

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра автоматической электросвязи

А.Ю. Гребешков

# **Техническая эксплуатация и управление телекоммуникационными сетями и системами**

Методические указания к практическим занятиям  
по направлению подготовки бакалавров 11.03.02  
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
профиль «Оптические и проводные сети и системы связи»

Самара  
2017

УДК 621.395  
ББК  
Г79

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,  
протокол № 75 от 12.05.2017 г.

**Рецензент**

Заведующий кафедрой «Системы связи» ПГУТИ  
д.т.н., профессор Васин Н.Н.

**Гребешков А.Ю.**

**Г79 Техническая эксплуатация и управление телекоммуникационными сетями и системами.** Методические указания к практическим занятиям по направлению подготовки бакалавров 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», профиль «Оптические и проводные сети и системы связи» [Текст] / А.Ю. Гребешков. – Самара: ПГУТИ, 2017. – 32 с.

Методические указания разработаны в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавра, прикладного бакалавра «11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи» профиля подготовки «Оптические и проводные сети и системы связи» дисциплины «Техническая эксплуатация и управление телекоммуникационными сетями и системами» и предназначено для практических занятий студентов очной формы и заочной формы обучения, в том числе ускоренной подготовки и дистанционной формы обучения.

© ФГБОУ ВО ПГУТИ, 2017  
© Гребешков А.Ю., 2017

## Содержание

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. ТЕМА «РАЗРАБОТКА ТАБЛИЦЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЁМКОСТИ УСТРОЙСТВ ПАМЯТИ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ СВЯЗИ».....	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. ТЕМА «РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ ДЛЯ СХЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА С ОБЩИМ И РАЗДЕЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ» ....	12
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3. ТЕМА «РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ ДЛЯ СХЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА С РАЗДЕЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ» .....	19
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4. ТЕМА «РЕЗЕРВИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ СВЯЗИ С ДРОБНОЙ КРАТНОСТЬЮ И ПОСТОЯННО ВКЛЮЧЕННЫМ РЕЗЕРВОМ».....	24
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5. ТЕМА «КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ ПО ТЕМАМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ №2, №3, №4».....	29

**Практическое занятие №1. Тема «Разработка таблицы для управления распределением ёмкости устройств памяти управляющего комплекса средств связи»**

**1. Цель практического занятия**

Изучение вопросов организации и метода организации виртуальной и физической памяти в управляющих комплексах средств связи с микропроцессорным управлением.

**2. Учебная литература**

1. Гребешков А.Ю. Техника микропроцессорных средств в коммутации: Учебник для вузов.– Самара, ПГУТИ, 2011 – 392 с.

**3. Подготовка к занятию**

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

**4. Контрольные вопросы**

1. Что такое виртуальная память, для чего она используется.
2. Что такое виртуальная страница, физический сегмент?
3. Какие способы организации виртуально памяти вы знаете?
4. Для чего используется таблица страниц?
5. Приведите описание состава и структуры таблицы страниц?
6. В чем разница между физическим и виртуальным адресом?

**5. Порядок выполнения работы**

1. Ответить на контрольные вопросы по указанию преподавателя.
2. Получить у преподавателя индивидуальное контрольное задание.
3. Выполнить индивидуальное контрольное задание.

4. Представить преподавателю для проверки задание в письменном виде.

## 6. Содержание отчета

1. Индивидуальное контрольное задание с описанием решения.

## 7. Индивидуальное контрольное задание

Таблица 1

Но- мер ва- ри- ан- та	Число страниц, N	Число сво- бодных сегмен- тов ОЗУ,	Число сво- бодных сегментов в НЖМД, $S_{\text{НЖМД}}$	Число сво- бодных сегментов в НОД, $S_{\text{НОД}}$	Значение параметра активности группы из $n_i$ страниц $a_i$
1	2	3	4	5	6
1	10000	1500	5000	3500	$n_1 = 1000$ с $a_1 = 25$ $n_2 = 500$ с $a_2 = 22$ $n_3 = 2300$ с $a_3 = 15$ $n_4 = 2700$ с $a_4 = 10$ $n_5 = 3500$ с $a_5 < 5$
2	7000	1500	2500	3000	$n_1 = 1500$ с $a_1 = 25$ $n_2 = 1000$ с $a_2 = 18$ $n_3 = 1500$ с $a_3 = 12$ $n_4 = 1500$ с $a_4 = 10$ $n_5 = 1500$ с $a_5 < 5$
3	5000	500	2000	2500	$n_1 = 500$ с $a_1 = 25$ $n_2 = 1000$ с $a_2 = 20$ $n_3 = 1000$ с $a_3 = 18$ $n_4 = 1500$ с $a_4 = 10$ $n_5 = 1000$ с $a_5 < 5$
4	6000	1500	3000	2500	$n_1 = 500$ с $a_1 = 25$ $n_2 = 1000$ с $a_2 = 20$ $n_3 = 1500$ с $a_3 = 15$ $n_4 = 1500$ с $a_4 = 10$ $n_5 = 1500$ с $a_5 < 5$

