

УДК 004.942: 519.873

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРИЁМА ПО РАДИОЛИНИЯМ РАЗЛИЧНЫХ ПРИОРИТЕТОВ, ИМЕЮЩИХ РАЗНОТИПНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СВОЕМ СОСТАВЕ, С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

Постановка задачи

Как известно, одной из составляющих устойчивости функционирования систем военной связи является, в том числе, и надёжность образующих их технических средств [1]. Причем важность данной характеристики, к показателям которой предъявляются достаточно жесткие требования, подчеркивает то обстоятельство, что для их реализации за счет мероприятий по восстановлению и ремонту средств связи, а также восполнения потребностей частей в средствах связи, в организационной структуре службы связи, как правило, выделяется специальная подсистема – технического обеспечения связи (ТОС) и АСУ [2], состоящая из ремонтно-восстановительных подразделений, баз и складов хранения техники связи, органы которой в ходе войсковой эксплуатации средств связи обязаны разрабатывать соответствующие планы этих мероприятий. Очевидно, что в интересах обоснования этих планов у службы ТОС и АСУ возникает необходимость решать задачи, связанные с оценкой показателей надёжности как системы связи в целом, так и ее отдельных элементов.

Понятно, что в целях обеспечения требуемой надёжности, в таких системах, всегда предусматривается комплексное использование известных, и уже опробованных, способов ее повышения: от резервирования отдельных элементов, групп элементов, общего резервирования, до восстановления отказавших элементов с их возвращением в состав системы в ходе функционирования. В классической литературе, например, [3, 4, 5] можно найти аналитические решения задач количественной оценки надёжности систем с восстановлением, которые получены для однородных систем без учёта разнотипности оборудования в составе радиолиний и приоритетности их функционирования. Это обстоятельство не всегда соответствует реальным структурам военных систем связи и организации процесса военной связи. И в первую очередь оно касается системы связи ВМФ, широко применяющей способ территориально-разнесенного приема сообщений (рис. 1).

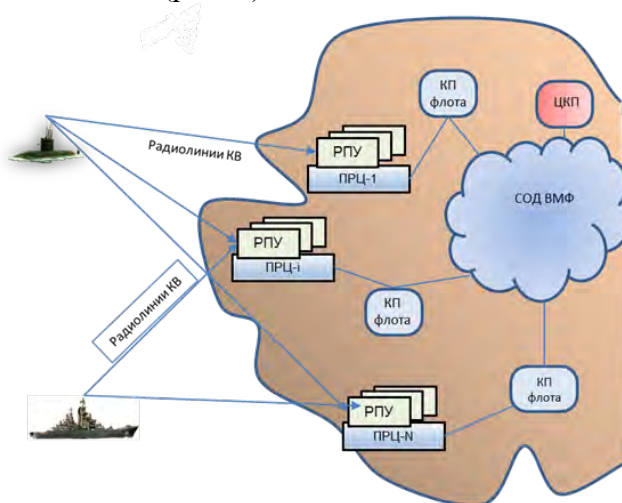


Рис. 1. Общая схема системы приема (вариант)

Альтернативное решение подобной задачи с учетом указанных выше факторов с помощью аппарата конечных автоматов предлагается, например, в [6], где в качестве предметной области, как раз рассматривается система нескольких приемных центров (ПРЦ), принадлежащих различным узлам связи, обеспечивающих доставку донесений в направлении «корабль-берег». При этом исходной обстановкой предполагается, что каждый ПРЦ обеспечивает непрерывный приём сообщений по радиоприемам трёх различных приоритетов ($j=1...3$). Каждая из радиоприемов включают в себя три типа устройств ($i=1...N_{пр}=3$), к которым относятся:

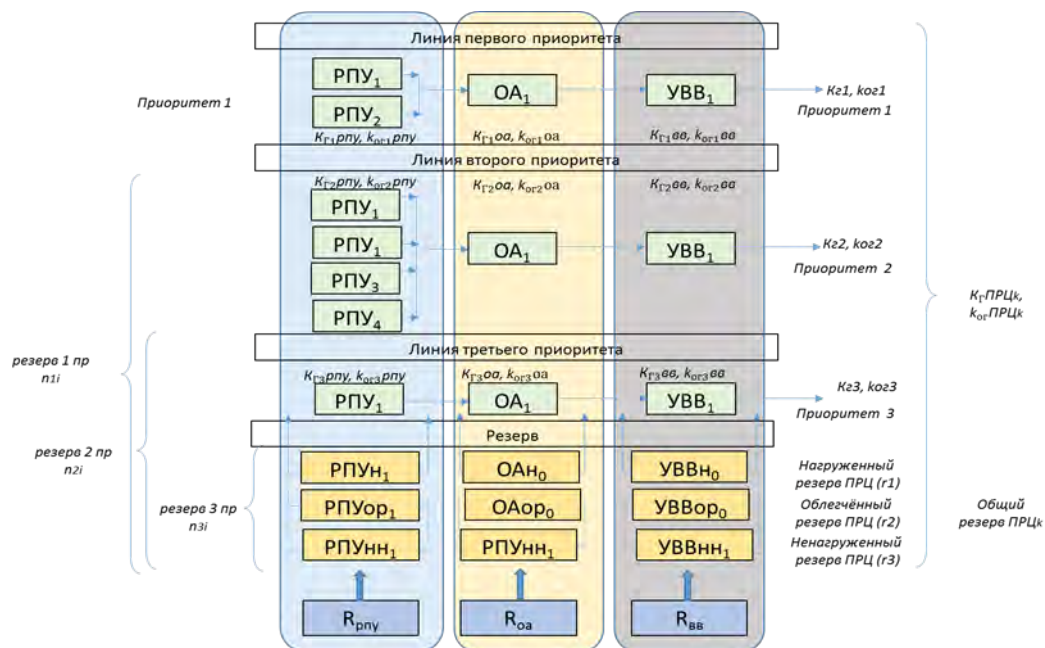


Рис. 2. Структурная схема ПРЦ

- 1– радиоприемные устройства (РПУ),
- 2– устройства обработки данных, или окончное оборудование (ОА),
- 3– устройства ввода/вывода сообщений (УВВ).

