования;

11 — условие достижения времени одного сеанса передачи сообщений с корабля-диспетчера на корабль-абонент на данный момент времени  $t$ ;

12 — вычисление количества сообщений ( $N_{сеанса}$ ) в одном сеансе;

13 — вычисление времени одного сеанса передачи сообщений  $t_{сеанса}$ ;

14 — определение курсового угла (КУ) и дистанции (Д) на момент времени  $t$ ;

15 — изменение состояний каналов при передаче с корабля-диспетчера;

16 — передача через эфир с корабля-диспетчера на корабль-абонент;

17 — изменение состояний каналов при приеме на корабль-абоненте;

18 — текущему времени присваивается время канала демодулятора корабля-абонента ( $t_{кдмуаб}$ );

19 — состояние канала УУ корабля-абонента ( $Z_{кууаб}$ );

20 — факт присвоения времени канала маяка ( $t_{смаб}$ ) на момент времени  $t$ ;

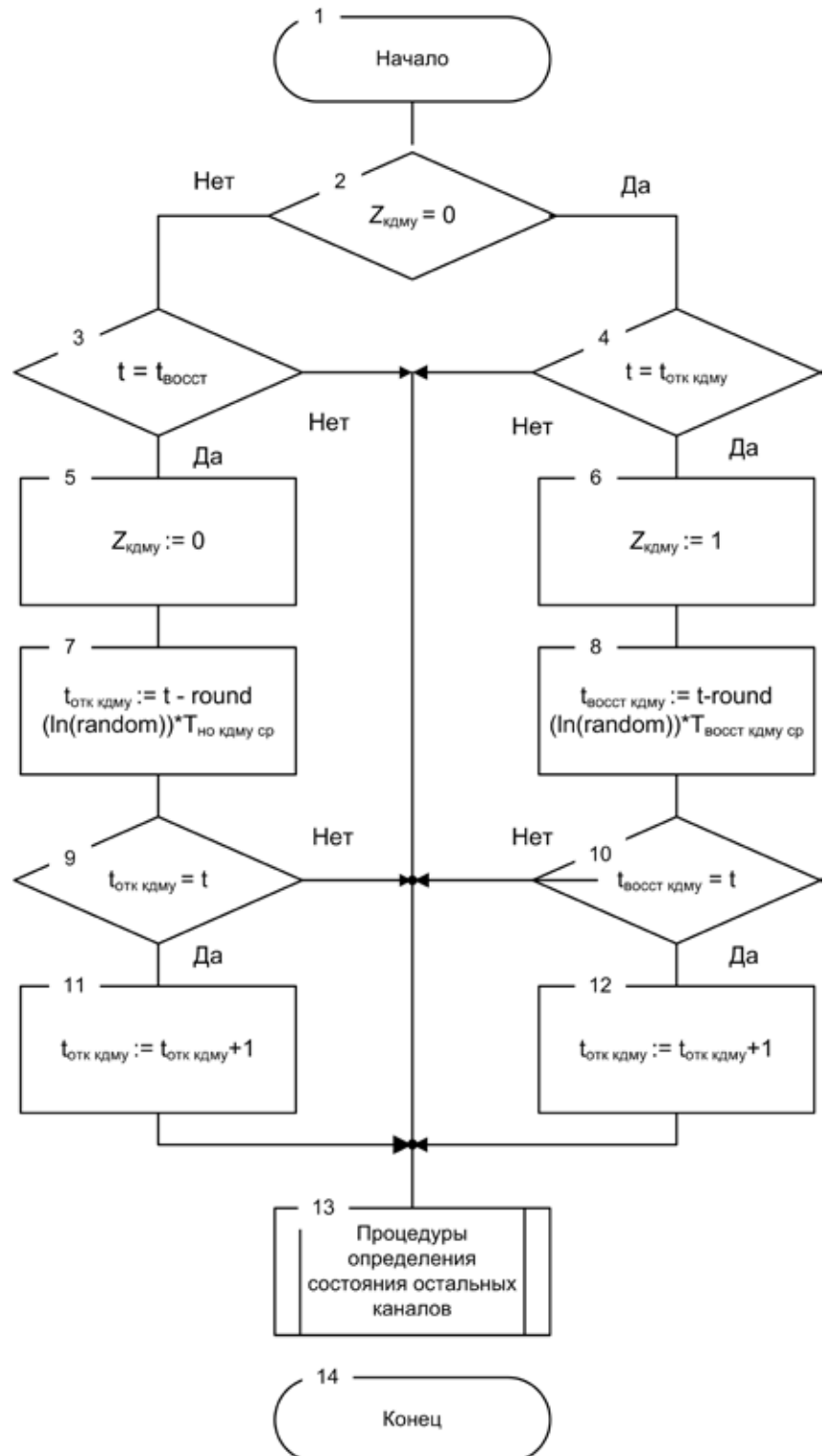


Рис. 3. Процедура определения состояния канала

21 — изменение состояний каналов при передаче с корабля-абонента;

22 — передача через эфир с корабля-абонента на корабль-диспетчер;

23 — изменение состояний каналов при приеме на корабле-диспетчере;

24 — условие равенства времени канала демодулятора корабля-диспетчера ( $t_{кдму}$ ) моменту времени  $t$ ;

25 — вычисление количества доставленных сообщений ( $N_{дост}$ ) за один прогон программы.

**Процедура определения состояния каналов**

На рисунке 3 представлена процедура определения состояния канала (на примере демодулятора) на один момент времени  $t$ .

Проверяем условие состояния канала демодулятора ( $Z_{кдму} = 0$ ). Если условие выполняется, то проверяем условие  $t = t_{отк кдму}$ , где  $t_{отк кдму}$  — время между отказами канала демодулятора,  $t$  — текущее время, иначе проверяем условие  $t = t_{восст кдму}$ , где  $t_{восст кдму}$  — время восстановления канала демодулятора.

