

## 1 Цель и задачи контрольной работе заочников

**Цель** контрольной работе заочников является расширение, углубление и закрепление знаний, полученных студентами на лекциях, лабораторных занятиях. Развитие способности и готовности анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования.

**Задача** контрольной работе заочников состоит в приобретении студентами навыков самостоятельной работы, позволяющей им освоить один из разделов дисциплины и сформировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой).

КРЗ расширяет кругозор студента, приучает его к самостоятельной работе с учебной и справочной литературой и к критической оценке параметров и технических характеристик энергетических установок.

В методических указаниях даются практические рекомендации по выполнению КРЗ и формулируются требования к оформлению работы. Это должно помочь студенту в его самостоятельной работе и позволяет унифицировать требования к содержанию, объему и оформлению работ.

## 2 Основные требования к контрольной работе заочников

Трудоемкость самостоятельной работы (выполнение КРЗ) в 8 семестре составляет 10 часов.

В контрольной работе заочников студент разрабатывает и раскрывает тему посвященную определению параметров надежности электрической сети.

## 3 Исходные данные

№ Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Напряжение питающей сети	35 кВ	110 кВ	220 кВ	110 кВ	220 кВ	110кВ	220 кВ	110кВ	35 кВ	110 кВ
2. Напряжение вторичной обмотки трансформатора	10 кВ	6 кВ	35 кВ	35 кВ	35 кВ	10 кВ	35 кВ	10 кВ	10 кВ	6 кВ
3. Длина ВЛ1 $l_1$	20 км	30 км	40 км	50 км	40 км	70 км	40 км	70 км	20 км	30 км
4. Длина ВЛ2 $l_3$	20 км	30 км	40 км	50 км	40 км	70 км	40 км	70 км	20 км	30 км
5. Длина КЛ1 $l_2$	2 км	3 км	4 км	5 км	4 км	7 км	4 км	7 км	2 км	3 км
6. Длина КЛ2 $l_4$	2 км	3 км	4 км	5 км	6 км	7 км	3 км	3 км	6 км	2 км
7. Ввод РУ $l_5$	0,2 км	0,3 км	0,4 км	0,5 км	0,6 км	0,7 км	0,3 км	0,3 км	0,6 км	0,2 км

№ Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. Ввод РУ $l_6$	0,2 км	0,3 км	0,4 км	0,5 км	0,6 км	0,7 км	0,3 км	0,3 км	0,6 км	0,2 км

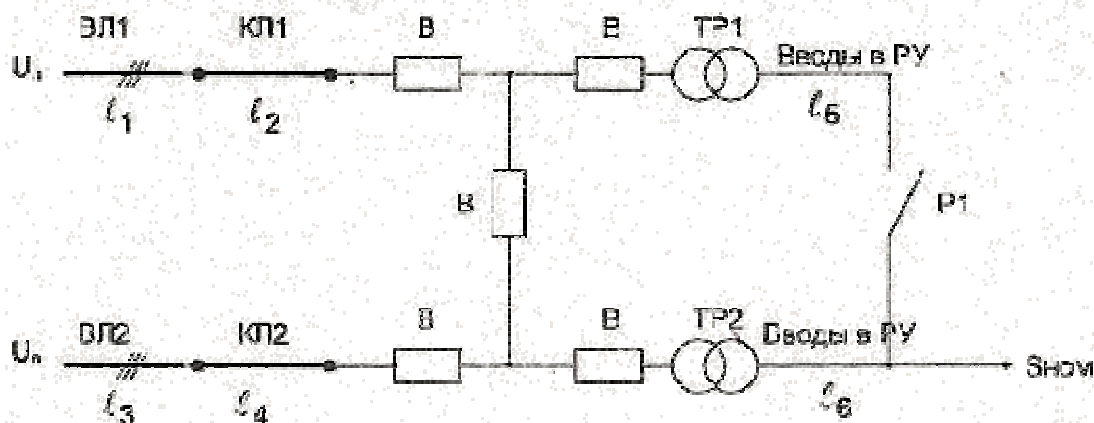


Рис.1 Схема питающей сети (расчетная схема)

Дополнительные данные:

1. Линии ВЛ двухцепные;
2. При расчете ВБР считать, что все коммутационные аппараты включены;
3. Показатели надежности принимаются по справочной литературе;
4. Во время работы схемы отказавшие объекты не восстанавливаются и не заменяются новыми.