Но- мер ва- ри- ан- та	Число страниц, N	Число сво- бодных сегмен- тов ОЗУ,	Число сво- бодных сегментов в НЖМД, $S_{НЖМД}$	Число сво- бодных сегментов в НОД, $S_{НОД}$	Значение параметра активности группы из $n_i$ страниц $a_i$
1	2	3	4	5	6
5	5000	600	1500	2900	$n_1=100$ с $a_1=80$ $n_2=500$ с $a_2=15$ $n_3=1000$ с $a_3=10$ $n_4=1200$ с $a_4=8$ $n_5=2200$ с $a_5<5$
6	3000	1300	1000	700	$n_1=300$ с $a_1=18$ $n_2=250$ с $a_2=16$ $n_3=750$ с $a_3=15$ $n_4=800$ с $a_4=10$ $n_5=900$ с $a_5<5$
7	8000	1300	2000	4700	$n_1=550$ с $a_1=20$ $n_2=750$ с $a_2=17$ $n_3=1000$ с $a_3=15$ $n_4=2000$ с $a_4=10$ $n_5=3700$ с $a_5<5$
8	5000	1000	2500	1500	$n_1=500$ с $a_1=25$ $n_2=500$ с $a_2=20$ $n_3=1000$ с $a_3=15$ $n_4=1500$ с $a_4=10$ $n_5=1500$ с $a_5<5$
9	6000	1100	2700	2200	$n_1=300$ с $a_1=23$ $n_2=800$ с $a_2=20$ $n_3=1200$ с $a_3=15$ $n_4=1500$ с $a_4=10$ $n_5=2200$ с $a_5<5$
0	5000	500	2000	2500	$n_1=100$ с $a_1=25$ $n_2=400$ с $a_2=22$ $n_3=800$ с $a_3=15$ $n_4=1200$ с $a_4=10$ $n_5=2500$ с $a_5<5$

## 8. Методические указания к индивидуальному заданию

При выполнении индивидуального контрольного задания требуется составить по примеру на рис. 1 графическую схему, на которой указать способ размещения  $N$  (на рис. 1  $N=600$ ) страниц виртуальной памяти в оперативном запоминающем устройстве (на рис.1  $S_{озу} = 100$ ) и во внешних запоминающих устройствах (ВЗУ) управляющего комплекса управляющего комплекса средства связи при наличии в ОЗУ  $S_{озу}$  свободных сегментов,  $S_{нжмд}$  свободных сегментов в накопителе на жестком магнитных дисках (НЖМД,  $S_{нжмд}=300$ ) и  $S_{нод}$  свободных сегментов в накопителе на оптическом диске (НОД,  $S_{нод}=200$ ), а также составить таблицу страниц с указанием доступности страниц при заданной активности страниц. Показать на рисунке принцип взаимосвязи страниц виртуальной памяти с сегментами ОЗУ и ВЗУ через таблицу страниц.

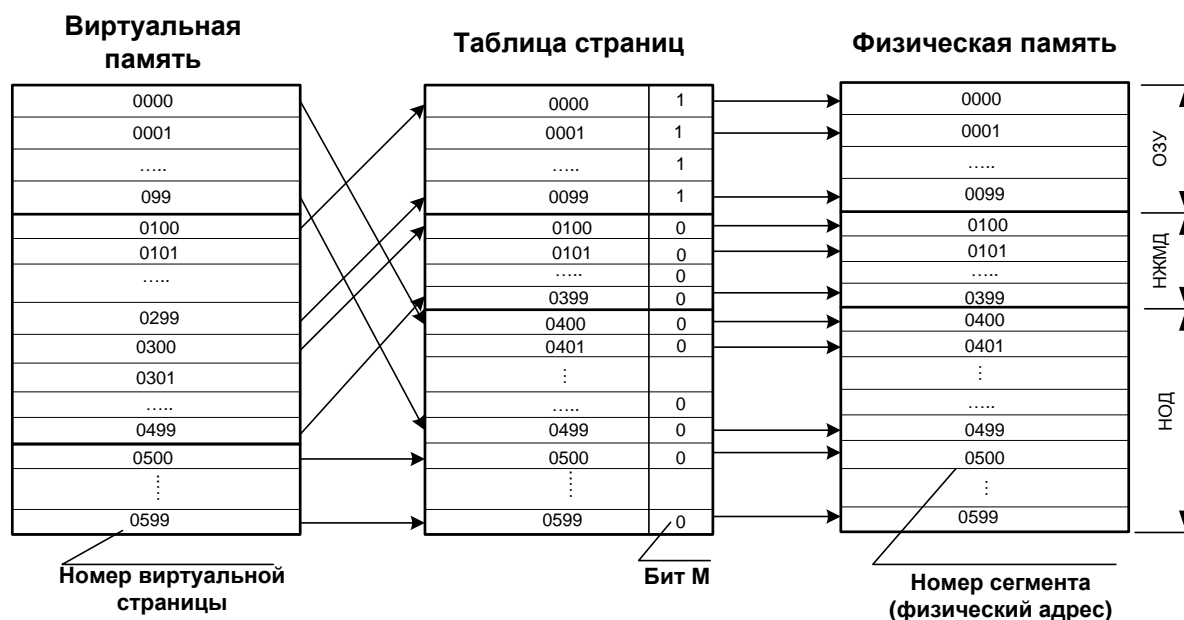


Рис. 1 – Схема отображения виртуальной памяти управляющего устройства на физическую

Для схемы примера на рис.1 исходные данные по виртуальной памяти имеют вид:

$$n_1 = 100 \text{ с } a_1 = 15;$$

$$n_2 = 400 \text{ с } a_2 = 18;$$

$$n_3 = 100 \text{ с } a_3 = 12.$$

Показатель активности использования содержимого виртуальных страниц  $a_i$  задан для группы из  $n_i$  страниц. При выполнении задания учесть, что в первую очередь в оперативном запоминающем устройстве размещаются виртуальные страницы с максимальным значением показателя активности  $a_i$ .