Проверяем условие  $t = t_{восст кдму}$  при отрицательном результате предыдущей проверки. Если это условие выполняется, то состоянию канала присваиваем значение  $Z_{кдму} := 0$  и далее вычисляем время между отказами канала как

$$t_{отк кдму} := t - \text{round}(\ln(\text{random})) * T_{но кдму ср},$$

где  $T_{но кдму ср}$  — среднее время наработки на отказ демодулятора.

Если условие не выполняется — переходим к процедуре определения состояния следующего канала.

Далее проверяем условие  $t_{отк кдму} = t$ . Если условие выполняется, то вычисляем  $t_{отк кдму}$  на момент времени. Если нет, то переходим к процедуре определения состояния следующего канала.

Проверяем условие  $t = t_{отк кдму}$  при положительной проверке условия  $Z_{кдму} = 0$  (канал исправен). Если это условие выполняется, то состоянию канала присваиваем значение  $Z_{кдму} := 1$  (канал не исправен) и далее вычисляем время восстановления канала:

$$t_{восст кдму} := t - \text{round}(\ln(\text{random})) * T_{восст кдму ср},$$

где  $T_{восст кдму ср}$  — среднее время восстановления демодулятора.

Далее проверяем условие  $t_{восст кдму} = t$ . Если условие выполняется, то вычисляем  $t_{восст кдму}$  на момент времени  $t$ . Если нет, то переходим к процедуре определения состояния следующего канала.

Для остальных каналов процедуры проверки состояния каналов аналогичны.

**Процедура изменения состояния канала**

Процедура изменения состояния канала представлена на рисунке 4.

