

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

Кафедра системного анализа и управления в медицинских системах

119-2016

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 2-4
по дисциплине «Проверка, безопасность и надежность
медицинской техники» для студентов направления
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
(профиль «Биотехнические и медицинские аппараты и системы»)
очной формы обучения



Воронеж 2016

Составители: канд. техн. наук Е.И. Новикова
д-р техн. наук Е.Н. Коровин

УДК 681.3

Методические указания к выполнению лабораторных работ № 2-4 по дисциплине «Поверка, безопасность и надежность медицинской техники» для студентов направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» (профиль «Биотехнические и медицинские аппараты и системы») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е.И. Новикова, Е.Н. Коровин. Воронеж, 2016. 23 с.

Методические указания предназначены для подготовки, выполнения и защиты лабораторных работ «Повышение надежности систем» и «Расчет надежности невосстанавливаемых систем» по дисциплине «Поверка, безопасность и надежность медицинской техники».

Табл. 4. Ил. 8. Библиогр.: 2 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. И.Я. Львович

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. О.В. Родионов

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2016

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ № 2, 3 ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторных работ № 2, 3 является приобретение навыков по повышению надежности систем.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны:

- 1) уметь обеспечивать увеличение γ -процентной наработки системы за счет повышать надежность элементов
- 2) обеспечивать увеличение γ -процентной наработки системы за счет структурного резервирования элементов системы.

2. СОСТАВ ИСПОЛЪЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Используемые программно-аппаратные средства: персональное ЭВМ класса IBM PC стандартной конфигурации, пакет MathCad.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

3.1. Методы повышения надежности

Расчетные зависимости для определения основных характеристик надежности системы показывают, что надежность системы зависит от ее структуры (структурно-логической схемы) и надежности элементов. Поэтому для сложных систем возможны два пути повышения надежности: повышение надежности элементов и изменение структурной схемы.

Повышение надежности элементов на первый взгляд представляется наиболее простым приемом повышения надежности системы. Действительно, теоретически всегда можно указать такие характеристики надежности элементов, чтобы вероятность безотказной работы системы удовлетворяла заданным требованиям. Однако практическая

реализация такой высокой надежности элементов может оказаться невозможной. Рассмотрение методов обеспечения надежности элементов системы является предметом специальных технологических и физико-химических дисциплин и выходит за рамки теории надежности. Однако, в любом случае, высоконадежные элементы, как правило, имеют большие габариты, массу и стоимость. Исключение составляет использование более совершенной элементной базы, реализуемой на принципиально новых физических и технологических принципах.

Изменение структуры системы с целью повышения надежности подразумевает два аспекта.

С одной стороны, это означает перестройку конструктивной или функциональной схемы системы (структуры связей между составными элементами), изменение принципов функционирования отдельных частей системы (например, переход от аналоговой обработки сигналов к цифровой). Такого рода преобразования системы возможны достаточно редко, так что этот прием, в общем, не решает проблемы надежности.

С другой стороны, изменение структуры понимается как введение в систему дополнительных, избыточных элементов, включающихся в работу при отказе основных. Применение дополнительных средств и возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов называется *резервированием*.

Принцип резервирования подобен рассмотренному ранее параллельному соединению элементов и соединению типа «*n* из *m*», где за счет избыточности возможно обеспечение более высокой надежности системы, чем ее элементов.

Выделяют несколько видов резервирования (временное, информационное, функциональное и др.). Для анализа структурной надежности системы интерес представляет *структурное резервирование* - введение в структуру объекта дополнительных элементов, выполняющих функции основных элементов в случае их отказа.

Классификация различных способов структурного резервирования осуществляется по следующим признакам:

1) по схеме включения резерва:

- общее резервирование, при котором резервируется объект в целом;

- раздельное резервирование, при котором резервируются отдельные элементы или их группы;

- смешанное резервирование, при котором различные виды резервирования сочетаются в одном объекте;

2) по способу включения резерва:

- постоянное резервирование, без перестройки структуры объекта при возникновении отказа его элемента;

- динамическое резервирование, при котором при отказе элемента происходит перестройка структуры схемы. В свою очередь подразделяется на:

а) резервирование замещением, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного;

б) скользящее резервирование, при котором несколько основных элементов резервируется одним или несколькими резервными, каждый из которых может заменить любой основной (т.е. группы основных и резервных элементов идентичны);

3) по состоянию резерва:

- нагруженное резервирование, при котором резервные элементы (или один из них) находятся в режиме основного элемента;

- облегченное резервирование, при котором резервные элементы (по крайней мере один из них) находятся в менее нагруженном режиме по сравнению с основными;

- ненагруженное резервирование, при котором резервные элементы до начала выполнения ими функций находятся в ненагруженном режиме.

