ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ НА СЕТЯХ СВЯЗИ

4.1 Цель работы

Изучить методы резервирования на сетях связи.

4.2 Общие сведения

Надежность – это свойство системы (элемента) выполнить заданные функции при определенных условиях эксплуатации. Для реализации системой (элементом) своих функций с требуемым качеством необходимо, чтобы их основные параметры не выходили за установленные пределы. К основным параметрам относятся те количественные показатели, которые определяют выполнение рабочих функций. Иногда для большей определенности и конкретизации различают следующие разновидности надежности: эксплуатационную и техническую (номинальную).

Под эксплуатационной надежностью понимается надежность, определяемая в реальных условиях эксплуатации с учетом комплексного воздействия внешних и внутренних факторов, связанных с климатическими и географическими особенностями эксплуатации, реальными режимами работы системы и условиями ее обслуживания.

Под технической (номинальной) надежностью понимается надежность, определяемая путем испытания в заводских условиях при работе аппаратуры в соответствии с типовыми режимами, оговоренными в технических условиях.

Количественные характеристики надежности описываются показателями. Показатель надежности – это мера, посредством которой производится количественная оценка. Численное значение какого-либо показателя для конкретной системы иногда называют параметром надежности. К параметрам надежности предъявляются следующие основные требования:

– максимальный учет факторов, определяющих надежность аппаратуры;

– возможность использования показателей при инженерных расчетах надежности;

– возможность задания показателей надежности в качестве технических параметров проектируемой аппаратуры;

– удобство и быстрота практической проверки показателей в процессе эксплуатации или специальных испытаний.

Для полной количественной характеристики основных сторон надежности используются различные показатели, которые удобно разделить на несколько групп.

К показателям безотказности относятся: вероятность безотказной работы; частота отказов; интенсивность отказов; среднее время безотказной работы; наработка на отказ (среднее время работы между отказами).

Первые четыре показателя используются главным образом для оценки надежности невосстанавливаемых изделий. Однако они могут применяться и при оценке надежности восстанавливаемых изделий до появления первого отказа. Пятый показатель имеет смысл только по отношению к восстанавливаемым изделиям.

Показателями восстанавливаемости являются: вероятность восстановления; среднее время восстановления; интенсивность восстановления.

Показателями технического обслуживания являются: вероятность обслуживания; среднее время обслуживания.

К эксплуатационным коэффициентам надежности относятся: коэффициент использования или коэффициент исправного действия $К_И$; коэффициенты готовности $К_Г$ и оперативной готовности $К_{ОГ}$, а также коэффициенты простоя и стоимости эксплуатации.

Рассмотрим наиболее важные показатели надежности и выясним связь между ними.

Одним из распространенных количественных показателей надежности является вероятность безотказной работы элемента $p(t)$ или системы $P(t)$ за определенный промежуток времени. Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что за заданный интервал времени не произойдет ни одного отказа.

Вероятность безотказной работы элемента можно представить, как вероятность того, что время исправной работы будет больше некоторого заданного времени:

$$p(t) = P\{T > t\}$$

Практическая вероятность безотказной работы за некоторый промежуток времени может быть найдена по результатам испытаний элементов на надежность как отношение числа элементов, оставшихся исправными в конце рассматриваемого интервала времени t_i к начальному числу элементов, поставленных на испытание:

$$P_i^* = (N - n_i)/N \,,$$

где N - начальное число испытываемых элементов;
n_i - число отказавших элементов за время t_i.

При значительном числе испытываемых элементов статистическая вероятность P_i^* сходится по вероятности к $p(t)$.

Вероятность отказа элемента $q(t)$ связана с $p(t)$ соотношением

$$q(t) = 1 - p(t) = P\{T \le t\}.$$

Статистическое значение вероятности отказа равно отношению числа отказавших элементов за рассматриваемый промежуток времени к начальному числу испытываемых элементов:

$$q_i^* = 1 - p_i^* = n_i/N.$$

Для системы, состоящей из ряда последовательно соединенных элементов, вероятность безотказной работы может быть представлена в виде произведения вероятностей безотказной работы всех элементов:

$$P(t) = p_1(t)p_2(t) \dots p_N(t) = \prod_{i=1}^{N} p_i(t)$$

Под вероятностью отказа системы $\theta(t)$ понимается вероятность того, что за заданный интервал произойдет отказ, т. е. время исправной работы системы будет меньше заданного. Следовательно, по аналогии с вероятностью отказа элемента $\theta(t)$ является функцией распределения, или интегральным законом распределения времени исправной работы системы.