Логическое и физическое упорядочивание данных в памяти микропроцессорной системы управления средства связи предусматривает организацию, так называемой, виртуальной памяти. Микропроцессорная система управляющего комплекса средства связи, как правило, работает в многозадачном режиме. Поэтому необходим механизм разделения физической памяти МПр (ОЗУ) между различными процессами (программными задачами). Виртуальная память позволяет разделить физическую память на основе адресов на некоторые логические блоки адресов, при этом каждый блок будет закреплён за конкретной программной задачей. Виртуальная память – это общее адресное пространство, с которым работает программное обеспечение (ПО), безотносительно к тому, где физически находится программа или данные – в ОЗУ, на диске или на накопителе на оптическом диске (НОД). Виртуальная память моделирует память существенно большего размера, чем оперативная память, которая фактически доступна микропроцессорам управляющего комплекса (см. рис. 1).

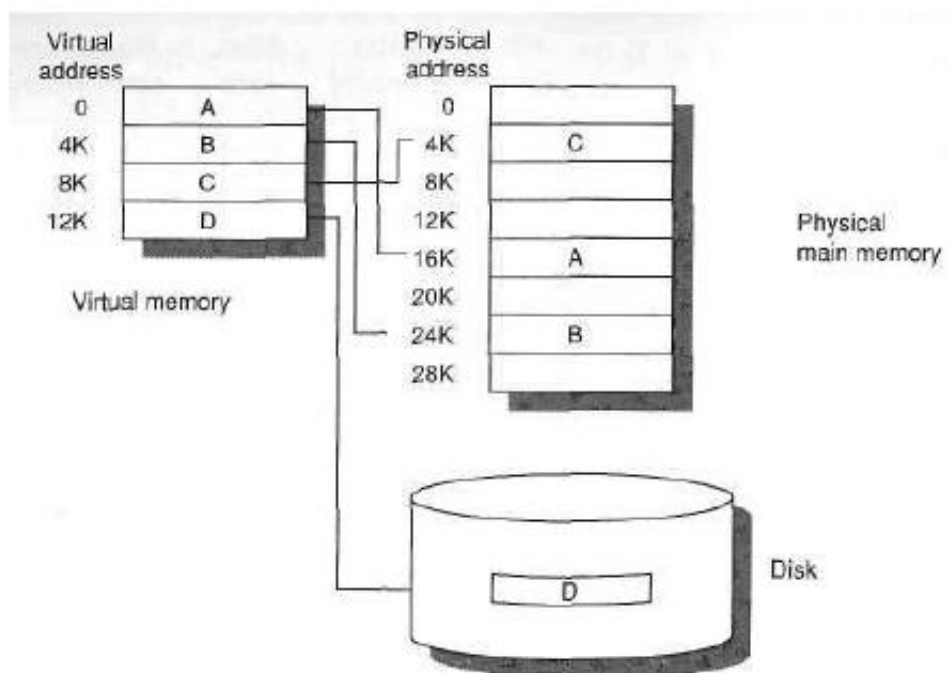
Виртуальная память позволяет:

1. реализовать механизм разделения физической памяти между различными программными задачами;



2. в рамках операционной системы (ОС) управлять размещением/перемещением программных кодов в физической памяти в рамках отведённых блоков;
3. обеспечить возможность передачи данных непосредственно между программами минуя ОС (только для общего виртуального пространства адресов).

Как правило, виртуальная память по размеру (емкости) больше, чем физическая память, с которой непосредственно работает процессор.



Условные обозначения:

Virtual address – виртуальный адрес

Physical address – физический адрес

Virtual memory – виртуальная память

Physical main memory – физическая (основная) память

Disk – накопитель на жестком диске

Рис. 2 – Организация хранения программ для управляющего комплекса средства связи с помощью виртуальной памяти

Виртуальная память разбивается на отдельные блоки (виртуальные страницы), логические страницы разбиваются на ячейки. Размер страницы составляет  $2^m$  байт, считается в современном МПр  $6 \leq m \leq 12$ , при этом данные к которым следует обратиться через виртуальную страницу

находятся в различных физических блоках или сегментах памяти. Блок (страница, сегмент) – это элемент разбиения физической памяти (ОЗУ, ПЗУ, НЖМД, НМЛ), при этом размер сегмента, как правило, равен размеру виртуальной страницы (виртуального блока). В целом существует две системы виртуальной памяти.

Системы с фиксированным размером блоков (страничная организация памяти). Достоинством этой системы является относительная простота организации; недостатком этой системы является необходимость выделения специальных страниц для общих программ, многоуровневая организация с ростом адресного пространства, возможность появления большого числа незанятых страниц.

В системе с переменным размером блоков (сегментная организация памяти) сегмент формируется как отдельная логическая единица информации со своей нумерацией слов в пределах сегмента. Существуют :

- программные сегменты (общие программы с возможностью выборки команд и чтение констант; запись запрещена);
- сегменты данных (данные с разрешением либо на чтение, либо на запись).

Достоинством этой системы является адаптация к приложениям пользователя. Недостатком этой системы является сложность организации, особенно в части защиты и наделения прав доступа (иногда – аппаратное решение для поддержания домена защиты).

В связи с наличием виртуальной и физической памяти необходимо осуществлять операцию отображения или пересчета виртуального адреса в физический. Для этого используется специальная таблица страниц или сегментов. Эта таблица формируется и поддерживается операционной системой для каждой программы и хранится в основной памяти (ОЗУ). Каждой странице ставится в соответствие элемент таблицы страниц, который включает:

- Номер физического блока.
- Индикатор активности (1 – страница в ОЗУ и доступна; 0 – страница не в ОЗУ и недоступна).

Пример специальной таблицы страниц показан на рис. 3. Здесь:

Бит V – определяет, возможен ли пересчет из виртуального адреса в физический.