Резерв каждого типа оборудования первого приоритета включает в себя все рабочие элементы того же типа нижних приоритетов k_{2i} , k_{3i} , а также общий резерв ПРЦ ($r_{гн1}$ $r_{г0i}$ $r_{гнн1}$): РПУ в нагруженном резерве $r_{гн1}$, РПУ - в облегченном резерве $r_{г0i}$, РПУ - в ненагруженном резерве $r_{гнн1}$ и комплекты ненагруженного резерва ОА и УВВ $r_{гнн2,3}$.

Состав оборудования радиоприема второго приоритета включает рабочие элементы в нагруженном состоянии k_{2i} , а резерв второго приоритета включает в себя все рабочие элементы соответствующего типа третьих приоритетов k_{3i} , а также тот же общий резерв ПРЦ ($r_{гн1}$ $r_{г0i}$ $r_{гнн1}$).

Состав радиоприема третьего приоритета k_{3i} : только общий резерв ПРЦ ($r_{гн1}$ $r_{г0i}$ $r_{гнн1}$).

Естественно полагается также, что:

- резервные элементы ПРЦ включаются в работу автоматически, сразу же после отказа рабочего элемента по любой линии приоритета, а переключающие их устройства абсолютно надежны;
- время переключения нагруженных элементов всех типов между линиями выполняется вручную с конечным временем переключения $T_{прк}$;
- время безотказной работы элементов и время его восстановления распределены по показательному закону [3], а все элементы системы i -го типа равнонадежны.

Очевидно, что для анализа эффективности мероприятий, направленных на обеспечение требуемой надежности исследуемой системы приема, ставится задача определить традиционные показатели данного ее свойства, например, такие как:

- коэффициенты технической и оперативной готовности при выполнении задач по предназначению, в нашем случае – всей системы приема: $K_{гПРЦ}$ и $K_{огПРЦ}$;
- коэффициенты технической и оперативной готовности для радиоприемных устройств всех приоритетов на одном ПРЦ: $K_{гj}$ и $k_{огj}$.

Следует заметить, что аналитическое решение данной задачи действительно возможно лишь в предположении показательного закона распределения соответствующих случайных величин. Однако, если для отдельных элементов системы это считается вполне справедливым, то для времени их восстановления такой вариант распределения нельзя признать вполне адекватным. Кроме этого, данное распределение будет уже несправедливо и для общего времени безотказной работы постоянно нагруженной группы технических средств [3].

Поэтому представляется вполне уместным снять подобное ограничение, рассмотрев решение данной задачи методом имитационного моделирования [7].

Решение задачи

Так как логика работы и алгоритмы резервирования одинаковы для разных подсистем оборудования, то для сокращения объема изложения есть смысл остановиться на построении имитационной модели (ИМ) функционирования только одной из них, например – подсистемы радиоприемных устройств, представив ее в укрупненном варианте из трех групп РПУ, входящих в р/л соответствующих приоритетов и группы РПУ общего резерва с восстановлением (рис. 3).