#### 4 Расчет показателей надежности отдельных элементов заданной схемы

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 для количественной оценки надежности применяются количественные показатели оценки отдельных ее свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, а также комплексные показатели, характеризующие готовность и эффективность использования технических объектов (в частности, электроустановок).

Эти Показатели позволяют проводить расчетно-аналитическую оценку количественных характеристик отдельных свойств при выборе различных схемных и конструктивных вариантов оборудования (объектов) при их разработке, испытаниях и в условиях эксплуатации. Комплексные показатели надежности используются главным образом на этапах испытаний и эксплуатации при оценке и анализе соответствия эксплуатационно-технических характеристик технических объектов (устройств); заданным требованиям.

На стадиях экспериментальной отработки, испытаний и эксплуатации, как правило, роль показателей надежности выполняют статистические оценки соответствующих вероятностных характеристик.

$\lambda$  - интенсивность отказов;  $T$  – среднее время безотказной работы,  $T = \frac{1}{\lambda}$ , г

Значение интенсивности отказов  $\lambda_c$  для каждого элемента выбираем согласно [3]. Расчетную интенсивность отказов определяем по формуле:

$\lambda = \lambda_c \cdot l$ , где  $l$  - длина кабельной или воздушной линии.

Таблица 1 – Показатели надежности отдельных элементов заданной схемы

Элемент	Условное обозначение на схемах	Интенсивность отказов (справочн.) $\lambda_c$ , 1/год	Интенсивность отказов (расчетн.) $\lambda$ , 1/год	Среднее время безотказной работы $T$ , год
ВЛ 35 кВ, двухцепная	2Л	0,008	0,16	6,25
ВЛ 10 кВ	Л	0,25	0,05	20
Трансформатор с высшим напряжением 35 кВ	Т	0,03	0,03	33,3
Выключатель 35 кВ	Q	0,02	0,02	50
Разъединитель 10 кВ	QS	0,01	0,01	100
КЛ 35 кВ	К	0,05	0,1	20

## 5 Составление схемы замещения по надежности

Большинство систем спроектировано таким образом, что при отказе любого из элементов система отказывает. При анализе надежности такой системы предполагаем, что отказ любого из элементов носит случайный и независимый характер и не вызывает изменения характеристик (не нарушает работоспособности) остальных элементов.

Схему расчета надежности целесообразно составлять таким образом, чтобы элементами расчета были конструктивно оформленные блоки (звенья), которые имеют свои показатели надежности, техническую документацию, нормативы содержания и другие документы. Если в расчетах эти элементы работают не одновременно, то целесообразно такие элементы распределять по времени их работы на группы и образовать из этих групп самостоятельные блоки расчета.

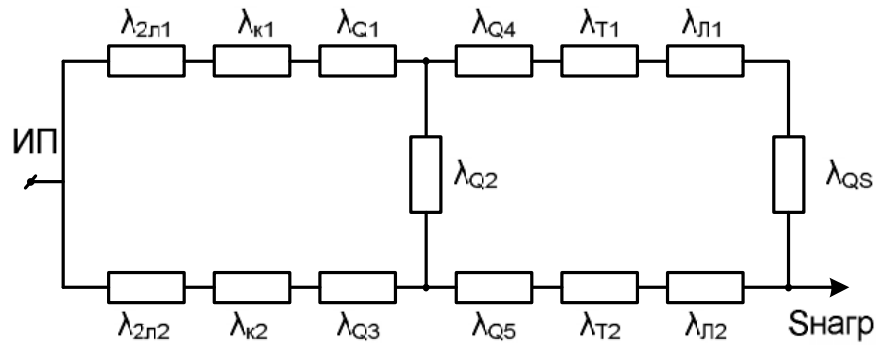


Рис.2 Схема замещения по надежности питающей сети, представленной на рис.1

## 6 Расчет вероятности безотказной работы схемы для двух способов резервирования

В эксплуатации систем широко распространен способ повышения их надежности за счет введения в схему системы дополнительных элементов, которые могут работать параллельно с основными элементами или подключаться на место отказавшего элемента. Таким образом, резервированной системой называется такая система, в которой отказ наступает только после отказа любого основного элемента и всех резервных у анализируемого элемента.