1 — начало процедуры изменения состояния каналов;

2 — изменение состояния каналов мини-ЭВМ;

3 — условие исправности канала БУПП;

4 — присвоение времени канала БУПП ( $t_{кбупп}$ ) текущему времени;

5 — условие исправности канала БУУФ;

6 — проверка условия, если курсовой угол лежит в пределах  $0^\circ \leq КУ \leq 60^\circ$ ;

7 — проверка условия, если курсовой угол лежит в пределах  $60^\circ \leq КУ \leq 120^\circ$ ;

8 — присвоение переменной значения ЛИЗ ФАР;

9 — присвоение переменной значения ЛИ2 ФАР;

10 — присвоение переменной значения ЛИ1 ФАР;

11 — присвоение времени канала БУУФ корабля-диспетчера ( $t_{кбууф}$ ) текущему времени  $t$ ;

12 — процедура выбора ЛИ ФАР;

13 — процедура изменения состояния каналов приема-передачи, делителя-сумматора мощности в УФАР и демодулятора;

14 — конец процедуры изменения состояния каналов.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ СООБЩЕНИЙ С КОРАБЛЯ-ДИСПЕТЧЕРА НА КОРАБЛЬ-АБОНЕНТ**

1) Вероятность доставки сообщений ( $P_{дост}$ ) с корабля-диспетчера на корабль-абонент определяется по формуле:

$$P_{дост} = N_{дост} / N,$$

где  $N_{дост}$  — количество доставленных сообщений;

$N$  — количество переданных сообщений.

2) Количество доставленных сообщений за 1 прогон программы тогда составит:

$$N_{дост} := N_{дост} + I, \text{ если } t = t_{к},$$

где  $t_{к}$  — время прохождения сообщения через соответствующий канал;

$t$  — момент времени (текущее время).

3)  $t_{к} := t$ , если  $(t = t_{кз})$  и  $(Z_{к} = 0)$ ,

где  $t_{кз}$  — время канала, от которого зависит  $t_{к}$ ;

$Z_{к}$  — состояние канала.

**ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

При использовании дисперсионного анализа проверяется условие: является ли зависимость отклика от фактора значимой и причинной [3]. В результате эксперимента выделяются доминирующие факторы из всего множества имею-

щихся факторов. С помощью дисперсионного анализа определяются количественные отклонения наблюдений от среднего значения. Влияние фактора на отклик будем оценивать неслучайной величиной — факторной дисперсией отклика ( $D_x$ ) по формуле:

$$D_x = \sum_{i=1}^k \frac{(\bar{y}_i - \bar{y})^2}{k},$$

где  $\bar{y}$  — среднее арифметическое значение величины  $y$  (отклика);

$\bar{y}_i$  — среднее значение величины  $y$  (отклика) при установке значения фактора  $x$  на  $i$ -м уровне;

$k$  — количество уровней фактора  $x$ .

Найдем дисперсию ( $D$ ), межуровневую дисперсию ( $D_{му}$ ), математическое ожидание ( $MO$ ), межуровневое математическое ожидание ( $MO_{му}$ ) на верхнем и на нижнем уровнях для одного фактора. Данные по нижнему уровню — фактические данные при эксплуатации радиолинии старого образца. А верхний уровень — теоретические расчетные данные для радиолинии нового образца с приблизительным составом, описанным ранее. Полученные данные укажем в таблице 1.

Генеральная дисперсия определяется по формуле:

$$D_0 = (Dв + Dн)/2,$$

где  $Dв$  — значение дисперсии на верхнем уровне;

$Dн$  — значение дисперсии на нижнем уровне.

Подставляя значения, получим:

$$D_0 = (0,000473 + 0,001433) / 2 = 0,000935.$$

Тогда по критерию согласия Фишера  $F_i = D_{му} / D_0$  получаем

$$F_i = 0,003466 / 0,000935 = 3,7.$$

$F_{критич} = 1,38$  для 100 прогонів и уровня значимости  $\alpha = 0,05$ .

Если  $F_i > F_{критич}$ , то фактор значимый, как в данном примере.

Для нормирования и упорядочения значений  $F$  для каждого фактора мы найдем отношение  $F_i / \sum F_i$ .