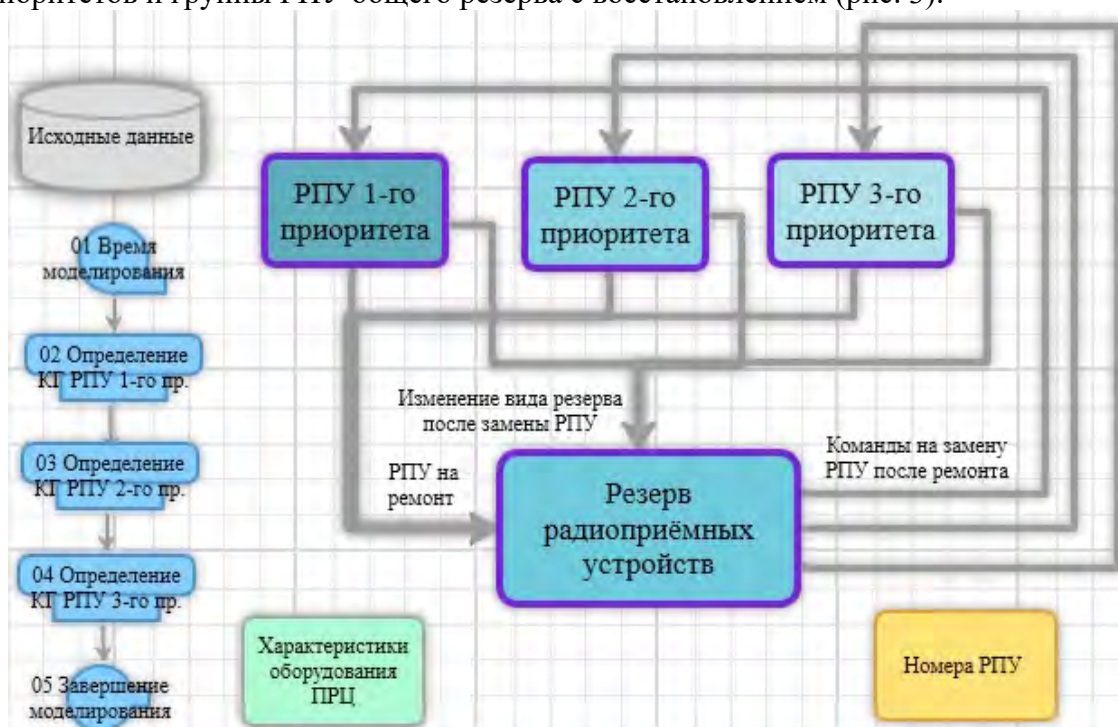


Рис. 3. Блок-схема алгоритма ИМ фрагмента процесса резервирования РПУ на ПРЦ (вариант)

В связи с тем, что элементы нижних приоритетов включены в состав соответствующего резерва высшего приоритета, то для каждого типа устройств, также, как и в [6], выделим свою подсистему элементов с учётом их резервирования (см.

рис.2), а алгоритм замещения по мере выхода из строя рабочих или нагруженных резервных комплектов представим следующим образом (рис. 3).

Для линий первого приоритета - последовательно из числа элементов нагруженного резерва (r_{ni}), при этом элементы облегченного резерва переходят в нагруженный резерв ПРЦ. При задействовании комплектов облегченного резерва (r_{oi}), они замещаются комплектами из ненагруженного резерва ($r_{ниi}$) мгновенно и, затем последовательно из числа рабочих элементов линий третьего (k_{3i}) и второго приоритетов (k_{2i}) с временем переключения комплектов $T_{пер}$. Каждый отремонтированный элемент из ремонтных мастерских (R_i) возвращается в ненагруженный резерв ПРЦ ($r_{ниi}$).

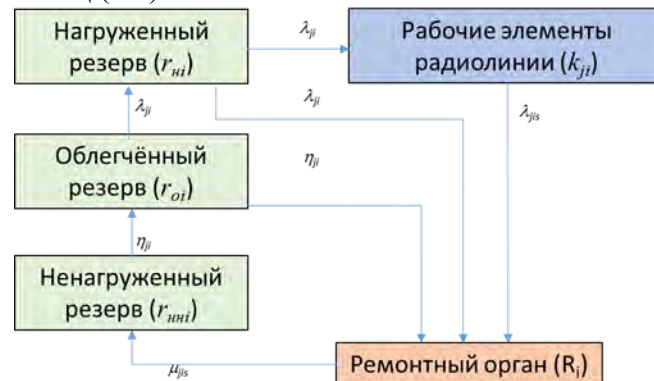


Рис. 4. Схема замещения рабочих элементов из состава резерва ПРЦ

Для линий второго приоритета – последовательно из числа элементов нагруженного резерва (r_{ni}), облегченного (r_{oi}) и ненагруженного резерва ($r_{ниi}$) мгновенно и, затем последовательно из числа рабочих линий третьего приоритетов (k_{3i}) с временем переключения комплектов $T_{пер}$. Каждый отремонтированный элемент из ремонтных мастерских (R_i) возвращается в ненагруженный резерв ПРЦ ($r_{ниi}$).

Для линий третьего приоритета – последовательно из числа элементов нагруженного резерва (r_{ni}), облегченного (r_{oi}) и ненагруженного резерва ($r_{ниi}$) мгновенно. Каждый отремонтированный элемент из ремонтных мастерских (R_i) возвращается в ненагруженный резерв ПРЦ ($r_{ниi}$).

Тогда в отличие от аналитической версии решения, предполагающей далее для каждого типа устройств составление соответствующего графа вероятностей состояний, алгоритм фрагмента этого процесса, например, для РПУ 1-го приоритета, в нотации GPSS может быть представлен следующим образом (рис. 5).

В данной ИМ подсистема РПУ отображается многоканальным устройством (блоки 3, 5 и 6), заданная емкость которого для 100%-й загрузки «заполняется» таким же числом динамических объектов с заданными же временем наработки на отказ (блоки 1 и 2). Сведения о номерах РПУ, поступающих в радиолинию данного приоритета сохраняются блоком 4 в матрице «Номера РПУ» соответствующей размерности, где номер колонки – приоритет p/l и вид резерва, а номер строки – номер транзакта. После выработки ресурса одним из РПУ (блок 5) многоканальное устройство его группы освобождается на единицу (блок 6), а его номер исключается из списка этой группы (блок 7). По «дороге» в ремонтный орган на восстановление данное устройство тут же «организует» свое замещение, вызывая в блоке 8 Plus-процедуру поиска хотя бы одного РПУ, находящегося в массиве номеров группы РПУ нагруженного резерва. Вариант такой процедуры может выглядеть, например, следующим образом [8]:

```
PROCEDURE Nom_TR(Arg2)
BEGIN
```

```

TEMPORARY Arg1,Arg3,Arg4;
Arg1=1;
Arg3=30;
WHILE (Arg1<Arg3) DO
BEGIN
  IF (matrix_RPU[Arg1,Arg2]'NE'0)
  THEN BEGIN
    Arg4=matrix_RPU[Arg1,Arg2];
    RETURN Arg4;
  END;
  ELSE Arg1=Arg1+1;
END; END;
    
```