Бит C – указывает на изменения данных на странице, т.е.

C=0, если данные не менялись операциями считывания или копирования; C=1, если данные были модифицированы.



Рис. 3 – Организация отображения виртуальных адресов в физический адрес

Бит RWX – определяет, доступна страница только для чтения, только для записи или для чтения и записи.

Бит M – указывает на то, размещена ли данная страница в ОЗУ, в этом случае M=1, или страница размещена на прочих устройствах памяти (M=0) НЖМД, НМЛ.

Бит P – разрешает или запрещает кэширование страницы. Например, если P=1, то данные из ОЗУ могут быть перенесены в кэш.

**Практическое занятие №2. Тема «Расчёт надёжности для схем резервирования устройств управляющего комплекса с общим и отдельным резервированием»**

**1. Цель практического занятия**

Изучение вопросов организации и методов обеспечения надежности управляющих комплексов средств связи с микропроцессорным управлением при комплексировании с использованием дублирования элементов управляющих комплексов.

**2. Учебная литература**

1. Гребешков А.Ю. Техника микропроцессорных средств в коммутации: Учебник для вузов.– Самара, ПГУТИ, 2011 – 392 с.

2. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

**3. Подготовка к занятию**

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

**4. Контрольные вопросы**

1. Дайте определение понятию «надежность».
2. Что такое «явный отказ оборудования»?»
3. Какие события образуют полную группу событий?
4. Что такое экспоненциальное распределение?
5. В чем состоит задача резервирования?

## 5. Порядок выполнения работы

1. Ответить на контрольные вопросы по указанию преподавателя.
2. Получить у преподавателя индивидуальное контрольное задание.
3. Выполнить индивидуальное контрольное задание.
4. Представить преподавателю для проверки задание в письменном виде.

## 6. Содержание отчета

1. Индивидуальное контрольное задание с описанием решения.

## 7. Индивидуальное контрольное задание

Рассчитать вероятность безотказной работы управляющего комплекса при общем и отдельном резервировании его элементов и сравнить результаты (число элементов  $n=8$ ) согласно схеме на рис.4.

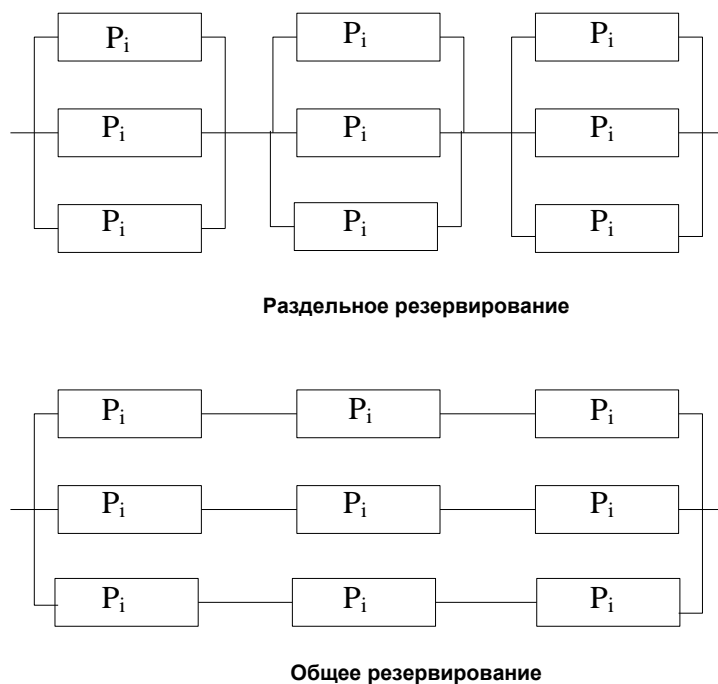


Рис. 4 – Схемы видов резервирования элементов управляющего комплекса средств связи

Привести схемы резервирования для обоих случаев. Исходные данные взять из табл. 1 в соответствии с требуемым вариантом. В табл. 1 приняты следующие обозначения:  $m$  - кратность резервирования;  $P_i$  - вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента,  $i = 1, 2, 3, \dots, 8$ .

Таблица 1.

Но- мер ва- ри- ан- та	$m$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$
1	3	0,8	0,9	0,7	0,6	0,5	0,8	0,8	0,9
2	4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,9	0,5	0,7
3	2	0,8	0,8	0,9	0,5	0,8	0,9	0,8	0,8
4	3	0,6	0,6	0,7	0,8	0,5	0,5	0,6	0,8
5	3	0,5	0,6	0,5	0,5	0,9	0,7	0,8	0,6
6	4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	0,9	0,8
7	2	0,5	0,5	0,9	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6
8	3	0,5	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8	0,9
9	4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5
0	2	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,5	0,9

## 8. Методические указания к индивидуальному заданию

Надежность в целом определяется как свойство объекта (управляющего комплекса) сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования (ГОСТ 27.002–89).

Под отказом понимается случайное событие, нарушающее работоспособность управляющего комплекса. Различают самоустраниющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора (инженера по эксплуатации), перемежающийся отказ – многократно возникающий самоустраниющийся отказ одного и того же характера, а также явный отказ – отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования в процессе применения управляющего комплекса по назначению. Существует также критический отказ – отказ управляющего комплекса в целом или его компонента, тяжесть последствий которого в пределах данного анализа признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению вероятности данного отказа и/или возможного ущерба, связанного с его возникновением (согласно ГОСТ 27.310–95).