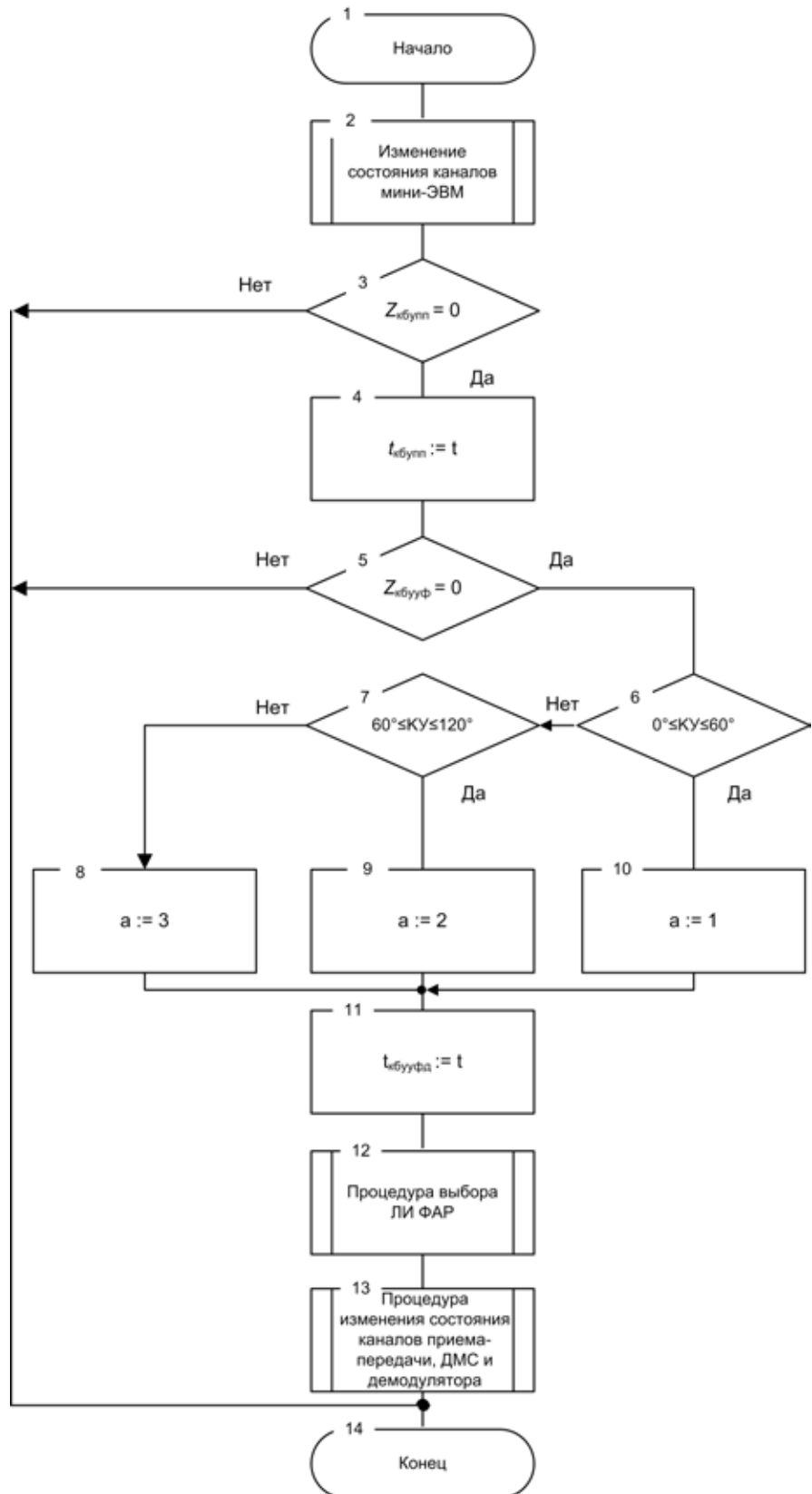


Рис. 4. Процедура изменения состояния канала

Упорядочим результаты факторов по устройствам РТА в порядке их значимости и запишем в таблице 2.