При общем резервировании основной объект (система) резервируется в целом, а при раздельном - резервируются отдельные части (элементы) системы. Под кратностью резервирования « $m$ » понимается отношение числа резервных объектов к числу основных. При резервировании с целой кратностью величина  $m$  есть целое число (например, если  $m = 2$ , то на один основной объект приходится два резервных). При резервировании дробной кратностью получается дробное несокращаемое число. Например, при  $m = 4/2$  резервных объектов 4, основных 2, общее число объектов 6. Сокращать дробь нельзя, так как новое отношение будет отражать совсем другой физический смысл.

По способу включения резервирование разделяется на постоянное и резервирование замещением. При постоянном резервировании резервные объекты подключены к нагрузке постоянно в течение всего времени работы и находятся в одинаковых с основными объектами условиях. При резервировании замещением замещают объекты основные (подключаются к нагрузке) после их отказа.

### 6.1 Способ нагруженного дублирования

Способ нагруженного дублирования является частным случаем общего нагруженного резервирования с целой кратностью,  $m = 1$ , то есть на одну основную цепь приходится одна резервная цепь, находящаяся под нагрузкой.

Рассмотрим схему на рисунке 2. Элементы цепи  $\lambda_{2л1} \dots \lambda_{л1}$  являются резервными.

Составим схему для расчета вероятности безотказной работы питающей сети при нагруженном дублировании:

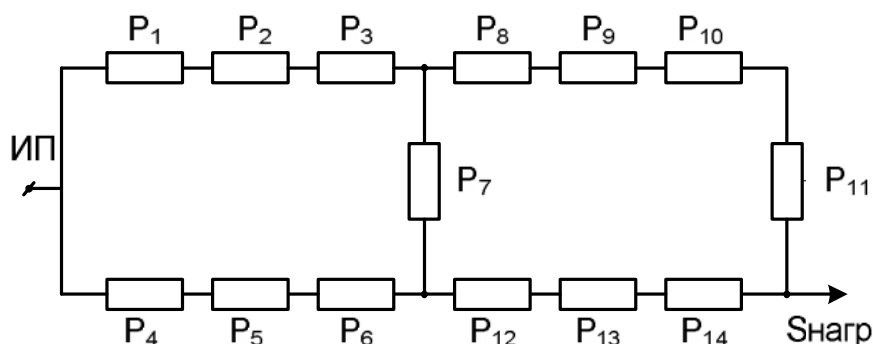


Рис.3 Схема замещения при нагруженном дублировании  
Вероятность безотказной работы элемента  $P_i$  определяется по формуле:

$$P_i = e^{-\lambda_i \cdot t} \quad (1)$$

где  $t=40000$  ч.

$$\begin{aligned} P_1 &= P_4 = e^{-0,16 \cdot 4,56} = 0,47 \\ P_2 &= P_5 = e^{-0,1 \cdot 4,56} = 0,62 \\ P_3 &= P_6 = P_7 = P_8 = P_{12} = e^{-0,02 \cdot 4,56} = 0,91 \\ P_9 &= P_{13} = e^{-0,03 \cdot 4,56} = 0,868 \\ P_{10} &= P_{14} = e^{-0,05 \cdot 4,56} = 0,79 \\ P_{11} &= e^{-0,01 \cdot 4,56} = 0,954 \end{aligned}$$

Вероятность безотказной работы подсистемы  $P_{1-3}$  (последовательное соединение), определяется по формуле:

$$\begin{aligned} P_{1-3} &= P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \\ P_{1-3} &= 0,47 \cdot 0,62 \cdot 0,91 = 0,265 \end{aligned} \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы подсистемы  $P_{4-6}$  (последовательное соединение), определяется по формуле:

$$\begin{aligned} P_{4-6} &= P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \\ P_{4-6} &= 0,47 \cdot 0,62 \cdot 0,91 = 0,265 \end{aligned} \quad (3)$$

Вероятность безотказной работы подсистемы  $P_{8-11}$  (последовательное соединение), определяется по формуле:

$$\begin{aligned} P_{8-11} &= P_8 \cdot P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{11} \\ P_{8-11} &= 0,91 \cdot 0,868 \cdot 0,79 \cdot 0,954 = 0,595 \end{aligned} \quad (4)$$