Основной характеристикой структурного резервирования является *кратность резервирования* - отношение числа резервных эле-

ментов к числу резервируемых ими основных элементов, выраженное несокращаемой дробью (типа 2:3; 4:2 и т.д.). Резервирование одного основного элемента одним резервным (т.е. с кратностью 1:1) называется дублированием.

Количественно повышение надежности системы в результате резервирования или применения высоконадежных элементов можно оценить по коэффициенту выигрыша надежности, определяемому как отношение показателя надежности до и после преобразования системы. Например, для системы из n последовательно соединенных элементов после резервирования одного из элементов (k -го) аналогичным по надежности элементом коэффициент выигрыша надежности по вероятности безотказной работы составит:

$$G_p = \frac{p'}{p} = \frac{p_1 p_2 \dots p_{k-1} [1 - (1 - p_k)^2] p_{k+1} \dots p_n}{p_1 p_2 \dots p_{k-1} p_k p_{k+1} \dots p_n} = \frac{1 - (1 - p_k)^2}{p_k} = 2 - p_k \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что эффективность резервирования (или другого приема повышения надежности) тем больше, чем меньше надежность резервируемого элемента (при $p_k = 0.9$ $G_p = 1.1$, при $p_k = 0.5$ $G_p = 1.5$). Следовательно, при структурном резервировании максимального эффекта можно добиться при резервировании самых ненадежных элементов (или групп элементов).

В общем случае при выборе элемента (или группы элементов) для повышения надежности или резервирования необходимо исходить из условия обеспечения при этом максимального эффекта.

В более сложных случаях для выбора элементов, подлежащих изменению, используются как аналитические, так и численные методы оптимизации надежности.

3.2. Расчет надежности систем с резервированием

Расчет количественных характеристик надежности систем с резервированием отдельных элементов или групп элементов во многом определяется видом резервирования. Ниже рассматриваются схемы расчетов для самых распространенных случаев простого резервирования, к которым путем преобразований может быть приведена и структура смешанного резервирования. При этом расчетные зависимости получены без учета надежности переключающих устройств, обеспечивающих перераспределение нагрузки между основными и резервными элементами (т.е. для "идеальных" переключателей). В реальных условиях введение переключателей в структурную схему необходимо учитывать и в расчете надежности систем.

Расчет систем с *нагруженным резервированием* осуществляется по формулам последовательного и параллельного соединения элементов аналогично расчету комбинированных систем. При этом считается, что резервные элементы работают в режиме основных как до, так и после их отказа, поэтому надежность резервных элементов не зависит от момента их перехода из резервного состояния в основное и равна надежности основных элементов.

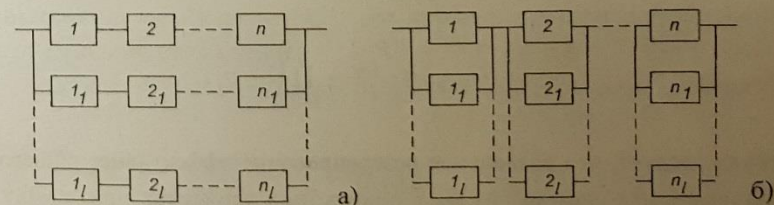


Рис. 1. Нагруженное резервирование: а) общее; б) раздельное

Для системы с последовательным соединением n элементов при общем резервировании с кратностью l (рис. 1, а)

$$P_{об} = 1 - (1 - P)^{l+1} = 1 - (1 - \prod_{i=1}^n p_i)^{l+1}. \quad (2)$$

В частности, при дублировании ($l=1$)

$$P_{об} = 1 - (1 - P)^2 = P(2 - P). \quad (3)$$

При раздельном резервировании (рис. 1, б)

$$P_{раз} = \prod_{i=1}^n [1 - (1 - p_i)^{l+1}], \quad (4)$$

а при раздельном дублировании ($l=1$)

$$P_{раз} = \prod_{i=1}^n [1 - (1 - p_i)^2] = \prod_{i=1}^n p_i (2 - p_i) = P \prod_{i=1}^n (2 - p_i) \quad (5)$$

Тогда коэффициенты выигрыша надежности по вероятности безотказной работы при дублировании

$$G_{об} = \frac{P_{об}}{P} = 2 - P, \quad (6)$$

$$G_{раз} = \frac{P_{раз}}{P} = \prod_{i=1}^n (2 - p_i)$$

откуда следует, что раздельное резервирование эффективнее общего (например, для системы из трех одинаковых элементов при $p = 0.9$ $G_{об} = 1.27$, $G_{раз} = 1.33$).

При ненагруженном резервировании резервные элементы последовательно включаются в работу при отказе основного, затем первого резервного и т.д. (рис. 2), поэтому надежность резервных элементов зависит от момента их перехода в основное состояние. Такое резервирование

в различных системах встречается наиболее часто, т.к. оно, по сути аналогично замене отказавших элементов и узлов на запасные.