Из таблицы видно, что самое значимое устройство – УФАР.

**Анализ работы РТА автоматизированного комплекса обмена информацией методом покоординатного подъема**

**Методика определения значений факторов, дающих оптимальное значение отклика методом покоординатного подъема (спуска)**

1) Определить количество уровней каждого фактора. Желательно иметь не менее пяти уровней, каждый из которых одинаково отстоит от соседнего уровня.

2) Зафиксировать все факторы, кроме первого, на нулевом уровне. Варьировать последовательно значения первого фактора на всех его уровнях. Найти такой уровень первого фактора, на котором достигается наилучшее значение отклика.

3) Зафиксировать все факторы, кроме первого и второго, на нулевом уровне. Зафиксировать первый фактор на том уровне, на котором достигается наилучшее значение отклика. Варьировать последовательно значения второго

фактора на всех его уровнях. Найти такой уровень второго фактора, на котором достигается наилучшее значение отклика.

4) Зафиксировать все факторы, кроме первого, второго и третьего, на нулевом уровне. Зафиксировать первый и второй факторы на тех уровнях, на которых достигается наилучшее значение отклика. Варьировать последовательно значения третьего фактора на всех его уровнях. Найти такой уровень третьего фактора, на котором достигается наилучшее значение отклика.

Аналогично продолжить для всех оставшихся факторов. По окончании эксперимента зафиксированными окажутся те значения факторов, на которых достигается наилучшее значение отклика.

Каждое время наработки на отказ и время восстановления устройств РТА принимаем за фактор. В таблице 3 укажем  $T_{но}$  и  $T_e$  для радиолиний нового и старого образца, а в таблице 4 – полученный нулевой уровень. За РТА нового образца примем современную РТА автоматизированного комплекса обмена информацией четвертого поколения с фазированной антенной решеткой, а за РТА старого образца – РТА автоматизированного комплекса обмена информацией третьего поколения с антенной кругового обзора и следящей антенной.

Таблица 1

Рассчитанные значения факторов на разных уровнях

Название фактора	Нижний уровень	Нулевой уровень	Верхний уровень
	Значение фактора	Значение фактора	Значение фактора
Токи – время между отказами i-го канала	104400 с	1044000 с	10440000 с
МО Рдост – мат. ожидание вероятности доставки сообщений	0,8903	МОму	0,9587
		0,9229	
D	0,001433	Dму	0,000473
		0,003466	

Таблица 2

Порядок значимости устройств РТА

Порядок значимости устройств в системе	Название устройства	Важность факторов времен между отказами ( $t_{отк}$ ) ( $F_i / \Sigma F_i$ )	Важность факторов времен восстановления ( $t_e$ ) ( $F_i / \Sigma F_i$ )
1	УФАР	0,16	0,164
2	УПП	0,129	0,11
3	УАНН	0,07	0,018
4	Мини-ЭВМ	0,0667	0,0682
5	УУ	0,038	0,0246
6	ФАР	0,025	0,029
7	Демодулятор	0,021	0,026
8	АНН	0,019	0,0231



Таблица 3

Время наработки на отказ и время восстановления устройств нового и старого образцов

Составные части		Радиолиния нового образца		Радиолиния старого образца	
		$T_{но}, c$	$T_{г}, c$	$T_{но}, c$	$T_{г}, c$
Мини-ЭВМ	Плата питания	126000000	1500	1440000	10800
	Процессорный модуль	126000000			
	Плата сопряжения	126000000			
УУ		1000000	1800	1440000	9000
УФАР	УФАР	30600000	2400	1440000	10000
	ДМС	9000000			
	БУУФ	9000000			
УАНН	УАНН	165600000	1800	1440000	10800
АР	ЛИ ФАР	360000000	3600	1299600	9000
АНН	Ненаправленная антенна в виде рупоров	360000000	3600	1440000	8000
ДМУ		61200000	2400	1440000	9000
УПП	УПП	10440000	3000	1818000	34200
	БУУП	1224000000			