Вероятность безотказной работы подсистемы  $P_{12-14}$  (последовательное соединение), определяется по формуле:

$$\begin{aligned} P_{12-14} &= P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \\ P_{12-14} &= 0,91 \cdot 0,868 \cdot 0,79 = 0,624 \end{aligned} \quad (5)$$

По результатам расчетов составим промежуточную схему:

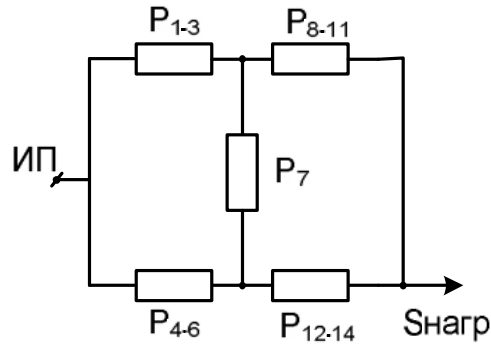


Рис.4 Промежуточная схема

Произведем преобразование соединения элементов  $P_{8-11} - P_7 - P_{12-14}$  («треугольник») в «звезду» (рис. 5):

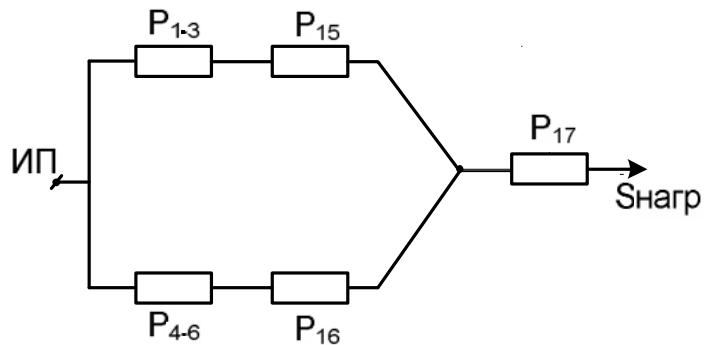


Рис. 5 Преобразование в «звезду»

Вероятность безотказной работы  $P_{15}$ , определяется по формуле:

$$P_{15} = 1 - (1 - P_{8-11}) \cdot (1 - P_7) \quad (6)$$

$$P_{15} = 1 - (1 - 0,595) \cdot (1 - 0,91) = 0,964$$

Вероятность безотказной работы  $P_{16}$ , определяется по формуле:

$$P_{16} = 1 - (1 - P_{12-14}) \cdot (1 - P_7) \quad (7)$$

$$P_{16} = 1 - (1 - 0,624) \cdot (1 - 0,91) = 0,966$$

Вероятность безотказной работы  $P_{17}$ , определяется по формуле:

$$P_{17} = 1 - (1 - P_{8-11}) \cdot (1 - P_{12-14}) \quad (8)$$

$$P_{17} = 1 - (1 - 0,595) \cdot (1 - 0,624) = 0,847$$

Вероятность безотказной работы подсистемы  $P_{1-15}$  (последовательное соединение), определяется по формуле:

$$P_{1-15} = P_{1-3} \cdot P_{15} \quad (9)$$

$$P_{1-15} = 0,265 \cdot 0,964 = 0,255$$

Вероятность безотказной работы подсистемы  $P_{4-16}$  (последовательное соединение), определяется по формуле:

$$P_{4-16} = P_{4-6} \cdot P_{16} \quad (10)$$

$$P_{4-16} = 0,265 \cdot 0,966 = 0,256$$

Вероятность безотказной работы подсистемы  $P_{1-16}$  (параллельное соединение), определяется по формуле:

$$P_{1-16} = 1 - (1 - P_{1-15}) \cdot (1 - P_{4-16}) \quad (11)$$

$$P_{1-16} = 1 - (1 - 0,255) \cdot (1 - 0,256) = 0,445$$

Вероятность безотказной работы системы  $P_C$  (последовательное соединение), определяется по формуле:

$$P_C = P_{1-16} \cdot P_{17} \quad (12)$$

$$P_C = 0,445 \cdot 0,847 = 0,377$$

## 6.2 Способ дублирования замещением

В электроснабжении широко используется метод повышения надежности системы за счет использования резервной цепи, находящейся в ненагруженном состоянии. Последняя автоматически включается при отказе основной цепи.