Основными параметрами надежности для невосстанавливаемых изделий являются интенсивность отказов  $\lambda$ , вероятность безотказной работы за время  $t$ ,  $P(t)$ , среднее время работы до отказа  $T$ :

$$\lambda \approx \frac{m}{N \cdot t} \quad (1)$$

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda}, \quad \text{где} \quad (3)$$

$m$  – число единиц оборудования, отказавших за время  $t$ ,

$N$  – число исправных единиц оборудования на начало промежутка времени  $t$ .

Формулы (1) – (3) применяется для экспоненциального распределения времени работы до отказа, где  $\lambda$  – параметр этого

распределения. Это предположение используется далее в настоящем занятии. Параметр  $\lambda$  определяет долю (а не количество) изделий, отказавших в единицу времени. В качестве единицы времени обычно принимают один час.

Одним из основных способов повышения надёжности систем является резервирование – способ обеспечения надёжности объекта за счет использования дополнительных средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функции. Различают два вида резервирования: общее и раздельное (поэлементное, параллельное).

Пусть элементы управляющего комплекса представляют собой последовательную систему, где отказ любого элемента приводит к отказу системы в целом. Элементы управляющего комплекса включаются последовательно, один за другим и формируют контур управления. Здесь резервируется весь контур управления, т.е. управляющие устройства (процессоры) и взаимодействующие компоненты. В итоге в схеме появляется избыточность, вызванная появлением резерва (см. рис. 5).

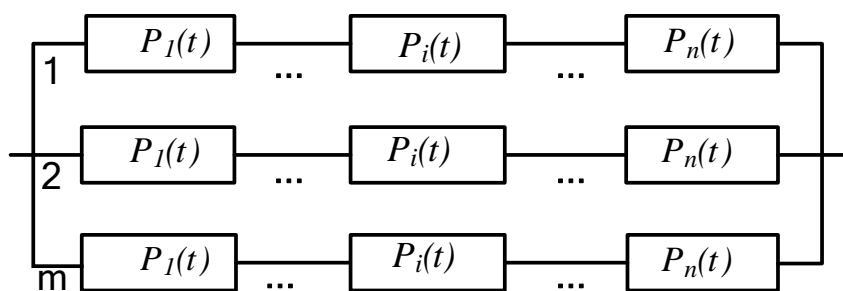


Рис. 5 – Блок-схема общего резервирования элементов управляющего комплекса

Вероятность безотказной работы схемы на рис. 3 оценим для предельного случая, когда полностью отсутствует возможность замены вышедшего из строя элемента из ЗИП или ремонт элемента в разумные



сроки (24 часа) невозможен. Пусть отказ одного элемента не зависит от отказа другого элемента; при этом отказавший элемент рассматривается как полностью неработоспособный, т.е. не имеет место перемежающийся отказ, когда элемент периодически выдаёт сигнал сбоя, а потом временно переходит в работоспособное положение. Тогда вероятность безотказной работы  $P_{общее}(t)$  схемы на рис. 5 оценивается по формуле:

$$P_{общее}(t) = 1 - \left(1 - \prod_{i=1}^n p_i(t)\right)^m, \quad (4)$$

где

$n$  – число элементов (управляющих устройств, процессоров);

$m$  – число контуров (параллельных элементов) резервирования;

$P_i(t)$  – вероятность безотказной работы отдельного  $i$ -го элемента в  $m$ -ном контуре за время  $t$ .

Значительно эффективнее выглядит отдельное (параллельное, поэлементное) резервирование наиболее критически важных компонентов. При отдельном резервировании резервируются отдельные части управляющих устройства, например отдельные процессоры, каналы ввода/вывода, элементы памяти и общесистемные шины (см. рис. 6).

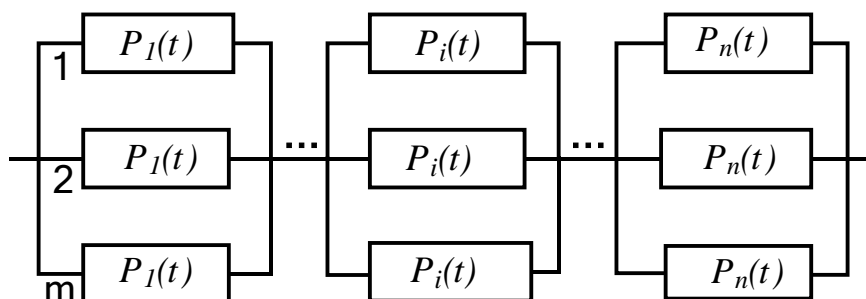


Рис. 6 – Блок-схема отдельного резервирования элементов управляющего комплекса

В случае отказа одного элемента его функции выполняет дублирующий элемент без существенной потери качества связи или производительности управляющего комплекса. В этом случае вероятность безотказной работы комплекса  $P_{разд}(t)$ , определяется по формуле :

$$P_{разд}(t) = \prod_{i=1}^n [1 - (1 - p_i(t))^m] . \quad (5)$$

Расчеты по индивидуальному заданию проводить с точностью до третьего десятичного знака справа от запятой.

**Практическое занятие №3. Тема «Расчёт надёжности для схем резервирования устройств управляющего комплекса с отдельным резервированием отдельных элементов»**

**1. Цель практического занятия**

Изучение вопросов организации и методов обеспечения надежности управляющих комплексов средств связи с микропроцессорным управлением при комплексировании с использованием отдельного резервирования компонентов.

