ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

***Кафедра***: «Электроснабжение железнодорожного транспорта»

***Дисциплина***: «Основы теории надёжности»

**Курсовая работа**

***«*Анализ надёжности и резервирование**

**технической системы*»***

***Вариант-079***

Выполнил:

студент группы ЭНС-04-2

Иванов А. К.

Проверил:

канд. техн. наук, доцент

Герасимов Л. Н.

Иркутск 2008

*Введение*

В сложных технических устройствах без резервирования никогда не удается достичь высокой надежности, даже используя элементы с высокими показателями безотказности.

**Система со структурным резервированием***– это система с избыточностью элементов*, т. е. с резервными составляющими, избыточными по отношению к минимально необходимой (основной) структуре и выполняющими те же функции, что и основные элементы. В системах с резервированием работоспособность обеспечивается до тех пор, пока для замены отказавших основных элементов имеются в наличии резервные.

По способу включения резервных элементов резервирование подразделяют на два вида:

* **активное (ненагруженное)** – *резервные элементы вводятся в работу только после отказа основных элементов;*
* **пассивное (нагруженное)** – *резервные элементы функционируют наравне с основными (постоянно включены в работу).* Этот вид резервирования достаточно широко распространен, т.к. обеспечивает самый высокий коэффициент оперативной готовности.

Кратко остановимся на *расчете надежности систем с ограничением по нагрузке.* Если условия функционирования таковы, что для работоспособности системы необходимо, чтобы по меньшей мере *r* элементов из *n* были работоспособны, то число необходимых рабочих элементов равно *r*, резервных – *(n - r)*. Отказ системы наступает при условии отказа *(n – r + 1)* элементов. Число *r*, в общем случае, зависит от многих факторов, но в большинстве расчетов надежности требуется обеспечить пропускную (или нагрузочную) способность системы в заданном режиме эксплуатации. При этом отказы можно считать независимыми только тогда, когда при изменении числа находящихся в работе элементов не наблюдается перегрузки, влияющей на возможность возникновения отказа.

**Задание на расчёт**

*Для заданной основной схемы электротехнического объекта следует:*

* *Определить вероятность работоспособного состояния объекта (ВБР) для расчетного уровня нагрузки и построить зависимость данного показателя надежности от нагрузки.*
* *Обеспечить заданный уровень надежности объекта резервированием его слабых звеньев с учетом требований минимальной избыточности и стоимости резервирования.*

В результате расчета должна быть получена схема объекта с резервированием, обеспечивающим нормативный уровень надежности для заданной расчетной нагрузки при минимальных затратах на реконструкцию исходной схемы.

**Состав исходных данных:**

* *Ns* - номер схемы системы электроснабжения (основная система);
* *[A,B,C]* – множество типов элементов;
* *Zi* - пропускная способность или производительность элементов;
* *рi* - вероятность работоспособного состояния (коэффициенты готовности) элементов (три типа);
* *ci* - удельная стоимость элементов (три типа);
* *Zmax* - максимальный уровень нагрузки (в условных единицах);
* *Zн –* заданный расчетный уровень нагрузки;
* *P* норм - требуемый (нормативный) уровень надежности объекта.

Любой тип определяется своими параметрами, так, обозначение *A*(*Zi, рi, ci* ) полностью описывает характеристики элемента типа *A*.

Удельные стоимостные характеристики и коэффициенты готовности элементов зависят от их показателя надежности (*pi*) - чем выше надежность и пропускная способность элемента, тем выше его стоимость.

При определении зависимости надежности электроснабжения от уровня нагрузки следует рассмотреть ряд значений нагрузки от 0 до *Zmax* с шагом примерно в 10% – 15% от *Zmax* . При этом нагрузка в *Zн* единиц, выбираемая при проектировании в пределах 50% *Zmax* < *Zн* < *Zmax* , считается основной расчетной нагрузкой, для которой должен быть обеспечен требуемый (нормативный) уровень надежности объекта.

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

Схема установки представлена на рис. 1.

16

1

5

4

2

3

6

Рис. 1.