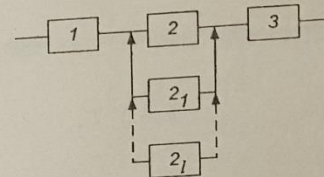


Рис. 2. Ненагруженное резервирование

Если резервные элементы до их включения абсолютно надежны, то для системы с ненагруженным резервированием кратности l (всего элементов $l+1$)

$$Q = \frac{1}{(l+1)!} \prod_{i=1}^{l+1} q_i; \quad (7)$$

$$P = 1 - \frac{1}{(l+1)!} \prod_{i=1}^{l+1} (1 - p_i),$$

т.е. вероятность отказа в $(l+1)!$ раз меньше, чем при нагруженном (параллельном) соединении.

Для идентичных по надежности основного и резервного элементов

$$P = 1 - \frac{1}{(l+1)!} (1 - p)^{l+1}. \quad (8)$$

При экспоненциальном распределении наработки (простейшем потоке отказов) в случае $\lambda t \ll 1$ можно воспользоваться приближенной формулой:

$$P \approx 1 - \frac{(\lambda t)^{l+1}}{(l+1)!} \quad (9)$$

При ненагруженном резервировании средняя наработка на отказ

$$T = \sum_{i=1}^{l+1} T_{0i} \quad (10)$$

а для идентичных элементов $T_0 = nT_{0i}$.

Облегченное резервирование используется при большой инерционности переходных процессов, происходящих в элементе при его переходе из резервного в основной режим, и нецелесообразности применения нагруженного резервирования из-за недостаточного выигрыша в надежности. Очевидно, облегченный резерв занимает промежуточное положение между нагруженным и ненагруженным.

Точные выражения для расчета надежности систем при облегченном резервировании весьма громоздки и неоднозначны, однако при экспоненциальном распределении наработки справедлива приближенная формула:

$$P = \frac{1}{(l+1)!} \lambda (\lambda + \lambda_0) (\lambda + 2\lambda_0) \dots [\lambda + l\lambda_0] \cdot t^{l+1} = \quad (11)$$

$$= \frac{t^{l+1}}{(l+1)!} \prod_{i=0}^l (\lambda + i\lambda_0),$$

где λ_0 - интенсивность отказов элементов в облегченном режиме,

l - кратность резервирования.

Скольльзящее резервирование используется для резервирования нескольких одинаковых элементов системы одним или несколькими одинаковыми резервными (рис. 3, здесь все элементы идентичны, а элемент 4 - избыточный). Очевидно, отказ системы произойдет, если

из общего количества идентичных элементов (основных и резервных) число отказавших превышает число резервных.

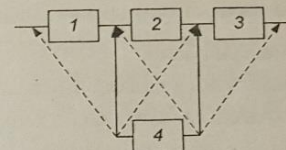


Рис. 3. Скользящее резервирование

Расчет вероятности безотказной работы систем со скользящим резервированием аналогичен расчету систем типа « m из n ».

4. ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ № 2, 3

По заданию требуется предложить способы увеличения γ - процентной наработки в 1.5 раза за счет повышения надежности элементов и за счет структурного резервирования.

Предварительно следует определить элемент или квазиэлемент окончательно преобразованной схемы, повышение надежности которого даст максимальный эффект в отношении надежности всей системы. Выбор элемента может быть осуществлен по величине вероятности безотказной работы.

Для дальнейших действий необходимо вычислить требуемое улучшенное значение γ - процентной наработки T'_γ элементарным умножением T_γ на 1.5. Следовательно, чтобы удовлетворить заданию в отношении повышения надежности системы, необходимо обеспечить вероятность безотказной работы $P = P_\gamma$ за время $t = T'_\gamma = T_\gamma * 1.5$. Теперь следует повторить расчет надежности элементов, квазиэлементов и всей системы за время T'_γ и дополнить этим столбцом предыдущую

таблицу. Зная вероятности безотказной работы всех элементов преобразованной схемы и требуемое значение P_γ , легко определить, какую вероятность безотказной работы P' за время T'_γ должен иметь квазиэлемент, избранный для модернизации.

По первому варианту модернизации необходимо определить интенсивности отказов элементов, входящих в данный квазиэлемент, при которых при неизменной структуре квазиэлемента обеспечивалось бы необходимое значение $P'(T'_\gamma)$. Проще это осуществить графоаналитическим методом, задавая ряд пропорционально уменьшенных (по сравнению с исходной) интенсивностей отказов для составляющих квазиэлемента и просчитывая каждый раз величину $P'(T'_\gamma)$. Из построенного по этим данным графика можно определить необходимую кратность снижения интенсивности отказов элементов и сами значения интенсивности. Для найденного решения следует выполнить проверочный расчет вероятности безотказной работы системы за время T'_γ .