Так как система может находиться либо в исправном состоянии, либо в состоянии отказа, то сумма вероятностей безотказной работы $P(t)$ и повреждения $\theta(t)$ всегда равна единице. На основании этого вероятность отказа системы:

$$\theta(t) = 1 - P(t) = 1 - p_1(t)p_2(t) \dots p_N(t).$$

Выражая $\theta(t)$ через вероятность отказа элементов, получаем:

$$\theta(t) = 1 - [1 - q_1(t)][1 - q_2(t)] \dots [1 - q_N(t)].$$

Под частотой отказов понимают число отказов в единицу времени, отнесенное к первоначальному числу поставленных на испытание элементов. Если в процессе испытаний на надежность N элементов фиксировать число отказов Δn_i, происшедших в определенные, интервалы Δt_i, то частота отказов в данный промежуток времени определится как:

$$f_i^* = \Delta n_i / N \Delta t_i.$$

Показателем, наиболее полно характеризующим надежность невосстанавливаемых элементов, является интенсивность отказов $\lambda(t)$. В отличие от частоты отказов $f(t)$ этот показатель характеризует степень надежности элемента в каждый данный момент времени, т. е. его локальную надежность. Введение этого показателя надежности оказалось целесообразным также и по соображениям удобства расчета надежности систем по известным значениям интенсивностей отказов элементов, так как получаемые при этом расчетные соотношения являются сравнительно простыми и удобными для инженерной практики.

Под интенсивностью отказов понимают число отказов в единицу времени, отнесенных к числу элементов, оставшихся исправными к началу рассматриваемого промежутка времени. Как и частота отказов, эта характеристика надежности может быть получена из опытных данных и рассчитывается по формуле:

$$\lambda_i^* = \Delta n_i/(N - n_i \Delta t_i),$$

где Δn_i – число отказов за промежуток Δt_i;

N — начальное число элементов;

n_i – общее число отказавших элементов к началу рассматриваемого промежутка времени.

Зависимость λ_i^* от t представляет собой функцию интенсивности отказов $\lambda(t)$.

Интенсивность отказов связана однозначной зависимостью с частотой отказов и вероятностью безотказной работы:

$$\lambda(t)= f(t)\ p(t).$$

Под интенсивностью отказов восстанавливаемой системы, состоящей из разнородных по надежности элементов, будем понимать число отказов системы в единицу времени:

$$\Lambda(t)=\mathrm{n}/\Delta t.$$

Надежность однотипных систем и элементов с точки зрения продолжительности их работы до первого отказа можно оценивать средним временем безотказной работы, под которым понимается математическое ожидание времени исправной работы. Среднее время безотказной работы однотипных элементов определяется по данным испытаний элементов на надежность по формуле:

$$T_{\text{ср}}^* = \sum_{i=1}^{N} t_i/N,$$

где t_i - время исправной работы i-го элемента;

N - общее число испытываемых элементов.

Наработка на отказ – это среднее число часов работы между двумя соседними отказами. Таким образом, если аппаратура определенного типа проработала суммарное время T_p часов за определенный календарный срок и имела при этом n отказов в работе, то наработка на отказ рассчитывается по формуле:

$$T_0^* = T_p/n$$

Под восстанавливаемостью принято понимать свойство системы восстанавливать свою работоспособность после возникновения отказа с учетом качества обслуживания.

Количественную оценку восстанавливаемости можно оценить по следующим критериям: вероятности восстановления $v(t)$, среднему времени восстановления T_B и интенсивности восстановления $\mu(t)$, которые в математическом смысле аналогичны рассмотренным критериям надежности системы: $\theta(t)$, T_0 и $\Lambda(t)$.

Под вероятностью восстановления понимается вероятность того, что система будет восстановлена после отказа за заданное время и в определенных условиях ремонта. По аналогии с вероятностью отказа этот критерий можно представить как вероятность того, что случайное время восстановления системы T будет не больше заданного:

$$v(t) = P\{t \leq T\}.$$

Отсюда следует, что $v(t)$ – функция распределения, или интегральный закон распределения времени восстановления.