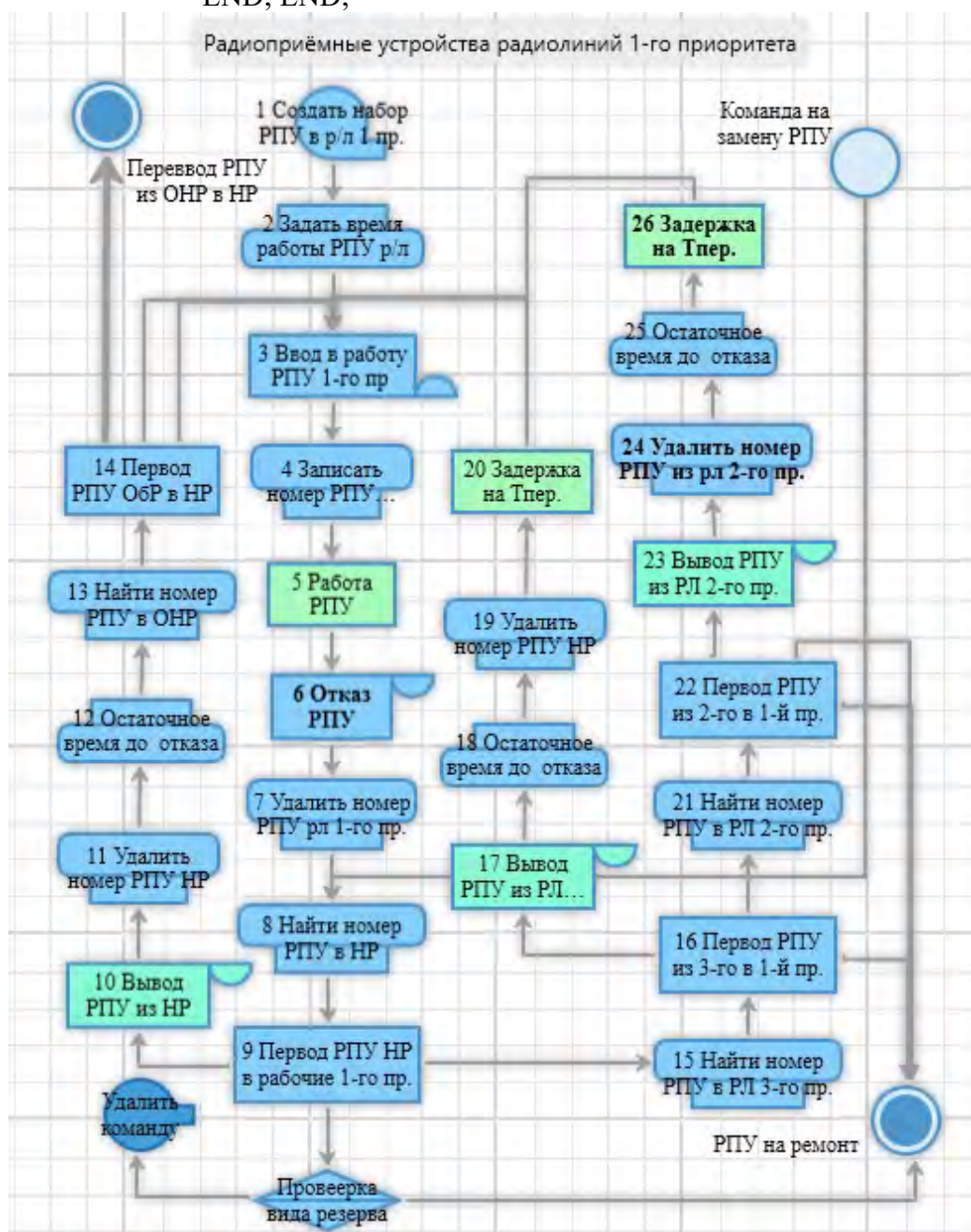


Рис. 5. Блок-схема алгоритма ИМ фрагмента процесса работы РПУ р/л 1-го приоритета и их резервирования на ПРЦ (вариант)

Реализация перевода активного транзакта из одного состояния в другое возможно с помощью оператора DISPLACE, который, к тому же, записывает в свой параметр и оставшееся время своей активности [9]. Именно такой вариант замещения вышедших из строя устройств группы одного приоритета другими и последовательного перевода РПУ из облегченного резерва в нагруженный и предлагается во всех фрагментах рассматриваемой модели (рис. 6).