По второму методу надежность выбранного квазиэлемента можно повысить за счет резервирования без изменения надежности составляющих элементов. При этом, основываясь на рекомендациях, учитывая структуру модернизируемого квазиэлемента, нужно выбрать, какие его составляющие элементы, и как их следует резервировать для достижения наибольшего эффекта. Далее остается определить необходимую кратность резервирования ℓ . Поскольку ℓ есть величина дискретная, аналитически ее определить невозможно. Для решения задачи нужно последовательно увеличивать кратность резервирования, начиная с единицы, определять величину вероятности безотказной работы квазиэлемента в течение времени T'_γ . Как только необходимое значение $P'(T'_\gamma)$ будет обеспечено, окажется реализованным второй метод повышения надежности системы. Для найденного решения также необходимо провести проверку вероятности безотказной работы

системы за время T'_γ . Модернизованную структуру с резервированием следует привести в отчете.

Для построения зависимостей вероятностей безотказной работы от времени для модернизированной системы по первому и второму методу удобно дополнить ранее составленную таблицу соответствующими строками. Графики этих зависимостей следует изобразить совместно с кривой $P(t)$ исходной системы.

Полученное семейство кривых позволяет провести сравнение двух вариантов модернизации, которое следует привести в качестве вывода к лабораторным работам.

5. ПРИМЕР ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ

Структурная схема системы, приведенная в примере лабораторной работе № 1, представлена на рис. 4.

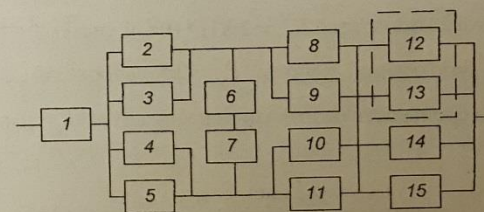


Рис. 4. Исходная схема системы

Значения интенсивности отказов элементов даны в 10^{-6} 1/ч:

$\lambda_1=0,001$; $\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=\lambda_5=0,1$; $\lambda_6=\lambda_7=0,01$; $\lambda_8=\lambda_9=\lambda_{10}=\lambda_{11}=0,2$; $\lambda_{12}=\lambda_{13}=\lambda_{14}=\lambda_{15}=0,5$; $\gamma=50\%$.

1. Проверочный расчет, проведенный в примере лабораторной работы № 1, при $t=1,8871 \cdot 10^6$ ч. показывает (табл. 1), что $P_\gamma=0.5$.

2. По условиям задания повышенная γ - процентная наработка системы $T_{\gamma}' = 1.5 \cdot 1.8871 \cdot 10^6 = 2.831 \cdot 10^6$ ч.

3. Расчет показывает (см. табл. 1), что при $t = 2.831 \cdot 10^6$ ч для элементов преобразованной схемы (рис. 5) $p_1 = 0.997$, $p_G = 0.961$ и $p_F = 0.25$. Следовательно, из трех последовательно соединенных элементов минимальное значение вероятности безотказной работы имеет элемент F (система «2 из 4» в исходной схеме (рис. 4)) и именно увеличение его надежности даст максимальное увеличение надежности системы в целом.

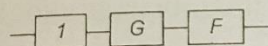


Рис. 5. Преобразованная схема

4. Для того чтобы при $T_{\gamma}' = 2.831 \cdot 10^6$ ч система в целом имела вероятность безотказной работы $P_{\gamma} = 0.5$, необходимо, чтобы элемент F имел вероятность безотказной работы (т.к. $P = p_1 p_G p_F$)

$$p_F = \frac{P_{\gamma}}{p_1 p_G} = \frac{0.5}{0.997 \cdot 0.961} = 0.522. \quad (12)$$

При этом значении элемент F останется самым ненадежным в схеме (рис. 5).

Очевидно, значение p_F (12), является минимальным для выполнения условия увеличения наработки не менее, чем в 1.5 раза, при более высоких значениях p_F увеличение надежности системы будет большим.