Примем некоторые допущения: выключатель  $Q_2$  и разъединитель  $QS$  постоянно находятся во включенном состоянии; часть цепи, находящаяся слева от выключателя  $Q_2$  резервируется способом нагруженного дублирования; часть цепи, находящаяся справа от выключателя  $Q_2$  до разъединителя  $QS$  резервируется способом дублирования замещением.

Составим схему для расчета вероятности безотказной работы питающей сети при дублировании замещением:

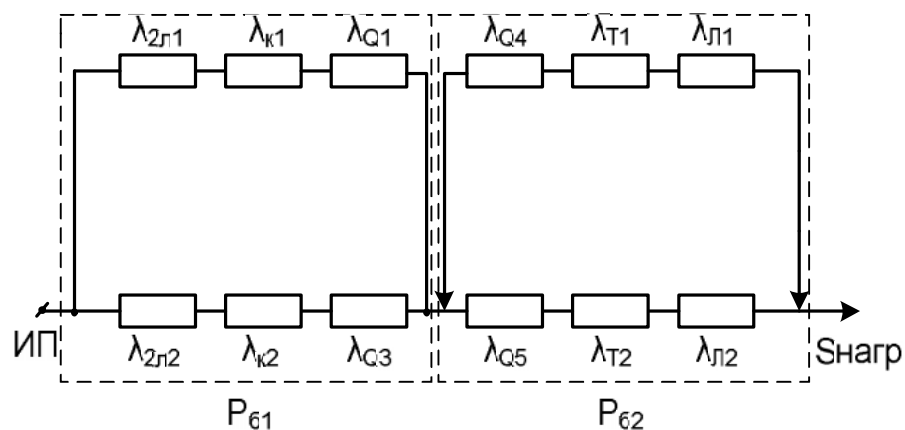


Рис. 6 Схема замещения при дублировании замещением

Вероятность безотказной работы первого блока системы  $P_{61}$ , при условии, что элементы блока являются равнонадежными, определяется по формуле:

$$P_{61} = 1 - (1 - e^{-(\lambda_{2Л1} + \lambda_{к1} + \lambda_{Q1})t})^2 \quad (13)$$

$$P_{61} = 1 - (1 - e^{-(0,16 + 0,1 + 0,02) \cdot 4,56})^2 = 1 - (1 - 0,268)^2 = 0,464$$

Вероятность безотказной работы второго блока системы  $P_{Б2}$ , при условии, что элементы блока являются равнонадежными, определяется по формуле:

$$P_{Б2} = (1 + (\lambda_{Q4} + \lambda_{T1} + \lambda_{Л1}) \cdot t) \cdot e^{-(\lambda_{Q4} + \lambda_{T1} + \lambda_{Л1}) \cdot t} \quad (14)$$

$$P_{Б2} = (1 + (0,02 + 0,03 + 0,05) \cdot 4,56) \cdot e^{-(0,02 + 0,03 + 0,05) \cdot 4,56} = 0,91$$

Вероятность безотказной работы системы (последовательное соединение)  $P_C$  определяется по формуле:

$$P_C = P_{Б1} \cdot P_{Б2} \quad (15)$$

$$P_C = 0,464 \cdot 0,91 = 0,422$$

### 6.3 Сравнение способов резервирования по уровню надежности

Из расчетов предыдущего пункта видно, что значения вероятности безотказной работы схемы нагруженного дублирования и схемы дублирования замещением близки друг к другу. Однако при дублировании замещением вероятность безотказной работы составляет  $P_C = 0,422$ , что в 1,119 раз больше, чем при нагруженном дублировании.

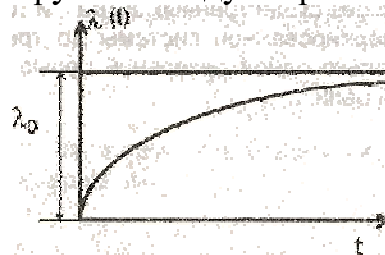


Рис. 7 График функции  $\lambda_t$  системы, дублированной замещением

Рассмотрим рисунок 7. В первоначальный момент времени интенсивность отказов дублированной системы очень низкая  $\lambda_0 \gg \lambda_{(t=0)}$ . Если такую дублированную систему включить на длительный срок, то выигрыш в надежности уменьшается. Это объясняется тем, что с увеличением времени возрастает вероятность отказа основной цепи. При ее отказе вводится в работу резервная цепь с интенсивностью отказов  $\lambda_0$ .