Среднее время восстановления T_B – это математическое ожидание случайной величины – времени восстановления. Если за определенный период эксплуатации аппаратуры произошло n отказов, то, просуммировав промежутки времени τ_i, затраченного на обнаружение и устранение отказов, и разделив эту сумму на число восстановлений, равное числу отказов, получим величину среднего времени восстановления:

$$T_B^* = \sum_{i=1}^{n} \tau_i / n$$

Под интенсивностью восстановлений системы понимается число восстановлений, произведенное в единицу времени. В случае экспоненциального закона распределения интенсивность восстановления статистически может быть определена как отношение числа восстановлений системы за некоторый период времени к суммарному времени восстановления за тот же период:

$$\mu^* = n / \sum_{i=1}^{n} \tau_i$$

Если известны структура оборудования системы передачи (СП), принципы его функционирования и восстановления работоспособности, то, задавшись определенными критериями отказа, все состояния оборудования можно разделить на два класса: работоспособное – использование только по назначению и неработоспособное, т. е. отказ или нахождение на плановом (неплановом) техническом обслуживании или ремонте и т. д. Если известны интенсивности отказов (λ), поступления оборудования на техническое обслуживание или ремонт (v_{TO}) и восстановления (μ_B), то нахождение оборудования в одном из состояний может быть охарактеризовано рядом показателей, основными из которых являются:

1) коэффициент готовности

$$К_Г = \frac{Т_0}{(Т_0+Т_В)} = \mu/(\mu+\lambda),$$

характеризующий вероятность исправного состояния оборудования в установившемся режиме эксплуатации;

2) коэффициент простоя

$$К_П = 1 - К_г = \frac{Т_В}{(Т_0+Т_В)} = \lambda/(\mu+\lambda);$$

3) коэффициент исправного действия

$$К_К = (Т_К - Т_П)/Т_К\,,$$

где $Т_К$ — календарный цикл эксплуатации оборудования;

$Т_П$ — суммарное время простоя оборудования СП, каналов и трактов за рассматриваемый период эксплуатации.

Вероятность пребывания оборудования СП, каналов и трактов в работоспособном состоянии, т. е. готовность его использования по функциональному назначению, определяется коэффициентом технического использования, под которым понимается отношение вида:

$$К_{ТИ} = \mu \cdot \mu_{ТО}/(\lambda \cdot \mu_{ТО} + \mu \cdot \mu_{ТО} + \mu \cdot \nu_{ТО}).$$

С учетом того, что $\mu = 1/T_B$, $\lambda = 1/T_0$, $\mu_{ТО} = 1/Т_{ТО}$, где $Т_{ТО}$ – период технического обслуживания или ремонта, $\nu_{ТО} = 1/\tau_0$, где τ_0 – время технического обслуживания или ремонта, приводится к виду:

$$К_{ТИ} = Т_0/[Т_0 + Т_В + Т_0(Т_0/\tau_{ТО})].$$

Сложные связные устройства, такие как линии связи, станции, комплексы, стойки, всегда можно представить в виде более мелких структурных подразделений (элементов): линии – в виде отдельных участков, станции – в виде отдельных стоек, стойки – в виде отдельных блоков и т.д.

В каждом объекте связи можно выделить элементы, работоспособность которых необходима для работоспособности объекта в целом. В общем случае элементы обладают различными надежностями и стоимостями. Очень часто надежность элементов такова, что надежность объекта в целом оказывается недостаточной. В этом случае применяется резервирование объекта в целом (общее резервирование) или отдельных элементов (поэлементное резервирование). При этом возникает задача нахождения количества и вида резервных элементов. Часто применяется стопроцентное резервирование всех элементов. Это означает, что резервируются и мало-, и высоконадежные , и дорогие, и дешевые элементы системы. Ясно, что средства, затрачиваемые на такое резервирование, будут использоваться не оптимально.

Целесообразнее в большем объеме резервировать малонадежные и дешевые элементы. Такое резервирование и реализуется при оптимизации структуры резерва, в результате которой обеспечивается требуемая надежность при минимальных затратах на резервные элементы ли наибольшая надежность при заданной величине затрат.

При решении задачи оптимизации резервирования введем следующие предположения:

1) Основной и заменяющий его резервный элемент однотипны, имеют одинаковую стоимость и надежность.
2) Переход на резерв осуществляется практически мгновенно и переключающие устройства абсолютно надежны или их надежность учтена в ненадежности самих элементов.