Таблица 1

Расчет вероятности безотказной работы системы

Элемент	$\lambda_{0i}, 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$	Наработка $t, 10^6 \text{ ч}$							
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,8871	2,831
I	0,001	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,998	0,997
2 - 5	0,1	0,951	0,904	0,860	0,818	0,778	0,740	0,827	0,752
6,7	0,01	0,995	0,990	0,985	0,980	0,975	0,970	0,981	0,971
8 - 11	0,2	0,904	0,818	0,740	0,670	0,606	0,548	0,683	0,565
12 - 15	0,5	0,778	0,606	0,472	0,367	0,286	0,223	0,386	0,240
A, B	-	0,997	0,990	0,980	0,967	0,951	0,932	0,970	0,938
C	-	0,990	0,980	0,970	0,960	0,951	0,941	0,962	0,944
D, E	-	0,990	0,967	0,932	0,891	0,845	0,796	0,900	0,811
F	-	0,963	0,828	0,645	0,468	0,324	0,217	0,501	0,245
G	-	0,992	0,988	0,986	0,982	0,973	0,958	0,983	0,959
P	-	0,963	0,826	0,641	0,462	0,315	0,207	0,5	0,239
12' - 15'	0,325	0,851	0,714	0,616	0,525	0,447	0,380	0,542	0,399
F'	-	0,988	0,927	0,839	0,724	0,604	0,491	0,748	0,522
PP	-	0,980	0,915	0,827	0,709	0,586	0,469	0,734	0,501
16 - 18	0,5	0,778	0,606	0,472	0,367	0,286	0,223	0,386	0,240
F''	-	0,999	0,982	0,917	0,795	0,641	0,485	0,823	0,531
PPP	-	0,991	0,970	0,903	0,779	0,622	0,464	0,807	0,515

5. Для определения минимально необходимой вероятности безотказной работы элементов 12 - 15 (рис. 4) необходимо решить уравнение (приведенного в лабораторной №1, см. уравнение (41))

$$p_F = 6p_{12}^2(1-p_{12})^2 + 4p_{12}^3(1-p_{12}) + p^4 \quad (13)$$

относительно p_{12} при $p_F = 0.522$. Однако, т.к. аналитическое выражение этого уравнения связано с определенными трудностями, более целесообразно использовать графоаналитический метод. Для этого по данным табл. строим график зависимости $p_F = f(p_{12})$. График представлен на рис. 6.

6. По графику при $p_F = 0.522$ находим $p_{12} \approx 0.398$.

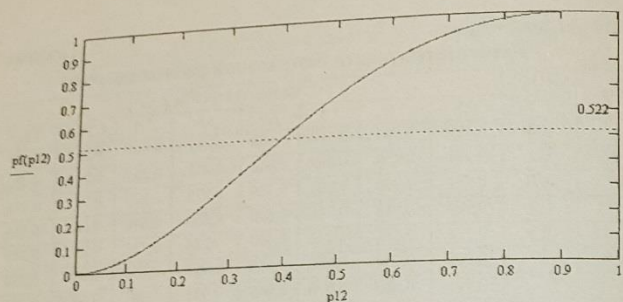


Рис. 6. Зависимость вероятности безотказной работы системы «2 из 4» от вероятности безотказной работы ее элементов

7. Так как по условиям задания все элементы работают в периоде нормальной эксплуатации и подчиняются экспоненциальному закону, то для элементов 12 - 15 при $t = 2.831 \cdot 10^6$ ч находим

$$\lambda'_{12} = \lambda'_{13} = \lambda'_{14} = \lambda'_{15} = -\frac{\ln p_{12}}{t} = -\frac{\ln 0.398}{2.831 \cdot 10^6} = 0.325 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}. \quad (14)$$

8. Таким образом, для увеличения γ - процентной наработки системы необходимо увеличить надежность элементов 12, 13, 14 и 15 и снизить интенсивность их отказов с $0.5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ до $0.325 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, т.е. в 1.538 раза.

9. Результаты расчетов для системы с увеличенной надежностью элементов 12, 13, 14 и 15 приведены в табл. 1. Там же приведены расчетные значения вероятности безотказной работы системы «2 из 4» F и системы в целом PP . При $t = 2.831 \cdot 10^6$ ч вероятность безотказной работы системы $PP = 0.5$, что соответствует условиям задания. График приведен на рис. 8.

10. Для второго способа увеличения вероятности безотказной работы системы - структурного резервирования - по тем же соображениям (см. п. 3) также выбираем элемент F , вероятность безотказной работы которого после резервирования должна быть не ниже $P_F^* = 0.522$ (12).

11. Для элемента F системы «2 из 4» резервирование означает увеличение общего числа элементов. Аналитически определить минимально необходимое количество элементов невозможно, т.к. число элементов должно быть целым и функция $P_F = f(n)$ дискретна.

12. Для повышения надежности системы «2 из 4» добавляем к ней элементы, идентичные по надежности исходным элементам 12 - 15, до тех пор, пока вероятность безотказной работы квазиэлемента F не достигнет заданного значения.