Ненагруженный резерв желателен, но не всегда осуществим: например, оборудование электроустановок, отключенное от напряжения, все же находится под воздействием окружающей среды, метеоусловий и т.д. Поэтому не включенные в работу резервные элементы будут так же иметь некоторую интенсивность отказов. Так же следует иметь ввиду, что при расчетах допускается абсолютная надежность переключателей.

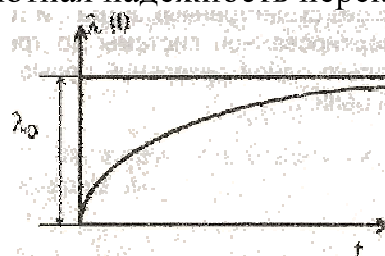


Рис. 8 Интенсивность отказов системы, дублированной замещением



работающей по способу нагруженного  
дублирования

Рассмотрим рисунок 8. Из рисунка видно, что интенсивность отказов системы со временем возрастает. Это говорит о том, что при большом  $t$  вероятность отказа одной из цепей высока, и система может перейти в режим работы с одной цепью  $\lambda = \lambda_0$ .

Схема нагруженного дублирования имеет достаточно высокий уровень надежности. Но если дублированную неремонтируемую систему включить на значительный срок без технического обслуживания, то уровень надежности системы окажется недопустимо низким.

### 7. Вероятности безотказной работы схемы при различных траекториях питания потребителей

#### 1. Траектория питания потребителей №1

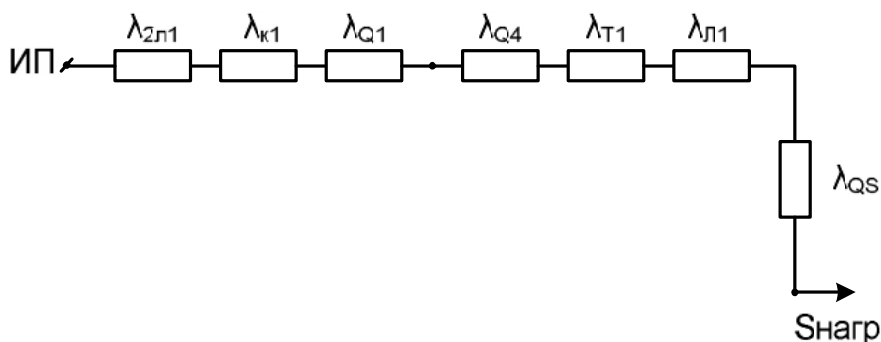


Рис. 9 Схема траектории питания потребителей №1

Определим вероятность безотказной работы системы на рис. 9:

$$P_{C1} = e^{-(\lambda_{2л1} + \lambda_{к1} + \lambda_{Q1} + \lambda_{Q4} + \lambda_{Т1} + \lambda_{Л1} + \lambda_{Qs})t} \tag{16}$$

$$P_{C1} = e^{-(0,16+0,1+0,02+0,02+0,03+0,05+0,01) \cdot 4,56} = 0,157$$

#### 2. Траектория питания потребителей №2

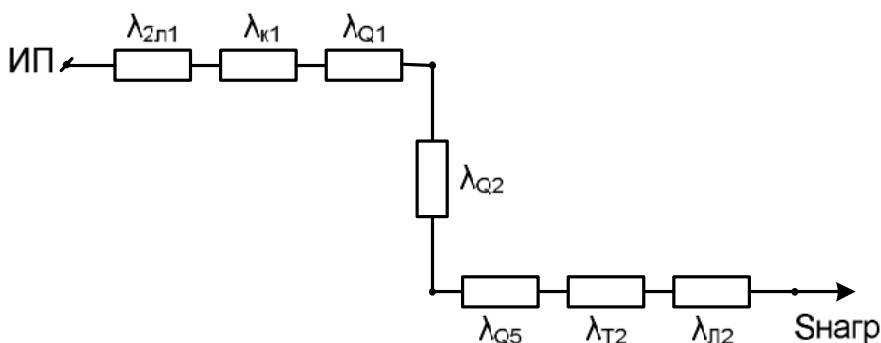


Рис. 10 Схема траектории питания потребителей №2

Определим вероятность безотказной работы системы на рис. 10:

$$P_{C2} = e^{-(\lambda_{2л1} + \lambda_{к1} + \lambda_{Q1} + \lambda_{Q2} + \lambda_{Q5} + \lambda_{T2} + \lambda_{л2}) \cdot t} \quad (17)$$

$$P_{C2} = e^{-(0,16 + 0,1 + 0,02 + 0,02 + 0,02 + 0,03 + 0,05) \cdot 4,56} = 0,15$$