Надежность объектов характеризуется следующими показателями:

$r(t)$ – вероятность безотказной работы объекта (вероятность того, что объект, бывший работоспособным и начавший работать в момент $t = 0$, проработает безотказно до момента t);

$q(t)$ – вероятность отказов (вероятность того, что объект, работоспособный в момент $t = 0$, до момента времени t, откажет). Поскольку пребывание в состояниях отказа и работоспособности – события противоположные, то $r(t) = 1 - q(t)$.

Для оптимизации структуры резерва объект связи представляется схемой надежности (рис.1), в которой каждый из n блоков должен быть работоспособным для работоспособности всего объекта связи, причем предполагается, что для i-го блока известны его показатели надежности $r_i(t)$ или $q_i(t)$ и стоимость C_i.

Надежность нерезервированного объекта связи равна

$$R = \prod_{i=1}^{n} r_i(t) = \prod_{i=1}^{n} \big(1 - q_i(t)\big)$$

Если блоки объекта связи обладают очень высокой надежностью (что почти всегда выполняется), то $q_i \ll 1$ и надежность всего объекта R можно представить более простым выражением

$$R = \prod_{i=1}^{n} \big(1 - q_i(t)\big) \approx 1 - \sum_{i=1}^{n} q_i = 1 - Q\,, \qquad Q = \sum_{i=1}^{n} q_i\,,$$

где Q – ненадежность объекта связи.

Затраты C на весь объект равны сумме затрат на отдельные блоки

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i$$

Схема резервированного объекта связи состоит из групп: первый блок имеет ×1 резервных блоков, второй - × 2 и т.д.

i-ый рабочий блок и его × i резервных блоков образуют i-ю подсистему с надежностью $R_i(x_i)$ и стоимостью резерва $C_i(x_i)$.

Для работоспособности системы (объекта связи) необходимо, чтобы были работоспособны одновременно все подсистемы, т.е. последовательное соединение подсистем. Следовательно, надежность R системы

$$R = \prod_{i=1}^{n} R_i(x_i) \,,$$

а стоимость C резерва (без учета стоимости рабочих блоков)

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i(x_i) = \sum_{i=1}^{n} C_i * x_i$$

Для работоспособности i-ой подсистемы необходимо, чтобы работал хотя бы один из $(x_i + 1)$ блоков этой подсистемы, что обозначается в схеме параллельным соединением блоков. Ненадежность $Q_i(x_i)$ i-ой подсистемы при этом оказывается равной

$$Q_{i(xi)} = q_i^{x_i+1} = (1 - r_i)^{x_i+1} \,,$$

а надежность

$$R_i(x_i) = 1 - Q_i(x_i) = 1 - (1 - r_i)^{x_i+1}$$

Задачи оптимизации структуры заключается в определении оптимального состава резерва, т.е. в нахождении совокупности неотрицательных чисел ×10, ×20, ×30, …, $\times n_0$, образующих оптимальный вектор X_0 состава резерва и характеризующих оптимальное количество резервных элементов для каждого рабочего блока.

При этом возможна прямая и обратная задачи оптимизации.

В первом случае задача заключается в том, чтобы найти такой состав X_0 резерва, при котором стоимость резерва минимальна и $R(X_0) \geq R_0$, где R_0 – требуемая величина надежности.

Обратная задача оптимизации заключается в нахождении такого состава резерва, при котором надежность системы $R(X_0)$ максимальна, а стоимость резерва равна заданной величине C_0.

Рассмотренные задачи оптимизации структуры резерва могут решаться различными способами. Наиболее простым методом оптимизации является метод перебора. Метод заключается в переборе всех возможных значений состава резерва и нахождении при этом соответствующих значений надежности системы и стоимости резерва. Этот метод прост по своей сути, дает точное решение, но чрезвычайно трудоемок и применим для решения только самых простых задач.

В настоящее время большее развитие и применение нашли методы оптимизации, основанные на применении ЭВМ, в частности градиентный метод.

Процесс оптимизации с использованием ЭВМ заключается в последовательном изменении количества резервных элементов в соответствии с определенным правилом, приводящим к получению требуемого оптимального состава резерва, причем используемое правило определяет направление или порядок перехода от одного резервируемого элемента к другому.