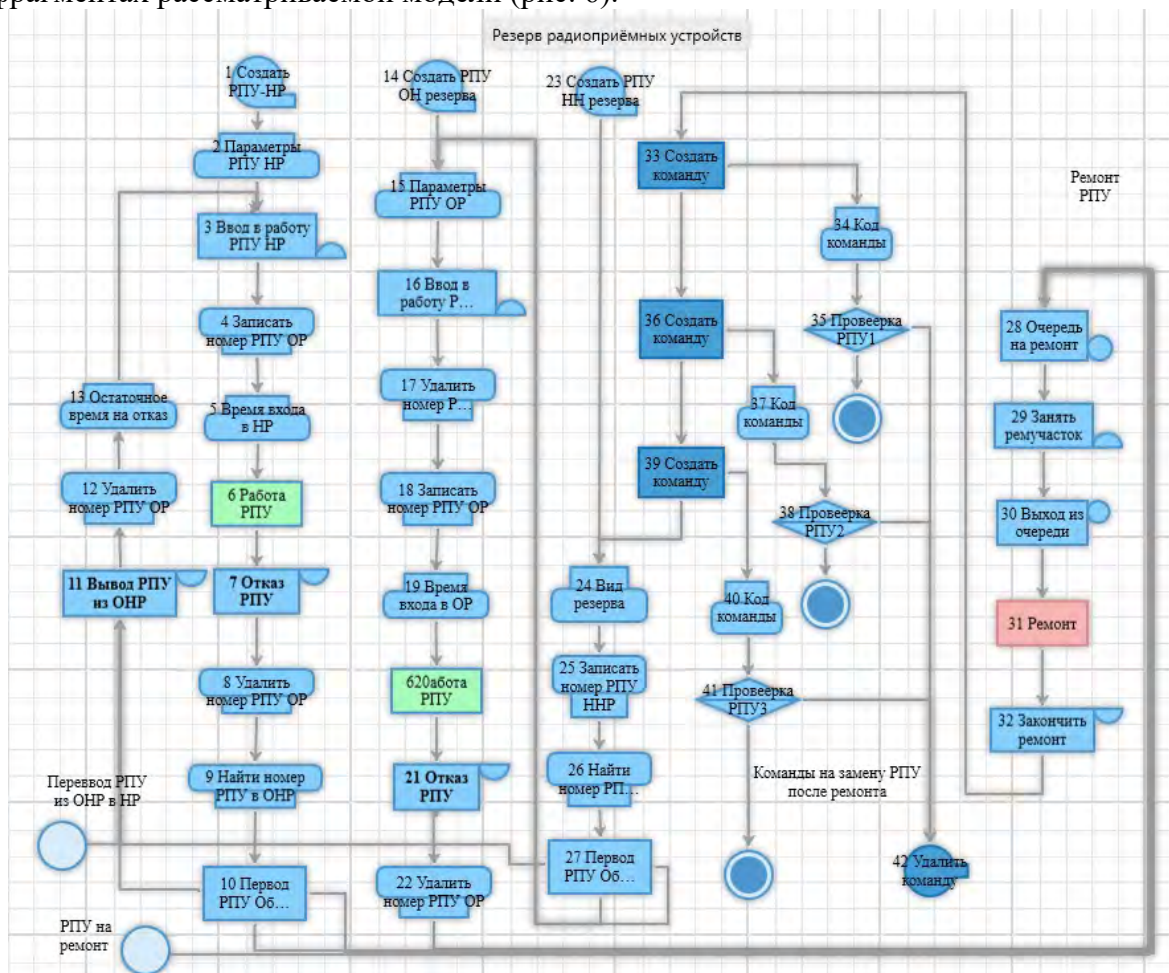


Рис. 6. Блок-схема алгоритма фрагмента ИМ процесса резервирования РПУ на ПРЦ (вариант)

Конечно же, традиционно, в модели могут присутствовать блоки, обеспечивающие задание времени моделирования (блоки 01 и 05) и регистрацию его результатов (блоки 02–04), а именно – коэффициентов использования многоканальных устройств (групп РПУ заданных приоритетов), которые по своему определению, как отношение среднего количества используемых (работающих) элементов памяти (РПУ) к общему количеству элементов памяти, соответствуют понятию коэффициентов их технической готовности. Так, например, для исходных данных аналогичных [6]:

	РПУ	ОА	УВВ
1. Количество в составе линий:			
- 1 приоритета	2	1	1
- 2 приоритета	4	1	1
- 3 приоритета	2	1	1
5 Время безотказной работы, час			
6 - нагруженных	100	300	300
7 - облегченный	600	600	600
8 Время восстановления, час:	30	20	30
9 Время ввода резерва, час:	0.25	0.2	0.1
10 Время ремонта, час			
11 Количество в резерве:			
12 - нагруженных	2	0	0
13 - облегченный	1	0	0
14 - ненагруженных	1	1	1
15 Количество ремонтных участков	2	1	1

результаты серии экспериментов на данный ИМ по номенклатуре РПУ, выполненные в среде GPSS Studio [10], показывают (рис. 7 и 8), что:

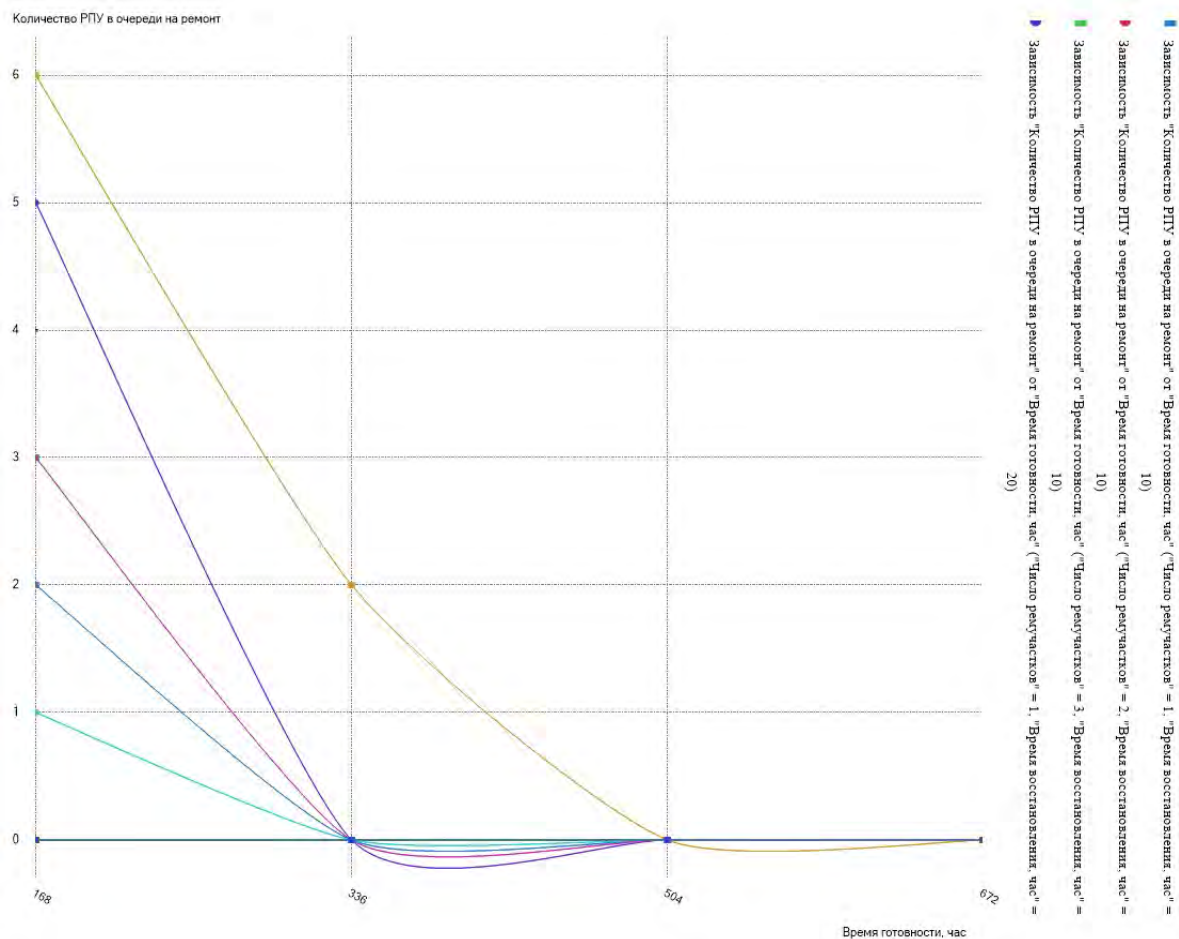


Рис. 7. Зависимость очереди РПУ на входе ремонтного участка от времени моделирования

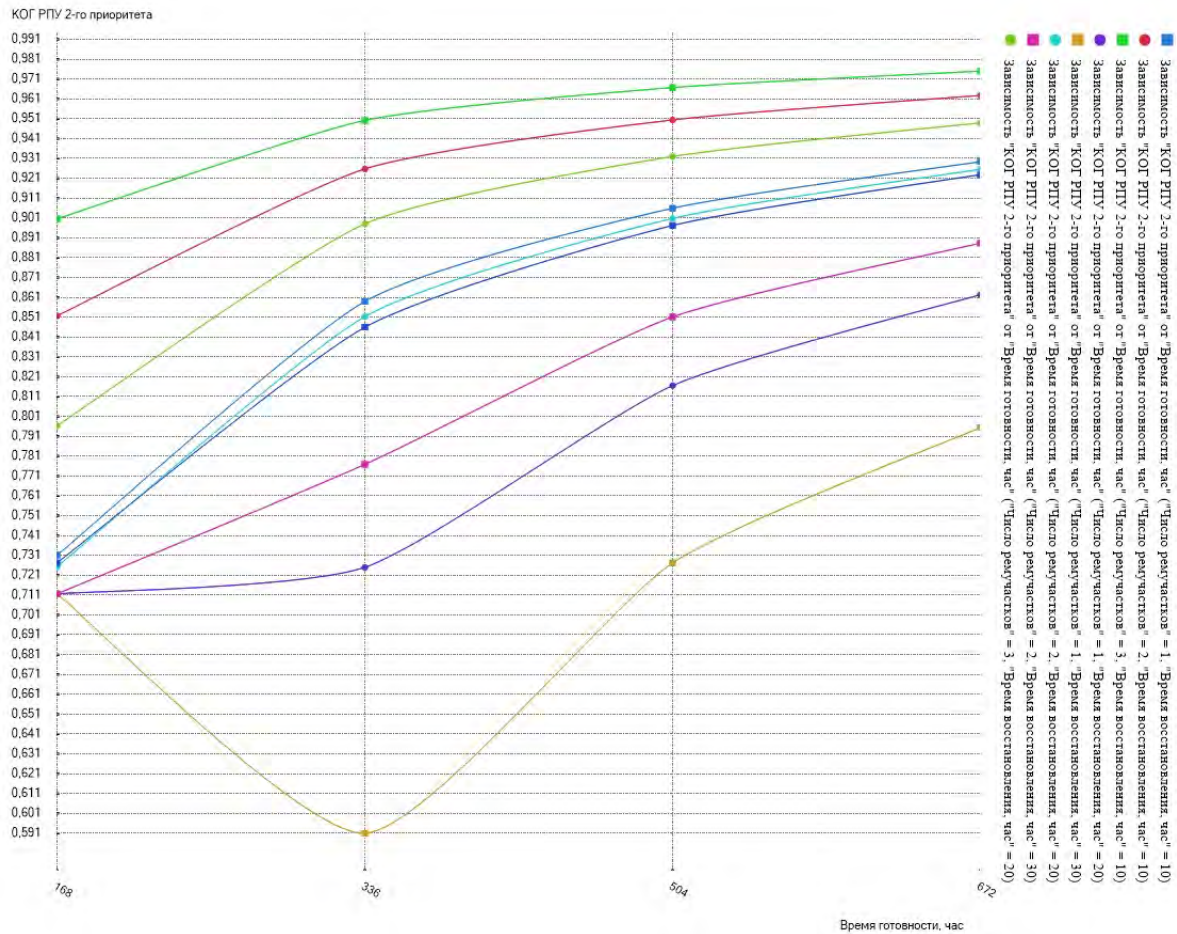


Рис. 8. Зависимость коэффициента технической готовности РПУ 2-го приоритета от времени моделирования при разном числе ремонтных участков и времени восстановления РПУ