Для расчета воспользуемся комбинаторным методом:
- добавляем элемент 16, получаем систему «2 из 5»:

$$q_F = \sum_{k=0}^1 C_5^k p_{12}^k (1-p_{12})^{5-k} = C_5^0 (1-p_{12})^5 + C_5^1 p_{12} (1-p_{12})^4 = \\ = (1-p_{12})^5 + 5p_{12}(1-p_{12})^4 = 0.6528, \quad (15)$$

$$P_F = 1 - q_F = 1 - 0.6528 = 0.3472 < 0.522; \quad (16)$$

- добавляем элемент 17, получаем систему «2 из 6»:

$$q_F = \sum_{k=0}^1 C_6^k p_{12}^k (1-p_{12})^{6-k} = C_6^0 (1-p_{12})^6 + C_6^1 p_{12} (1-p_{12})^5 = \\ = (1-p_{12})^6 + 6p_{12}(1-p_{12})^5 = 0.5566, \quad (17)$$

$$p_F = 1 - q_F = 1 - 0.5566 = 0.4434 < 0.522; \quad (18)$$

- добавляем элемент 18, получаем систему «2 из 7»:

$$q_F = \sum_{k=0}^1 C_7^k p_{12}^k (1-p_{12})^{7-k} = C_7^0 (1-p_{12})^7 + C_7^1 p_{12} (1-p_{12})^6 =$$

$$= (1-p_{12})^7 + 7p_{12}(1-p_{12})^6 = 0.4689,$$

$$p_F = 1 - q_F = 1 - 0.4689 = 0.537 > 0.522. \quad (20)$$

13. Таким образом, для повышения надежности до требуемого уровня необходимо в исходной схеме (рис. 4) систему «2 из 4» построить элементами 16, 17 и 18 до системы «2 из 7» (рис. 7).

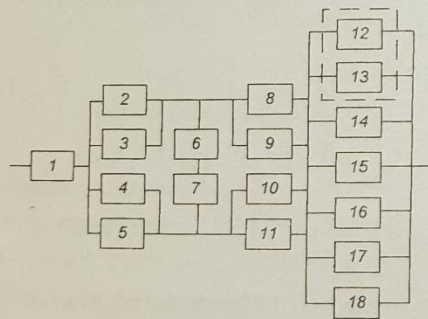


Рис. 7. Структурная схема системы после структурного резервирования

14. Результаты расчетов вероятностей безотказной работы системы «2 из 7» F'' и системы в целом PPP представлены в табл.

15. Расчеты показывают, что при $t = 2.831 \cdot 10^6$ ч $PPP = 0.515 > 0.5$, что соответствует условию задания.

16. На рис. 8 нанесены кривые зависимостей вероятности безотказной работы системы после повышения надежности элементов 12 - 15 (кривая PP) и после структурного резервирования (кривая PPP).

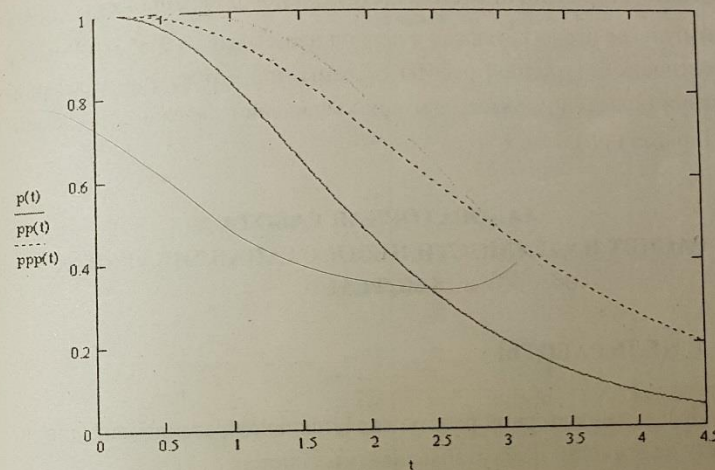


Рис. 8. Вероятность безотказной работы исходной системы P , системы с повышенной надежностью PP и системы со структурным резервированием элементов PPP ($t \cdot 10^6$)

Вывод:

1. Для повышения надежности исходной системы и увеличения 50 % - наработки системы в 1.5 раза (до $2.831 \cdot 10^6$ часов) предложены два способа:

а) повышение надежности элементов 12, 13, 14 и 15 и уменьшение их отказов с $0.5 \cdot 10^{-6}$ ч⁻¹ до $0.325 \cdot 10^{-6}$ ч⁻¹;

б) нагруженное резервирование основных элементов 12, 13, 14 и 15 идентичными по надежности резервными элементами 16, 17 и 18 (рис. 7).

2. Анализ зависимостей вероятности безотказной работы системы от времени (наработки) (рис. 8) показывает, что второй способ повышения надежности системы (структурное резервирование) предпочтительнее первого, так как в период наработки до $2.831 \cdot 10^6$ часов вероятность безотказной работы системы при структурном резервировании (кривая РР) выше, чем при увеличении надежности элементов (кривая РРР).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является приобретение навыков по расчету надежности невосстанавливаемых систем.

2. ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4

Задание 1. Система состоит из трех последовательно соединенных блоков. Интенсивность отказов первого блока равна $\lambda_1 = a \cdot 10^{-3}$ 1/час. Интенсивности отказов двух остальных блоков зависят от времени и определяются формулами $\lambda_2 = b \cdot 10^{-4} t^\alpha$ 1/час, $\lambda_3 = c \cdot 10^{-4} t^\beta$ 1/час.

Рассчитать вероятность безотказной работы системы в течение $t = \tilde{t}$ час.

Найти значения времени t , при которых происходит отказ системы, а также интенсивность отказов ее элементов, которая приводит к отказу.

Таблица 2

№ варианта	a	b	c	α	β	$\tilde{t}$	№ варианта	a	b	c	α	β	$\tilde{t}$
1.	0,21	0,13	0,2	1	2,6	100	21.	0,02	0,22	0,3	1	1	120
2.	0,32	0,12	0,3	1	3	200	22.	0,21	0,03	0,2	1,2	2,4	150
3.	0,74	0,01	0,1	1,2	1	150	23.	0,02	0,22	0,3	2	1	120
4.	0,11	0,23	0,2	1	2,4	120	24.	0,14	0,31	0,14	3,5	1	140
5.	0,04	0,11	0,1	2	1	140	25.	0,03	0,65	0,82	1,2	3,1	300
6.	0,42	0,02	0,32	2,2	1,3	300	26.	0,31	0,03	0,2	2,6	4,3	250
7.	0,21	0,13	0,2	0,5	0,5	250	27.	0,54	0,31	0,1	1	3	100
8.	0,14	0,01	0,1	1	0,5	200	28.	0,12	0,22	0,3	1,5	2	200
9.	0,21	0,13	0,2	1	2,6	100	29.	0,02	0,22	0,3	1	1	120
10.	0,32	0,12	0,3	1	3	200	30.	0,21	0,03	0,2	1,2	2,4	150
11.	0,74	0,01	0,1	1,2	1	150	31.	0,02	0,22	0,3	2	1	120
12.	0,11	0,23	0,2	1	2,4	120	32.	0,14	0,31	0,14	3,5	1	140
13.	0,04	0,11	0,1	2	1	140	33.	0,03	0,65	0,82	1,2	3,1	300
14.	0,42	0,02	0,32	2,2	1,3	300	34.	0,31	0,03	0,2	2,6	4,3	250
15.	0,21	0,13	0,2	0,5	0,5	250	35.	0,54	0,31	0,1	1	3	100
16.	0,14	0,01	0,1	1	0,5	200	36.	0,12	0,22	0,3	1,5	2	200
17.	0,04	0,11	0,1	2	1	140	37.	0,03	0,65	0,82	1,2	3,1	300
18.	0,42	0,02	0,32	2,2	1,3	300	38.	0,31	0,03	0,2	2,6	4,3	250
19.	0,21	0,13	0,2	0,5	0,5	250	39.	0,54	0,31	0,1	1	3	100
20.	0,14	0,01	0,1	1	0,5	200	40.	0,12	0,22	0,3	1,5	2	200

Вероятность безотказной работы $P_c(t)$ и интенсивность отказов $\lambda_c(t)$ системы состоящей из n последовательных элементов за время t определяются формулами

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(t) dt\right),$$

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t),$$
(21)

где $\lambda_i(t)$ - интенсивности отказов элементов системы.

Задание 2. Система состоит из n равнонадежных элементов, среднее время безотказной работы элемента $T_1 = \tilde{T}$ час. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности для элементов системы, и основная и резервная системы равнонадежны.

Таблица 3

№	n	$\tilde{T}$	$\tilde{t}$	m	№	n	$\tilde{T}$	$\tilde{t}$	m
1.	10	1000	40	2	21.	18	2000	40	4
2.	12	800	30	3	22.	14	700	30	2
3.	8	1200	20	4	23.	17	1500	80	2
4.	11	900	30	2	24.	20	1800	140	3
5.	10	1000	40	2	25.	18	2000	40	4
6.	12	800	30	3	26.	14	700	30	2
7.	8	1200	20	4	27.	17	1500	80	2
8.	11	900	30	2	28.	20	1800	140	3
9.	10	1000	40	2	29.	18	2000	40	4
10.	12	800	30	3	30.	14	700	30	2
11.	15	500	20	2	31.	10	1000	40	2
12.	16	600	30	3	32.	12	800	30	3
13.	7	400	120	2	33.	8	1200	20	4
14.	9	700	40	3	34.	11	900	30	2
15.	15	500	20	2	35.	10	1000	40	2
16.	16	600	30	3	36.	12	800	30	3
17.	7	400	120	2	37.	8	1200	20	4
18.	9	700	40	3	38.	11	900	30	2
19.	15	500	20	2	39.	10	1000	40	2
20.	16	600	30	3	40.	12	800	30	3

Необходимо найти для отдельного элемента и системы в целом без резервирования и с общим и отдельным резервированием: среднее время безотказной работы T_1 , частоту отказов $f(t)$ и интенсивность отказов $\lambda_c(t)$ в момент времени $t = \tilde{t}$ час. Построить графики безотказной работы элемента и системы в отсутствие резервирования и в случае резервирования.