Таблица 4

Полученные результаты  $T_{но}$  и  $T_{г}$  на нулевом уровне для устройства РТА

Составные части		Нулевой уровень	
		$T_{но}, c$	$T_{г}, c$
Мини-ЭВМ	Плата питания	63720000	6150
	Процессорный модуль	63720000	
	Плата сопряжения	63720000	
УУ		1220000	5900
УФАР	УФАР	16020000	6200
	ДМС	5220000	
	БУУФ	5220000	
УАНН		83520000	6300
АР	ЛИ ФАР	180649800	6300
АНН		180720000	5800
ДМУ	Демодулятор	31320000	5700
УПП	УПП	6129000	18600
	БУУП	612909000	

Так как состав приборов РТА разных поколений имеет некоторые отличия, то будем считать, что модуль мини-ЭВМ — составная часть устройства управления автоматизированного комплекса обмена информацией, выполняющая отдельную функцию, а модуль антенной решетки — антенна кругового обзора и следящая антенна.

Данные времен наработки на отказ и времени восстановления для устройств РТА новой

радиолинии были теоретически рассчитаны и для удобства дальнейших расчетов округлены, а для старой радиолинии взяты из корабельного журнала по эксплуатации РТА.

После проведения эксперимента в положении нулевого уровня на всех факторах получились следующие результаты:

$$MO = 0,7046;$$

$$CKO = 0,0449;$$

$D = 0,00085$  – оценка дисперсии вероятности;

$\varepsilon = 0,01277$  – точность оценки вероятности;

$\varepsilon_{op} = 0,26565$  – относительная точность оценки вероятности;

$N_{необ} = 565$  – количество необходимых прогонов.

Проведем эксперимент методом покоординатного подъема. Для этого примем значения факторов времен наработки на отказ старой радиолинии за нижний уровень, а ее времена восстановления – за верхний уровень, в свою очередь значения факторов времен наработки на отказ новой радиолинии – за верхний уровень, а ее времена восстановления – за нижний уровень.

Метод рассмотрим на примере первых трех факторов.

1) Выполняем эксперимент в состоянии первого фактора (например, время наработки на отказ демодулятора –  $T_{но}$ , с) на всех уровнях по очереди и получаем вероятность доставки сообщений, при этом все остальные факторы находятся на нулевом уровне.

Из таблицы 5 видно, что значение вероятности доставки на верхнем уровне оптимальное, следовательно, выбираем значение  $T_{но} = 61200000$  с для выполнения эксперимента со следующим фактором.

2) Выполняем эксперимент в состоянии второго фактора (время восстановления демодулятора –  $T_в$ , с) на нижнем, а затем на верх-

нем уровнях и получаем вероятность доставки сообщений, при этом все остальные факторы находятся на нулевом уровне, а первый фактор остается со значением своего верхнего уровня ( $T_{но} = 61200000$  с).

Из таблицы 6 видно, что значение вероятности доставки на нижнем уровне оптимальное, следовательно, выбираем значение  $T_в = 2400$  с для выполнения эксперимента со следующим фактором.

3) Выполняем эксперимент в состоянии третьего фактора ( $T_{но}$  УПП, с – время наработки на отказ приемной части УПП) на нижнем, а затем на верхнем уровнях и получаем вероятность доставки сообщений, при этом все остальные факторы находятся на нулевом уровне, а первый и второй факторы остаются со своими оптимальными значениями ( $T_{но} = 61200000$  с и  $T_в = 2400$  с) (табл. 7).

В ходе эксперимента выявилось, что оптимальными значениями оказывались времена наработки на отказ на верхнем уровне и времена восстановления на нижнем уровне. Результаты эксперимента методом покоординатного подъема приведены в таблице 8.

**Выводы**

Для сравнения старой и новой аппаратуры был проведен эксперимент со значениями факторов старой и новой радиолиний.