– реальные подобные системы с резервированием характеризуются определенным периодом переходного процесса, который обусловлен приблизительно одновременным выходом из строя технических средств на начальном этапе их функционирования (т.е. - после включения их в работу);

– и в данном случае (см. рис. 7 и 8) он составляет не менее трех недель, после чего можно говорить об этапе его стационарности и ставить задачу определения коэффициентов готовности технических средств методом ИМ и их зависимостей от тех или иных факторов;

Так, в частности, проведя серию экспериментов на данной модели, можно получить зависимости коэффициентов готовности групп РПУ всех приоритетов и от времени их восстановления в ремонтном органе (рис. 9) и от числа ремонтных участков того или иного типа оборудования ПРЦ (рис. 10).

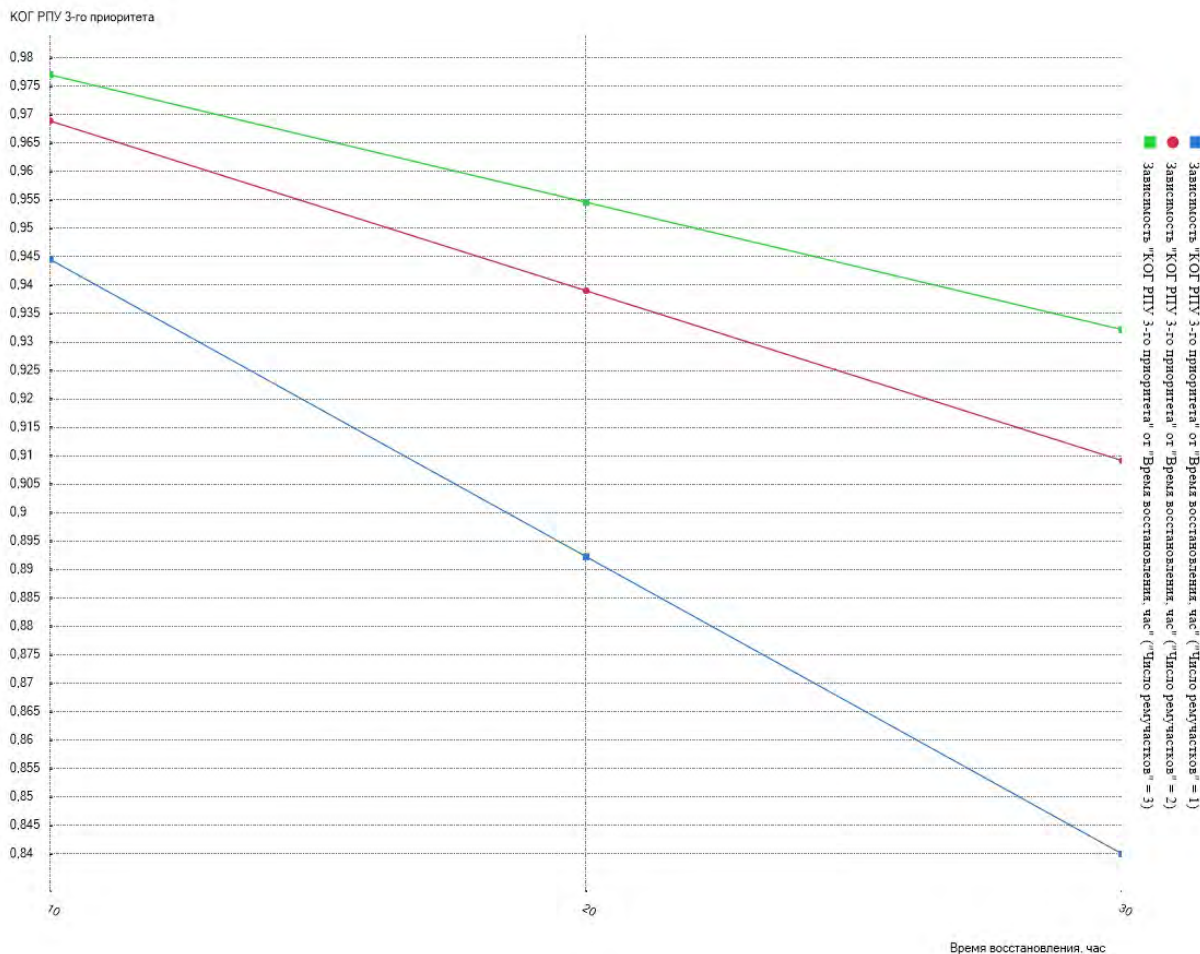


Рис. 9. Зависимость коэффициента технической готовности РПУ 3-го приоритета от времени их восстановления количества при разном (от 1 до 3-х) числе ремонтных участков

Несомненно, что по таким данным можно уже с большей уверенностью судить о целесообразности того или иного варианта организации резервирования и ТО системы ПРЦ при заданном составе оборудования радиолиний, и наоборот – обосновано принимать решения о допустимом его составе в случае ограниченных возможностях резерва оборудования.

Кстати, значения коэффициента технической готовности, полученные с помощью предлагаемой ИМ на этапе стационарности процесса резервирования, с точностью до 2-3-х сотых (см. табл. 1) совпадают с результатами аналитического решения этой задачи, полученного в [6], при тех же исходных данных. Данное обстоятельство вполне убедительно свидетельствует о достаточной адекватности, сформированной здесь ИМ.