### 3. Траектория питания потребителей №3

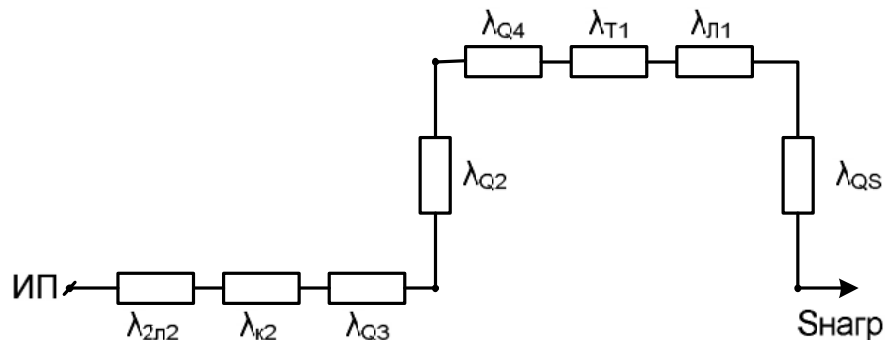


Рис. 11 Схема траектории питания потребителей №3

Определим вероятность безотказной работы системы на рис. 11:

$$P_{C3} = e^{-(\lambda_{2л2} + \lambda_{к2} + \lambda_{Q3} + \lambda_{Q2} + \lambda_{Q4} + \lambda_{T1} + \lambda_{л1} + \lambda_{QS}) \cdot t} \quad (18)$$

$$P_{C3} = e^{-(0,16 + 0,1 + 0,02 + 0,02 + 0,02 + 0,03 + 0,05 + 0,01) \cdot 4,56} = 0,143$$

Как показали приведенные выше расчеты вероятности безотказной работы для разных траекторий питания потребителей, значение вероятности безотказной работы уменьшается при увеличении количества входящих в схему элементов и включении в схему элементов с низкими показателями надежности.

### 8. Расчет вероятности безотказной работы схем резервирования (без резервирования, нагруженного дублирования и дублирования замещением)

Определим вероятность безотказной работы основной схемы (без резервирования). Составим расчетную схему:

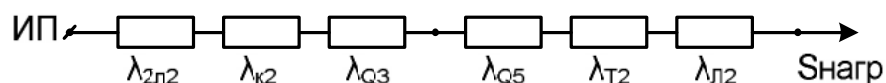


Рис. 12 Основная схема (без резервирования)

Вероятность безотказной работы системы на рис. 12:

$$P_C = e^{-(\lambda_{2л2} + \lambda_{к2} + \lambda_{Q3} + \lambda_{Q5} + \lambda_{T2} + \lambda_{л2}) \cdot t} \quad (19)$$

$$P_C = e^{-(0,16 + 0,1 + 0,02 + 0,02 + 0,03 + 0,05) \cdot 4,56} = 0,184$$

Методы расчета вероятности безотказной работы для схем нагруженного дублирования и дублирования замещением при  $t=40000$  ч были представлены в п. 5.

Построим график, на котором изображены кривые  $P(t)$  системы при нагруженном дублировании, дублировании замещением, без дублирования для интервала  $t=0 - 40000$  ч

Таблица 2 – Данные для построения графиков

Время $t$ , ч	$P_{снд}$	$P_{сдз}$	$P_{сбд}$
0	1	1	1
500	0,999	0,999	0,979
1000	0,998	0,998	0,958
5000	0,97	0,974	0,8
10000	0,9	0,913	0,65
15000	0,825	0,833	0,53
20000	0,73	0,745	0,429
25000	0,642	0,657	0,384
30000	0,555	0,472	0,281
35000	0,474	0,494	0,227
40000	0,4	0,422	0,184