Вероятности работоспособного состояния (коэффициенты готовности) *pi* и пропускной способности (производительности) *Zi* элементов установки приведены в таблице 1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Основная система | | | | | | |
| Номер и обозначение элемента xi | *х1* | *х2* | *х3* | *х4* | *х5* | *х6* |
| Тип элемента | В | В | A | С | В | В |
| Вероятность работоспособного состояния *pi* | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.95 | 0.9 | 0.9 |
| Пропускная способность *Zi* | 40 | 60 | 70 | 90 | 40 | 60 |

Расчетная нагрузка установки: *Zн =* 70 ед., максимальная - *Zmax =* 160 ед. Нормативный показатель надежности установки принят равным *P* норм = 0.98.

Для резервирования схемы предлагается использовать элементы типа А, В или С; их параметры даны в таблице 2.

Таблица 2

Данные элементов резервирования

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип резервного элемента | A | A | A | В | В | В | C | C | C |
| Вероятность работоспособного  состояния *pi* | 0.85 | 0.90 | 0.98 | 0.8 | 0.85 | 0.9 | 0.85 | 0.95 | 0.97 |
| Пропускная способность *Zi* | 50 | 70 | 90 | 60 | 70 | 100 | 50 | 80 | 110 |
| Удельная стоимость, тыс.руб./ед.мощности *ci* | 6 | 8 | 9 | 13 | 15 | 19 | 65 | 70 | 75 |

**Вычисление структурных функций**

Для рассматриваемой схемы структурная функция *S(Z)* имеет вид

*S(Z)* *= β1( α(β2( х1 х2)х3β3(х5 х6)) х4 ).*

В этом выражении операция *β2* предполагает преобразование двух элементов *х1,х2* в один эквивалентный структурный элемент (который так и обозначим – *β2*), *β3* состоит также из двух элементов *х5, х6* (которыетоже будут преобразованы в один элемент – *β3*). Операция *α* предполагает преобразование двух эквивалентных структурных элементов *β2,β3* и одного элемента *х3.* При этом эквивалент *α*и элемент *х4* вместе образуют два параллельно соединенных (в смысле надежности) элемента, которые посредством операции *β1* превращаются в один эквивалентный элемент с соответствующей функцией распределения вероятностей состояний.

Вычислим выражения для каждого эквивалента:

*β2 = (p1[40]+q1[0])( p2[60]+q2[0]) =*

*= p1 p2[40+60] + p1 q2[40+0] + q1 p2[0+60] + q1 q2[0+0] =*

*= 0,9•0,9[100] + 0,9•0,1[40] + 0,1•0,9[60] + 0,1•0,1[0] =*

= *0,81[100]+0,09[40] + 0,09[60]+0,01[0]= 1 (проверка).*

Т.к. элементы *х5* и*х6* полностью идентичны элементам *х1* и*х2*, то операция *β3*:

*β3 = 0,81[100] + 0,09[60] +0,09[40]+0,01[0].*

*α= (0,81[100] + 0,09[60] +0,09[40]+0,01[0])•(0,9[70]+0,1[0]) • (0,81[100]+ +0,09[60] + 0,09[40] +0,01[0]) = (0,81•0,9[min{100;70}]+ 0,81•0,1[min{100;0}] + 0,09•0,9[min{60;70}] + 0,09•0,1[min{60;0}] + 0,09•0,9[min{40;70}] + +0,09•0,1[min{40;0}]+0,01•0,9[min{0;70}] + 0,01•0,1[min{0;0}]) • (0,81[100] + 0,09[60] +0,09[40]+0,01[0]) =*

*=(0,729[70]+ 0,081[0] + 0,081[60]+0,009[0] + 0,081[40] +0,009[0]+0,009[0] + +0,001[0]) • (0,81[100] + 0,09[60] +0,09[40]+0,01[0])=*