При градиентном методе движение производится в направлении градиента целевой функции, который характеризует эффективность каждого движения.

При любом методе оптимизация структуры резерва является процессом многошаговым. Шаг – это увеличение на единицу числа резервных элементов того или иного вида. В градиентном методе эффективность шага E оценивается удельным приращением надежности, т.е. отношением приращения надежности ΔR к приращению затрат ΔC:

$$F = \frac{\Delta R}{\Delta C}$$

Каждый раз делается такой шаг и при этом меняется число таких элементов, которые дают наибольшее значение отношения приращения надежности ΔR к приращению затрат ΔC:

$$F = \frac{\Delta R}{\Delta C} \to \max$$

Какой именно элемент дает наибольшее удельное приращение надежности, можно выяснить только в результате пробных шагов.

После каждого шага контролируется величина надежности системы R и стоимости резерва C. При достижении требуемого значения $R = R_0$ или величины лимита $C = C_0$ поиск заканчивается.

Найдем эффективность произвольного $(N+1)$-го шага при том или ином его направлении, т.е. при увеличении на единицу резерва того или иного вида. После N шагов вектор $X^{(N)}$ состава резерва будет иметь вид $X^{(N)} = \left(X_1^{(N)}, X_2^{(N)}, \dots, X_i^{(N)}, \dots, X_n^{(N)}\right)$, где $X_i^{(N)}$ – количество резервных элементов -го вида, $i = 1,2,\dots,n$, после N шагов.

Представим вектор $X^{(N)}$ состава резерва в виде $X^{(N)} = (x_i^{(N)}, X_i^{(N)})$, где выделена -ая составляющая $x_i^{(N)}$, а $X_i^{(N)} = \left(x_1^{(N)}, \dots, x_{i-1}^{(N)}, x_{i+1}^{(N)}, \dots, x_n^{(N)}\right)$.

Показатель надежности системы после i-го шага

$$R^{(N)} = R\left(X^{(N)}\right) = R_i\left(x_i^{(N)}\right) \cdot R\left(X_i^{(N)}\right) = R_i^{(N)} \cdot R\left(X_i^{(N)}\right),$$

а стоимость резерва

$$C^{(N)} = C\left(X^{(N)}\right) = \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot x_i^{(N)}.$$

Если при поиске $(N+1)$-го шага включить один резервный блок в i-ой подсистеме, то надежность системы $R^{(N+1)}$ станет равной

$$R^{(N+1)} = R\left(X_i^{(N)}\right) \cdot R_i\left(x_i^{(N)} + 1\right),$$

приращение надежности

$$\Delta R = R^{(N+1)} - R^{(N)} = R\left(X_i^{(N)}\right) \cdot \left(R_i\left(x_i^{(N)} + 1\right) - R_i\left(x_i^{(N)}\right)\right),$$

или, умножив и разделив на $R\left(X_i^{(N)}\right)$, получим

$$\Delta R = R\left(X^{(N)}\right) \cdot \frac{R_i\left(x_i^{(N)} + 1\right) - R_i\left(x_i^{(N)}\right)}{R_i\left(x_i^{(N)}\right)}$$

Стоимость резерва увеличивается на стоимость -го элемента, а показатель эффективности пробного шага

$$\frac{\Delta R}{\Delta C} = R\left(X^{(N)}\right) \cdot \frac{R_i\left(x_i^{(N)} + 1\right) - R_i\left(x_i^{(N)}\right)}{C_i \cdot R_i\left(x_i^{(N)}\right)}$$

Поскольку множитель $R\left(X^{(N)}\right)$ при различных вариантах шага остается неизменным и не влияет на нахождение наиболее эффективного шага, его можно отбросить, а номер подсистемы, в которой следует увеличить резерв на $(N+1)$-м шаге, выбрать из условия

$$F^{(N+1)} = maxFi^{(N)},$$

$$1 \leq i \leq n,$$

где

$$F_i^{(N)} = \frac{R_i\left(x_i^{(N)} + 1\right) - R_i\left(x_i^{(N)}\right)}{C_i R_i(x_i^{(N)})}$$

Полученные выражения лежат в основе алгоритма поиска оптимальной структуры резерва.