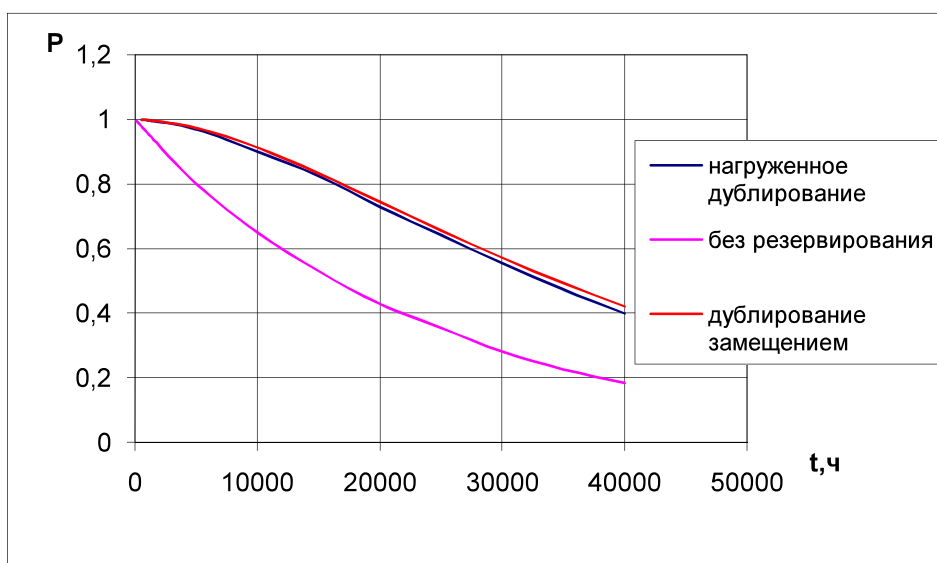


Рис. 13 Надежность системы при различных способах дублирования

Полученные зависимости на рис.13 показывают, на сколько повышается надежность системы, переведенной в режим дублирования, а так же разницу между вероятностями безотказной работы схем нагруженного дублирования и дублирования замещением. На графике видно, что различие между способами дублирования невелико и проявляется после некоторого времени работы.

## Заключение

Надежность технического объекта любой сложности должна обеспечиваться на всех этапах его жизненного цикла: от начальной стадии выполнения проектно-конструкторской разработки до заключительной стадии эксплуатации. Основные условия обеспечения надежности состоят в строгом выполнении правила, называемого триадой надежности: надежность закладывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении и поддерживается в эксплуатации. Без строгого выполнения этого правила нельзя решить задачу создания высоконадежных изделий и систем путем компенсации недоработок предыдущего этапа на последующем.

Немаловажным способом повышения надежности систем является резервирование. В данном курсовом проекте были рассмотрены два вида резервирования: нагруженное дублирование и дублирование замещением. Расчеты показали, что данные способы дублирования имеют практически одинаковую вероятность безотказной работы и различие между ними становится заметным лишь по прошествии длительного времени (около 5 лет). В этих условиях выбор схемы включения системы может определить экономический фактор. Так, например, две воздушные линии, работающие по схеме нагруженного дублирования, имеют потерю мощности  $\Delta P = \frac{1}{2} I^2 \cdot R$ , тогда как по схеме дублирования замещением  $\Delta P = I^2 \cdot R$ , то есть потери мощности в два раза больше. В этом случае при практически одинаковом значении вероятностей безотказной работы обеих схем в пределах выбранного цикла наработки до планового отключения, схема дублирования замещением экономически не выгодна.

## Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В.Перельмутер .— 3-е изд., перераб. и доп. — М. : АСВ, 2007 .— 256с. : ил
2. Половко, А.М. Основы теории надежности : учеб.пособие для вузов / А.М.Половко, С.В.Гуров .— 2-е изд., перераб. и доп. — СПб. : БХВ-Петербург, 2006 .— 704с. : ил.
3. Зорин, В.А. Основы работоспособности технических систем : учебник для вузов / В.А.Зорин .— М. : Магистр-Пресс, 2005 .— 536с. : ил.
4. Волчкевич, Л.И. Автоматизация производственных процессов : учеб.пособие для вузов / Л.И.Волчкевич .— М. : Машиностроение, 2005 .— 380с. : ил.
5. Ефремов, Н.Ф. Моск.гос.ун-т печати. Надежность и испытание упаковки : учеб.пособие для вузов / Н.Ф.Ефремов, И.К.Корнилов, Ю.М.Лебедев; Моск.гос.ун-т печати .— М. : МГУП, 2004 -112с.