*=(0,729[70]+0,081[60]+0,081[40]+0,109[0]) • (0,81[100]+0,09[60]+ +0,09[40]+0,01[0]) =0,729•0,81[min{70;100}]+ 0,729•0,09[min{70;60}] + 0,729•0,09[min{70;40}] + 0,729•0,01[min{70;0}] + 0,081•0,81[min{60;100}]+ 0,081•0,09[min{60;60}] + 0,081•0,09[min{60;40}] + 0,081•0,01[min{60;0}]+ 0,081•0,81[min{40;100}]+ 0,081•0,09[min{40;60}] + 0,081•0,09[min{40;40}] + 0,081•0,01[min{40;0}]+ 0,109•0,81[min{0;100}]+ 0,109•0,09[min{0;60}] + 0,109•0,09[min{0;40}] + 0,109•0,01[min{0;0}] =*

*= 0,59049[70]+ 0,06561[60] + 0,06561[40] + 0,00729[0] + 0,06561[60]+ 0,00729[60] + 0,00729[40] + 0,00081[0]+ 0,06561[40]+ 0,00729[40] + 0,00729[40] + 0,00081[0]+ 0,08829[0]+ 0,00981[0] + 0,00981[0] + 0,00109[0]=*

*(складываем вероятности при одинаковой пропускной способности)*

*= 0,59049[70]+0,13851[60]+0,15309[40]+0,11791[0] =1 (проверка).*

*S(Z)* *=β1( α х4 ) = (0,59049[70]+0,13851[60]+0,15309[40]+0,11791[0]) •*

*(0,95[90]+ 0,05[0]) =*

*= 0,59049•0,95[70+90] + 0,59049•0,05[70+0] + 0,13851•0,95[60+90] + 0,13851•0,05[60+0] + 0,15309•0,95[40+90] + 0,15309•0,05[40+0] + 0,11791•0,95[0+90] + 0,11791•0,05[0+0]=*

*= 0,56097[160] + 0,02952[70] + 0,13159[150] + 0,00692[60]+ 0,14544[130]+ 0,00765[40] + 0,11202[90] + 0,00589[0] =*

*(суммируем и упорядочим вероятности по значению пропускной способности)*

***= 0,56097[160]+ 0,13159[150]+ 0,14544[130] + 0,11202[90]+ 0,02952[70] + +0,00692[60]+ 0,00765[40]+ 0,00589[0]= 1.***

**Оценка расчетных состояний**

Полученная функция S(Z) позволяет построить зависимость показателя надежности объекта (ВБР) от уровня нагрузки - *P[Z ≥ Zнk]*. Для этого следует просуммировать только те слагаемые функции S(Z), для которых значение нагрузки больше или равно заданной.

Расчеты удобно представить в виде табл. 3. По данным таблицы построен график.

Таблица 3

Зависимость ВБР системы от нагрузки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Zнk* | *S(Z)* *= β1( α(β2( х1 х2)х3β3(х5 х6)) х4 )* | *P[Z≥Zнk]* |
| 0 | *0,56097[160]+ 0,13159[150]+ 0,14544[130] + 0,11202[90]+ 0,02952[70] +0,00692[60]+ 0,00765[40]+ 0,00589[0]* | *1* |
| 30 | *0,56097[160]+ 0,13159[150]+ 0,14544[130] + 0,11202[90]+ 0,02952[70] +0,00692[60]+ 0,00765[40]* | *0,99411* |
| 50 | *0,56097[160]+ 0,13159[150]+ 0,14544[130] + 0,11202[90]+ 0,02952[70] +0,00692[60]* | *0,98646* |
| 70 | *0,56097[160]+ 0,13159[150]+ 0,14544[130] + 0,11202[90]+ 0,02952[70]* | *0,97954* |
| 90 | *0,56097[160]+ 0,13159[150]+ 0,14544[130] + 0,11202[90]* | *0,95002* |
| 130 | *0,56097[160]+ 0,13159[150]+ 0,14544[130]* | *0,838* |
| 150 | *0,56097[160]+ 0,13159[150]* | *0,69256* |
| 160 | *0,56097[160]* | *0,56097* |
| 180 | *-* | *0* |



Рис. 2. Показатели надежности установки в зависимости от нагрузки

Анализ графика в контрольных точках показывает:

* область вблизи номинальной нагрузки, до 70 ед., обеспечена пропускной способностью системы с вероятностью не менее *0,97954;*
* максимальная нагрузка равна предельной пропускной способности и вероятность ее обеспечения минимальна.