Таблица 1

Аналитическая модель	Имитационная модель	Расхождение результатов
$K_{Г1рпу}=0.9999$	$K_{Г1рпу}=1.0$	- 0.0001
$K_{Г2рпу}=0.863$	$K_{Г2рпу}=0.889$	+ 0.026
$K_{Г3рпу}=0.899$	$K_{Г3рпу}=0.909$	+ 0.01

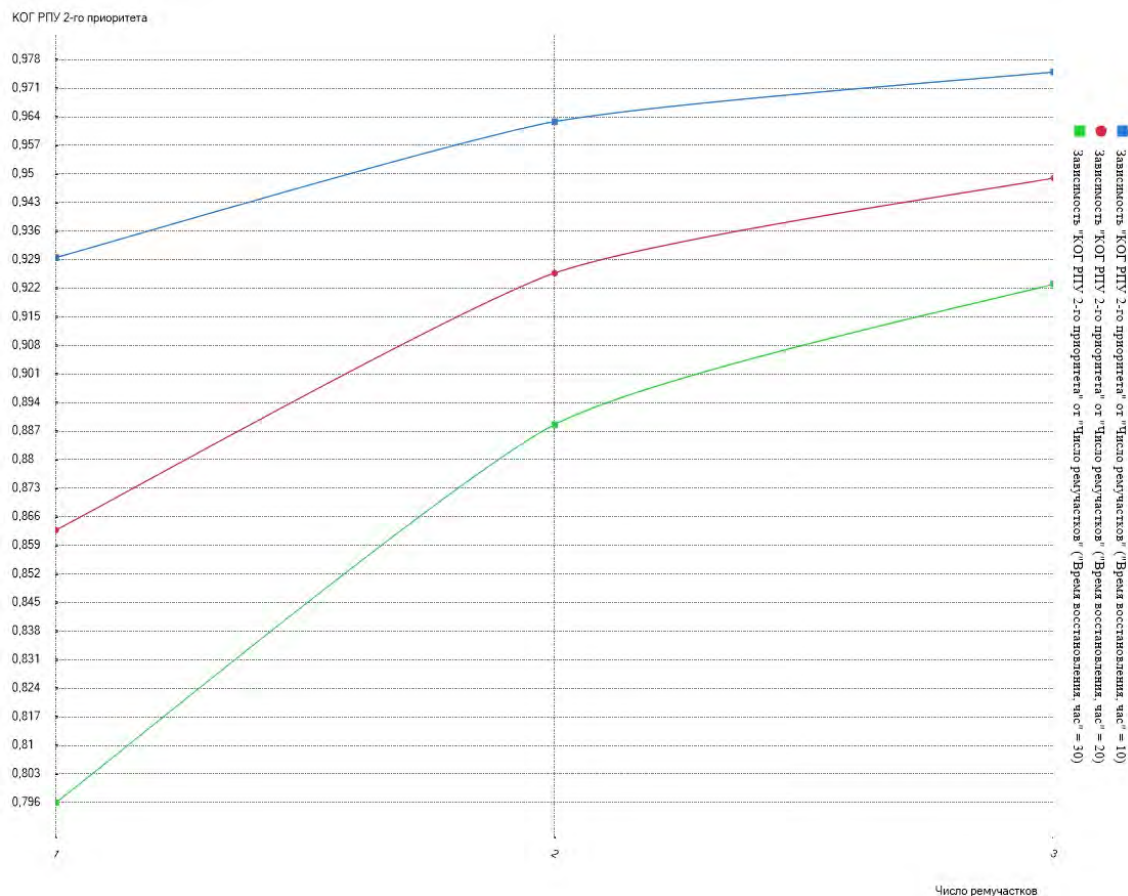


Рис. 10. Зависимость коэффициента технической готовности РПУ 2-го приоритета от числа ремонтных при разном (от 10 до 30 часов) значении времени их восстановления

Заключение

Таким образом, представленный в данной статье пример показывает, что с помощью метода имитационного моделирования можно успешно решать задачи, связанные с количественной оценкой показателей технической готовности сложных систем в интересах поддержки принятия решений на организацию их технического обслуживания и повышения надежности.

Литература

1. Связь военная. Термины и определения. ГОСТ РВ 0158-006-2018.
2. Пуха Г.П. Основы построения и автоматизации систем связи ВМФ. СПб: ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2023. 659 с.
3. Вадзинский Р.Н. Основы теории надежности средств и систем связи ВМФ: учебник. Л., ВМА, 1980. 435 с.
4. Абраменко Б.С, Григорьев В.А. и др. Эксплуатация и ремонт средств связи: учебный курс. СПб, ВИККА им. Можайского, 1995.
5. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности: практикум. СПб: БХВ Петербург, 2006. 560 с.
6. Пищальников С.М., Пуха Г.П., Черноиванов С.А. Оценка показателей технической готовности сложных систем // Цифровые опасности информационного общества / под ред. И.Л. Коршунова. СПб.: СПбГЭУ, 2023. С. 70–85.

7. Советов Б.Я. Моделирование систем: учебник / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. М.: Высш. шк. 2001. 343 с.
8. Руководство пользователя по GPSS World. Казань: Мастер Лайн, 2002. 384 с.
9. Бражник А.Н. Имитационное моделирование: возможности GPSS World. СПб.: Реноме, 2006. 438 с.
10. Девятков В.В. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под ред. В.В. Девяткова. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. 283 с.