**2. Учебная литература**

1. Гребешков А.Ю. Техника микропроцессорных средств в коммутации: Учебник для вузов.– Самара, ПГУТИ, 2011 – 392 с.
2. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

**3. Подготовка к занятию**

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

**4. Контрольные вопросы**

1. Дайте определение понятию «резервирования».
2. Какая схема дублирования более надежна для случая явного отказа и без возможности ремонта компонент управляющего комплекса?
3. В чем состоит достоинство и недостаток решения с резервированием компонентов управляющего комплекса?
4. Что такое «перемежающийся отказ оборудования»?
5. Какие события являются независимыми?

## 5. Порядок выполнения работы

1. Ответить на контрольные вопросы по указанию преподавателя.
2. Получить у преподавателя индивидуальное контрольное задание.
3. Выполнить индивидуальное контрольное задание.
4. Представить преподавателю для проверки задание в письменном виде.

## 6. Содержание отчета

1. Индивидуальное задание с описанием решения.

## 7. Индивидуальное контрольное задание

Схема для расчета надежности системы представлена на рис. 7, где также приведены интенсивности отказов элементов  $\lambda$ .

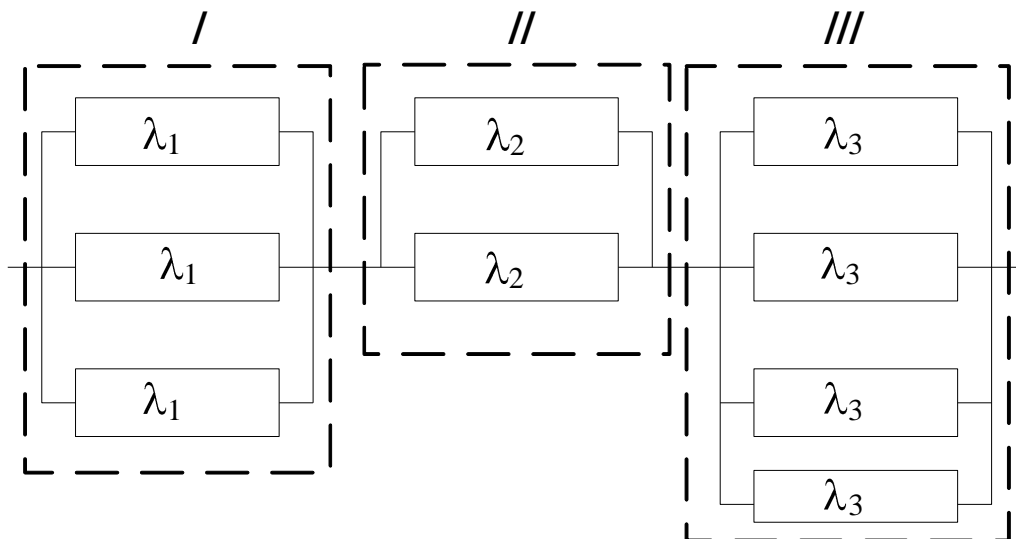


Рис. 7. – Схема для расчета надежности управляющего комплекса в схеме с отдельным резервированием элементов

Принято, что резерв пассивный, невосстанавливаемый, с неизменной нагрузкой. Требуется рассчитать вероятность безотказной работы системы  $P_{сист}(t)$ , аналогичной на рис. 6, для исходных данных в таблице 3.

Таблица 3.

Показатель	Вар. 0	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6	Вар. 7	Вар. 8	Вар. 9
Кол-во грп.	2	3	3	2	3	3	2	2	3	2
Кол-во элементов в 1 грп.	2	1	3	3	2	3	3	4	2	1
Кол-во элементов в 2 грп.	3	2	2	1	2	2	3	2	3	4
Кол-во элементов в 3 грп.	0	3	2	0	2	1	0	0	2	0
$\lambda_1$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
$\lambda_2$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-6}$
$\lambda_3$		$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$		$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$			$5 \cdot 10^{-4}$	
t	100	200	1000	500	800	300	700	1000	1200	400

Примечание. Грп. – сокр. от «Группа».

## 8. Методические указания к индивидуальному контрольному заданию

Логическая схема для расчета надежности системы представлена на рис.8, где также приведены интенсивности отказов элементов  $\lambda$ .

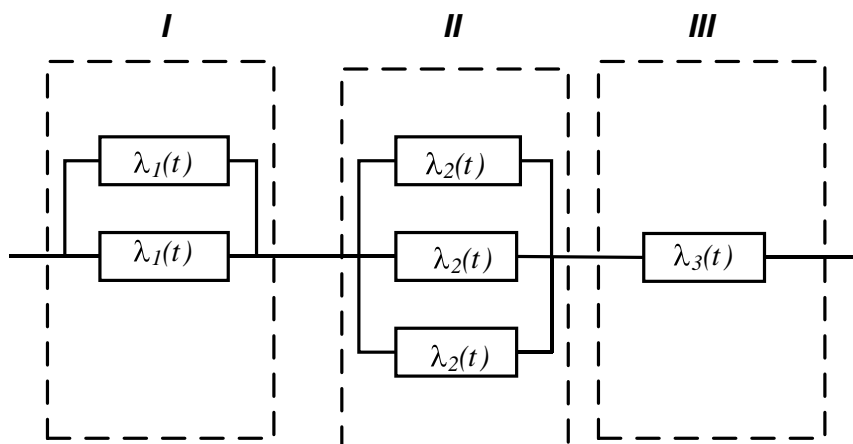


Рис. 8 – Схема раздельного резервирования устройств управляющего комплекса с различным числом резервируемых элементов

Принято, что резерв пассивный, с неизменной нагрузкой. Требуется рассчитать вероятность безотказной работы системы  $P_{сист}(t)$  если известно время  $t = 100$  часов. Для резервированных систем с «простым» (последовательным) соединением блоков имеем:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t)$$

Тогда при равнонадежных устройствах и экспоненциальным распределением наработки на отказ в случае общего резервирования вероятность безотказной работы схемы в целом на рис. 8 будет равна:

$$P_{сист}(t) = p_I(t) \times p_{II}(t) \times p_{III}(t)$$

Считаем, что вероятность безотказной работы единичного элемента по прежнему равна  $P_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ .

Применяя формулу (5) последовательно для каждого блока I, II, III, получим следующие выражения (примечание – на подстрочный индекс  $i$  у времени  $t$  записывать как  $t_i$ ):

$$P_I(t_i) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda_1 t_i}\right)^2,$$

$$P_{II}(t_i) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda_2 t_i}\right)^3,$$

$$P_{III}(t_i) = 1 - 1 + e^{-\lambda_3 t_i} = e^{-\lambda_3 t_i}.$$

$$P_{сисм}(t_i) = \left[1 - \left(1 - e^{-2 \cdot 10^{-3}}\right)^2\right] \cdot \left[1 - \left(1 - e^{-10^{-4}}\right)^3\right] e^{-10^{-2}} =$$

$$= \left[1 - (1 - 0,98)^2\right] \cdot \left[1 - (1 - 1)^3\right] \cdot 0,98 \cong 0,98.$$

Тогда :

$$P_{сисм}(100) = 0,98.$$

## **Практическое занятие №4. Тема «Резервирование управляющих комплексов средств связи с дробной кратностью и постоянно включенным резервом»**

### **1. Цель практического занятия**

Изучение вопросов организации и методов обеспечения надежности управляющих комплексов средств связи с микропроцессорным управлением при комплексировании с использованием кратного резервировании компонентов.

### **2. Учебная литература**

1. Гребешков А.Ю. Микропроцессорные системы и программное обеспечение в средствах связи: Учебное пособие. Гриф МГУП. – Самара, ПГУТИ, 2009. – 298 с.:илл.

2. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

### **3. Подготовка к занятию**

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

### **4. Контрольные вопросы**

1. Дайте определение понятию «кратность резервирования».
2. Какая схема резервирования более надежна в случае невозможности ремонта компонент управляющего комплекса?
3. В чем состоит достоинство и недостаток решения с кратным резервированием компонентов управляющего комплекса?



4. Какие показатели ухудшаются в связи с появлением в схеме избыточных микропроцессоров?

### **5. Порядок выполнения работы**

1. Ответить на контрольные вопросы по указанию преподавателя.
2. Получить у преподавателя индивидуальное контрольное задание.
3. Выполнить индивидуальное контрольное задание.
4. Представить преподавателю для проверки задание в письменном виде.

### **6. Содержание отчета**

1. Индивидуальное контрольное задание с описанием решения.

### **7. Индивидуальное контрольное задание**

Многопроцессорный управляющий комплекс состоит из  $l$  управляющих устройств, номинальная производительность каждого из которых  $w$  миллионов операций в секунду.

Штатная работ возможна, если электронная управляющая система обеспечивает производительность не менее  $w_{min}$ .

Определить вероятность штатной (безаварийной) работы электронной управляющей системы  $P_{сист}$  за  $t_i$  часов, а также среднее время безотказной работы  $m_{тс}$ , если интенсивность выхода из строя управляющего устройства  $\lambda_0$  согласно таблице 4.

Таблица 4.

Показатель	Вар. 0	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6
$l$	3	4	3	2	4	2	3
$W$	150	200	170	230	190	250	220
$w_{min}$	280	580	330	200	370	240	410
$\lambda_0$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$
$t_i$	600	700	800	900	650	750	850

Показатель	Вар. 7	Вар. 8	Вар. 9
$l$	4	3	4
$W$	170	180	140
$w_{min}$	500	350	400
$\lambda_0$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$
$t_i$	950	1000	1100

## 8. Методические указания к индивидуальному контрольному заданию

Пусть многопроцессорный управляющий комплекс содержит  $l$  одинаковых процессоров,  $h$  из которых обладают мощностью, достаточной для обеспечения штатной производительности управляющего комплекса (см. рис. 9). Тогда получается, что число  $l-h$  процессоров являются избыточными.

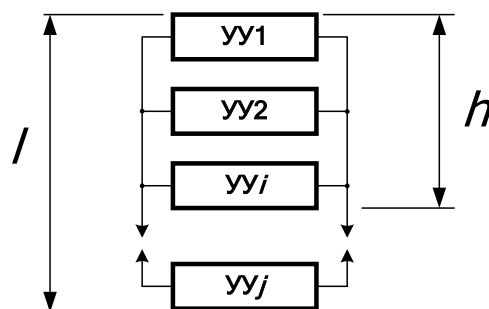


Рис. 9 – Схема обеспечения надежности управляющего комплекса для резервирования с дробной кратностью и постоянно включенным (нагруженным) резервом

В нормальном режиме работы избыточные процессоры, как правило,

работают в режиме разделения нагрузки с основными процессорами. Это так называемый случай нагруженного резерва. При этом резервные процессоры в любой момент времени могут на 100% заменить отказавший основной (базовый) процессор. Другими словами, если бы процессоры загружались на 100%, их число можно было бы уменьшить, но при этом ни о каком резервировании говорить не приходилось бы. Если «избыточный» процессор полноценно заменяет любой из основных в случае отказа последнего, то реализуется т.н. «плавающее» резервирование. Примером плавающего резервирования является случай « $n+1$ », где  $n$  – количество рабочих компонент,  $1$  – количество резерва.