**Обеспечение нормативного уровня надежности установки**

Из таблицы 2 следует, что при расчетной нагрузке 70 ед. вероятность безотказной работы установки *P[Z ≥ 70]* = *0.97954* не соответствует заданному нормативному уровню *P* норм = *0.98*. Следовательно, требуется повышение надежности установки, которое в данном случае может быть обеспечено вводом дополнительных элементов. Следует определить тип элементов (по значению вероятности и пропускной способности), их место на схеме и количество дополнительных - резервных, - элементов. При этом затраты на резервирование должны быть минимальными.

Для усиления этой схемы добавим один резервный элемент параллельно *х3*. Получившаяся схема с резервированием изображена на рисунке 3.

1

5

4

2

3

6

r

Рис. 3. Схема с резервированием.

Возьмём в качестве резервного r элемент типа А(*70, 0.9, 8*), так как его пропускная способность удовлетворяет расчётной.

Для рассматриваемой схемы структурная функция *S(Z)* имеет вид

*S(Z)* *= β1( α(β2( х1 х2)βr (х3r)β3(х5 х6)) х4 ).*

Вычислим выражения для каждого эквивалента:

*βr = (0,9[70]+0,1[0])2 =0,92[70+70]+2•0,9•0,1[70+0]+0,12[0+0]=*

*= 0,81[140] + 0,18[70] + 0,01[0]= 1.*

*α= (0,81[100] + 0,09[60] +0,09[40]+0,01[0])•( 0,81[140] + 0,18[70] + 0,01[0]) • (0,81[100]+0,09[60] + 0,09[40] +0,01[0]) = (0,81•0,81[min{100;140}]+ 0,81•0,18[min{100;70}]+ 0,81•0,01[min{100;0}] + 0,09•0,81[min{60;140}]+ 0,09•0,18[min{60;70}]+ 0,09•0,01[min{60;0}] +0,09•0,81[min{40;140}]+ 0,09•0,18[min{40;70}]+ 0,09•0,01[min{40;0}]+0,01•0,81[min{0;140}]+ 0,01•0,18[min{0;70}]+ 0,01•0,01[min{0;0}]) • (0,81[100] + 0,09[60] + 0,09[40]+0,01[0]) =*

*=(0,6561[100]+ 0,1458[70]+ 0,0081[0] + 0,0729[60]+ 0,0162[60]+ 0,0009[0] + 0,0729[40]+ 0,0162[40]+ 0,0009[0]+0,0081[0]+ 0,0018[0]+ 0,0001[0]) • (0,81[100] + 0,09[60] +0,09[40]+0,01[0])=*

*=(0,6561[100]+0,1458[70]+0,0891[60]+0,0891[40]+0,0199[0]) • (0,81[100]+0,09[60] +0,09[40]+0,01[0]) =0,6561•0,81[min{100;100}]+ 0,6561•0,09[min{100;60}] + 0,6561•0,09[min{100;40}] + 0,6561•0,01[min{100;0}] +0,1458•0,81[min{70;100}]+ 0,1458•0,09[min{70;60}] + 0,1458•0,09[min{70;40}] + 0,1458•0,01[min{70;0}]+ 0,0891•0,81[min{60;100}]+ 0,0891•0,09[min{60;60}] + 0,0891•0,09[min{60;40}] + 0,0891•0,01[min{60;0}]+ 0,0891•0,81[min{40;100}]+ 0,0891•0,09[min{40;60}] +0,0891•0,09[min{40;40}] + 0,0891•0,01[min{40;0}]+ 0,0199•0,81[min{0;100}]+ 0,0199•0,09[min{0;60}] + 0,0199•0,09[min{0;40}] + 0,0199•0,01[min{0;0}] =*

*= 0,53144[100]+ 0,05905[60] + 0,05905[40] + 0,00656[0] + 0,1181[70]+ 0,01312[60] + 0,01312[40] + 0,00146[0]+ 0,07217[60]+ 0,00802[60] + 0,00802[40] + 0,00089[0]+ 0,07217[40]+ 0,00802[40] + 0,00802[40] + 0,00089[0]+ 0,01612[0]+ 0,00179[0] + 0,00179[0] + 0,0002[0]=*