Для значений факторов старой радиолинии была получена средняя оценка ве-

Таблица 5

Результаты эксперимента в состоянии времени первого фактора – времени наработки на отказ демодулятора

$T_{но}, c$	Нижний уровень	Промежуточный уровень	Нулевой уровень	Промежуточный уровень	Верхний уровень
	1440000	16380000	31320000	46260000	61200000
$P_{дост}$	0,3109	0,50775	0,7046	0,73455	0,7645

Таблица 6

Результаты эксперимента в состоянии времени второго фактора – времени восстановления демодулятора

$T_в, c$	Нижний уровень	Промежуточный уровень	Нулевой уровень	Промежуточный уровень	Верхний уровень
	2400	4050	5700	7350	9000
$P_{дост}$	0,7940	0,77925	0,7645	0,70365	0,6428

Таблица 7

Результаты эксперимента в состоянии времени третьего фактора – времени наработки на отказ приемной части УПП

$T_{но}$ УПП, с	Нижний уровень	Промежуточный уровень	Нулевой уровень	Промежуточный уровень	Верхний уровень
	1818000	3973500	6129000	8284500	10440000
$P_{дост}$	0,7778	0,7859	0,7940	0,79925	0,8045

Результаты эксперимента методом покоординатного подъема

Составные части		Оптимальные значения факторов	
		$T_{но}, c$	$T_{в}, c$
Мини-ЭВМ	Плата питания мини	126000000	1500
	Процессорный модуль	126000000	
	Плата сопряжения	126000000	
УУ		1000000	1800
УФАР	УФАР	30600000	2400
	ДМС	9000000	
	БУУФ	9000000	
УАНН	УАНН	165600000	1800
АР	Излучатель ФАР	360000000	3600
АНН	Ненаправленная антенна в виде рупоров	360000000	3600
Демодулятор		61200000	2400
УПП	УПП	10440000	3000
	БУУП	1224000000	

роятности доставки сообщений за 40 суток непрерывной работы РТА  $P_{дост} = 0,1989$  и ее доверительный интервал  $[0,18; 0,22]$  ( $[P_{дост} - \varepsilon; P_{дост} + \varepsilon]$ ) при доверительной вероятности 0,95 и заданной относительной точности 0,05.

Для значений факторов новой радиолинии была получена средняя оценка вероятности доставки сообщений за 40 суток непрерывной работы РТА  $P_{дост} = 0,9547$  и ее доверительный интервал  $[0,94; 0,97]$  ( $[P_{дост} - \varepsilon; P_{дост} + \varepsilon]$ ) при доверительной вероятности 0,95 и заданной относительной точности 0,05.

Следовательно, после проведения анализа методом покоординатного подъема можно сделать вывод, что вероятность доставки сообщений наиболее оптимальна при значениях факторов времен наработки на отказ и времен восстановления у радиолинии нового образца, что доказывает ее значительное преимущество над радиолинией старого образца.

$$P_{дост} = 0,1989 \ll P_{дост} = 0,9547.$$

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная имитационная модель процесса функционирования устройств РТА автомати-

зированного комплекса обмена информацией позволяет:

- 1) проводить эксперименты для оценки вероятности обмена информацией в зависимости от значений времени наработки на отказ ( $T_o$ ) и времени восстановления работоспособности ( $T_v$ );
- 2) сравнивать РТА разных поколений по их надежности;
- 3) учитывать влияние помех через эфир при обмене информацией и учитывать влияние дальности между кораблями;
- 4) выявить важность технической надежности и восстанавливаемости каждого устройства РТА для обеспечения бесперебойного обмена информацией.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация управления и связь в ВМФ / под общ. ред. Ю. М. Кононова. — СПб. : ЭЛмор, 2001.
2. Советов Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — М. : Высшая школа, 1985.
3. Грехов А. А. Моделирование систем / А. А. Грехов, В. Н. Наумов, Ю. В. Демьшев. — Петродворец : ВМИРЭ, 2009.