При экспоненциальном законе, характеристики надежности элемента системы определяются соотношениями

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \lambda(t) = \lambda = \text{const}, \quad T_1 = \frac{1}{\lambda}.$$

Задание 3. Электронная вычислительная машина состоит из n однотипных ячеек и сконструирована так, что есть возможность заменить любую из отказавших ячеек. В составе ЗИП имеется m_0 ячеек, каждая из которых может заменить любую отказавшую. Интенсивность отказа ячейки $\lambda = a \cdot 10^{-6}$ 1/час.

Таблица 4

№	a	n	m ₀	№	a	N	m ₀	№	a	n	m ₀
1.	0,12	1000	4	15.	0,34	1024	2	29.	0,23	600	3
2.	0,22	800	3	16.	0,54	500	2	30.	0,42	400	2
3.	0,34	1024	2	17.	0,23	600	3	31.	0,38	2024	4
4.	0,14	900	3	18.	0,42	400	2	32.	0,26	700	3
5.	0,11	4096	6	19.	0,37	700	4	33.	0,15	612	3
6.	0,36	3072	5	20.	0,44	2000	5	34.	0,18	300	2
7.	0,12	1000	4	21.	0,52	1500	4	35.	0,14	900	3
8.	0,22	800	3	22.	0,54	500	2	36.	0,12	1000	4
9.	0,34	1024	2	23.	0,23	600	3	37.	0,38	2024	4
10.	0,14	900	3	24.	0,42	400	2	38.	0,26	700	3
11.	0,11	4096	6	25.	0,37	700	4	39.	0,15	612	3
12.	0,36	3072	5	26.	0,44	2000	5	40.	0,18	300	2
13.	0,12	1000	4	27.	0,52	1500	4				
14.	0,22	800	3	28.	0,54	500	2				

Определить вероятность безотказной работы ЭВМ $P_c(t)$, среднее время безотказной работы T_{10} , частоту отказов $f_c(t)$, интенсивность отказов $\lambda_c(t)$.

Построить графики распределения $P_c(t)$, $\lambda_c(t)$, $f_c(t)$.

Под отказом будем понимать событие, когда ЭВМ не может работать из-за отсутствия ЗИПа, т.е. когда весь ЗИП израсходован и отказала еще одна ячейка памяти ЭВМ. Предполагается экспоненциальный закон надежности.

Методические указания. Так как любая ячейка из состава ЗИПа может заменить любую отказавшую ячейку ЭВМ, то имеет место «скользящее» резервирование. Вероятность безотказной работы резервированной системы, при экспоненциальном законе надежности, определяется соотношением

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^{m_0} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!},$$

где $\lambda_0 = \lambda \cdot n$ - интенсивность отказов нерезервированной системы,

λ - интенсивность отказа элемента,

n - число элементов основной системы;

m_0 - число резервных элементов, находящихся в ненагруженном резерве.

Кратность резервирования: $m = m_0 / n$.

Среднее время безотказной работы резервированной системы определяется формулой

$$T_{1p} = T_{10}(m_0 + 1),$$

где $T_{10} = \frac{1}{\lambda_0}$ - среднее время безотказной работы нерезервированной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Муратова О.И. Основы надежности информационных систем: учеб. пособие. / О.И. Муратова, Е.И. Новикова, О.В. Родионов Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009.
2. Методические указания к выполнению лабораторной работы № 1 «Расчет структурной надежности системы» по дисциплине «Проверка, безопасность и надежность медицинской техники» для студентов направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» (профиль «Биотехнические и медицинские аппараты и системы») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е.Н. Коровин, Е.И. Новикова. Воронеж, 2016. 34 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторные работы № 2, 3	1
1. Цель работы	1
2. Состав используемого оборудования	1
3. Теоретическое введение	1
4. Задание к лабораторным работам № 2, 3	9
5. Пример повышения надежности системы	11
Лабораторная работа № 4	18
1. Цель работы	18
2. Задание к лабораторной работе № 4	18
Библиографический список	23

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 2-4
по дисциплине «Поверка, безопасность и надежность
медицинской техники» для студентов направления
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
(профиль «Биотехнические и медицинские аппараты и системы»)
очной формы обучения

Составители:

Новикова Екатерина Ивановна

Коровин Евгений Николаевич

В авторской редакции

Подписано в печать 10.06.2016.

Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 1,6. Уч.-изд. л. 1,4. Тираж 24 экз. «С» 42.

Зак. № 89

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14