*(складываем вероятности при одинаковой пропускной способности)*

*= 0,53144[100]+ 0,1181[70]+0,15236[60]+0,1684[40]+0,0297[0] =1.*

*S(Z)* *=β1( α х4 ) =(0,53144[100]+ 0,1181[70]+0,15236[60]+0,1684[40] + 0,0297[0]) •(0,95[90]+ 0,05[0]) =*

*=0,53144•0,95[100+90] + 0,53144•0,05[100+0]+ 0,1181•0,95[70+90] + 0,1181•0,05[70+0] + 0,15236•0,95[60+90] + 0,15236•0,05[60+0] + 0,1684•0,95[40+90] + 0,1684•0,05[40+0] + 0,0297•0,95[0+90] + 0,0297•0,05[0+0]=*

*= 0,50487[190] + 0,02657[100]+ 0,11219[160] + 0,00591[70] + 0,14474[150] + 0,00762[60] + 0,15998[130] + 0,00842[40] + 0,02822[90] + 0,00148[0].*

Из полученного выше выражения результирующая вероятность работоспособного состояния установки при расчетной нагрузке *Psr [Z≥70]* будет равна *0,98248*, что соответствует заданному нормативному уровню.

**Экономическая оценка и корректировка варианта**

Удельная стоимость выбранного резервного элемента типа А равна *c1* = 8 тыс.руб./ед., поэтому затраты на резервирование

З*r* = *c* *Z r = 8 ∙70 = 560* тыс.руб.

Окончательно результаты расчетов и схема с выбранным вариантом резервирования представлены в табл. 4. и на рис. 3.

Таблица 4.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры системы с резервированием | | | | | | | |
| Номер и обозначение элемента xi | *x1* | *x2* | *x3* | *x4* | *x5* | *x6* | ***xr*** |
| Тип элемента | В | В | A | С | В | В | **А** |
| Вероятность работоспособного  состояния *pi* | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.95 | 0.9 | 0.9 | **0,9** |
| Пропускная способность *Zi* | 40 | 60 | 70 | 90 | 40 | 60 | **70** |
| Результирующая вероятность работоспособного состояния установки при расчетной нагрузке 70 ед. = ***0,98248*** | | | | | | | |
| Затраты на резервирование ***560***тыс.руб. | | | | | | | |

**Заключение**

В курсовой работе были показаны методы исследования и обеспечения надежности технических систем и получение практических навыков в определении отдельных показателей надежности применительно к устройствам электроснабжения. Нами использовался аналитический метод расчета сложного технического объекта и методика выбора резерва для обеспечения заданного уровня надежности системы с учетом экономических критериев.

# Литература

1. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог: учебник для ВУЗов ж\д транспорта / А.В. Ефимов, А.Г. Галкин.- М: УМК МПС России, 2000. - 512с.

2. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем: учебное пособие для электроэнергетических специальностей вузов.- М.: Высшая школа, 1984. – 256с.

3. Ковалев Г.Ф. Надежность и диагностика технических систем: задание на контрольную работу №2 с методическими указаниями для студентов IV курса специальности «Электроснабжение железнодорожного транспорта». – Иркутск: ИРИИТ, СЭИ СО РАН, 2000. -15с.

4. Дубицкий М.А. Надежность систем энергоснабжения: методическая разработка с заданием на контрольную работу. – Иркутск: ИрИИТ, ИПИ, СЭИ СО РАН, 1990. -34с.

5. Пышкин А.А. Надежность систем электроснабжения электрических железных дорог. – Екатеринбург: УЭМИИТ, 1993. - 120 с.

6. Шаманов В.И. Надежность систем железнодорожной автоматики и телемеханики: учебное пособие. Иркутск: ИрИИТ, 1999. 223с.

7. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. - Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отд., 1988. – 224с.

8. Маквардт Г.Г. Применение теории вероятностей и вычислительной техники в системе энергоснабжения.- М.: Транспорт, 1972. - 224с.

9. Надежность систем энергетики. Терминология: сборник рекомендуемых терминов. - М.: Наука, 1964. -Вып. 95. – 44с.