Разновидностью такого резервирования является кратное резервирование с постоянно включенным резервом (в случае, если отказавший процессор не ремонтируется или не заменяется из ЗИПа за приемлемое время, например за 24 часа).

Для нормальной работы схемы на рис. 1, например, для обеспечения заданной производительности управляющего комплекса в ЧНН, необходимо, чтобы исправными были не менее чем  $h$  процессоров. Кратность резервирования такой системы  $m$  равна  $m = (l - h)/h$ . Вероятность безотказной работы системы  $P_{сист}(t)$  на рис. 9 составит величину:

$$P_{сист}(t) = \sum_{i=0}^{l-h} C_l^i p_0^{l-i}(t) \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j p_0^j(t) \quad (6)$$

где

$$C_l^i = \frac{l!}{i! (l-i)!} \quad (7)$$

Для рассматриваемого случая также можно определить среднее время (математическое ожидание) работы системы до отказа  $T$ , которое составляет величину:

$$T = \int_0^{\infty} P_{\text{суст}}(t) dt \approx \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^{l-h} \frac{1}{h+i}, \quad (8)$$

где

$\lambda_0$  – интенсивность отказов отдельного компонента (процессора).

При  $l-h = 2..3$  наработка на отказ управляющего комплекса будет приближаться к границе физического срока службы.

С другой стороны, постоянное наличие явно избыточных процессоров (резервирующих компонентов) приводит к увеличению стоимостных показателей системы.

В этом случае вариант  $n+1$  является разумным компромиссом по соотношению «стоимость–эффективность». Примером резервирования « $n+1$ » в процессоре СР113с являются процессоры ВАР<sub>М</sub>–ВАР<sub>С</sub>.

## **Практическое занятие №5. Тема «Контрольное задание по темам практических занятий №2, №3, №4»**

### **1. Цель практического занятия**

Решение контрольно–тестовых задач с инженерным расчетом по темам практических занятий №2, №3, №4.

### **2. Учебная литература**

1. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

### **3. Подготовка к занятию**

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

### **4. Контрольные вопросы**

1. Для чего используется резервирование?
2. В чем отличие общего от раздельного резервирования?
3. Для чего применяется раздельное резервирование?
4. В чем преимущество резервирования с дробной кратностью?

### **5. Порядок выполнения работы**

1. Ответить на контрольные вопросы по указанию преподавателя.
2. Получить у преподавателя индивидуальное контрольное задание.
3. Выполнить индивидуальное контрольное задание.
4. Представить преподавателю для проверки задание в письменном виде.

### **6. Содержание отчета**

1. Индивидуальное контрольное задание с описанием решения.

## 7. Индивидуальное контрольное задание

Распределение вариантов индивидуальных контрольных заданий см. таблицу 5.

Таблица 5.

№№ варианта	Последняя цифра студенческого билета
1	0,2,9
2	1,3,8
3	4,7
4	5,6

### Контрольное задание №1.

Определить вероятность безотказной работы устройства  $P_{\text{сист}}(t)$  за время  $t_i$ , если интенсивность  $\lambda_0$  выхода из строя и время  $t_i$  составляют (см. таблицу 6):

Таблица 6.

Наименование показателя	Вариант1	Вариант2	Вариант3	Вариант4
$\lambda_0$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
$t_i$	5000	1000	4000	800

Вероятность выхода из строя распределена по экспоненциальному закону. Насколько изменится  $P_{\text{сист}}(t)$  за время  $t_i$  если будет подключено параллельно всего 3 таких устройства?

### Контрольное задание №2.

Определить вероятность безотказной работы системы, приведённой на рис. 10.

Параметры схемы получить из таблицы 7.

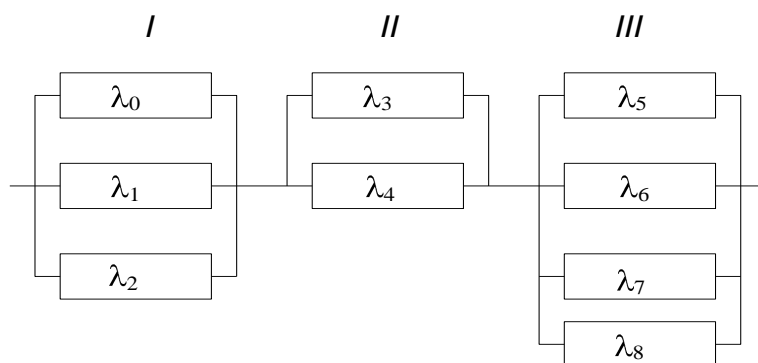


Рис. 10 – Схема резервирования для контрольного задания №2

Таблица 7.

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Кол-во элементов в I грп	3	3	3	3
Кол-во элементов в II грп.	2	1	2	1
Кол-во элементов в III грп	1	2	1	2
$\lambda_0$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
$\lambda_1$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
$\lambda_2$	$5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
$\lambda_3 = \lambda_4$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
$\lambda_5 = \lambda_6 = \lambda_7 = \lambda_8$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$
$t_i$	300	500	400	600

### Контрольное задание №3.

Электронная управляющая система состоит из  $l$  управляющих устройств номинальная производительность каждого из которых  $w$  миллионов операций в секунду. Штатная работа возможна, если система управления обеспечивает мощность не менее  $w_{\min}$  млн. операций в секунду. Определить среднее время безотказной работы  $m_{tc}$ , если интенсивность выхода из строя управляющего устройства  $\lambda_0$  (см. таблицу 8).

Таблица 8.

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
l	5	6	5	6
w	10	8	12	9
$w_{\min}$	25	30	26	44
$\lambda_0, 1/\text{час}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$