Если блоки комплекса имеют высокую надежность, т.е. в $q_i \ll 1$, то выражение (2) можно упростить, учитывая, что

$$R_i\left(x_i{}^{(N)}\right) = R_i{}^{(N)} = 1 - Q_i{}^{(N)} = 1 - Q_i\left(x_i{}^{(N)}\right) = 1 - q_i{}^{\left(x_i{}^{(N)}+1\right)},$$

$$F_i{}^{(N)} = \frac{1}{C_i}\left[\frac{R_i\left(x_i{}^{(N)}+1\right)}{R_i(x_i{}^{(N)})} - 1\right] = \frac{1}{C_i}\left[\frac{1 - Q_i{}^{(N)} \cdot q_i}{1 - Q_i{}^{(N)}} - 1\right] = \frac{Q_i{}^{(N)}}{C_i}(1 - q_i) \approx \frac{Q_i{}^{(N)}}{C_i}.$$

Здесь $Q_i{}^{(N)}$ означает величину вероятности отказа -ой подсистемы в степени, равной общему количеству блоков i-го вида (основного и резервных) после того, как сделано N шагов.

Из описанного алгоритма следует, что об эффективности пробного шага для всей системы можно судить по его эффективности для той подсистемы, в которой он сделан. Это существенно сокращает объем вычислений. Кроме того, при последующих ш оценки шагах сохраняют силу оценки эффективности пробных шагов во всех подсистемах, в которых не произошло изменений. Дополнительно на каждом шаге приходится определять эффективность только для подсистемы, в которой перед этим был увеличен объем резерва. Это дополнительно резко уменьшает количество необходимых расчетов.

При решении прямой задачи оптимизации контролируется надежность системы $R\left(x^{(N)}\right)$ и процесс поиска заканчивается на таком шаге N, при котором выполняется условие:

$$R\left(x^{(N-1)}\right) \leq R_0 \leq R\left(x^{(N)}\right).$$

При решении обратной задачи контролируется стоимость системы $\mathrm{C}\left(x^{(N)}\right)$ и оптимизация заканчивается на шаге N, когда

$$\mathrm{C}\left(x^{(N-1)}\right) \leq \mathrm{C}_0 \leq \mathrm{C}\left(x^{(N)}\right).$$

В первом случае искомым решением является вектор состава резерва $X^{(N)}$, во втором случае - $X^{(N-1)}$.

4.3 Исходные данные к работе

Таблица 4.1

Номер варианта	q_1	q_2	q_3	q_4	C_1	C_2	C_3	C_4	R
1	0.07	0.055	0.03	0.045	800	40000	12000	8000	0.9996
2	0.04	0.035	0.06	0.08	7000	10000	35000	900	0.9997
3	0.065	0.085	0.035	0.05	30000	1000	11000	7000	0.9995
4	0.05	0.06	0.02	0.07	750	50000	10000	500	0.9998
5	0.45	0.055	0.03	0.07	900	40000	18000	6000	0.9998
6	0.065	0.08	0.04	0.08	8000	15000	9000	900	0.9996
7	0.05	0.01	0.08	0.06	700	20000	10000	1500	0.9994
8	0.055	0.03	0.02	0.01	500	10000	100	18000	0.9997
9	0.03	0.04	0.03	0.055	6000	4500	1500	35000	0.9996
10	0.06	0.065	0.04	0.035	900	6000	8000	11000	0.9997
11	0.035	0.05	0.08	0.085	1500	900	900	10000	0.9998
12	0.02	0.45	0.02	0.06	8000	1500	7000	18000	0.9995
13	0.03	0.065	0.04	0.055	900	35000	500	9000	0.9996
14	0.04	0.05	0.055	0.04	7000	11000	6000	10000	0.9994
15	0.08	0.055	0.035	0.065	500	10000	900	100	0.9998
16	0.02	0.03	0.085	0.05	6000	18000	1500	800	0.9992
17	0.07	0.06	0.06	0.45	900	9000	18000	7000	0.9993
18	0.07	0.035	0.055	0.065	1500	10000	7500	30000	0.9994
19	0.08	0.02	0.04	0.05	18000	100	8000	750	0.9995
20	0.055	0.03	0.065	0.055	6000	6000	35000	900	0.9998
21	0.035	0.04	0.05	0.08	900	900	11000	8000	0.9997
22	0.085	0.08	0.45	0.05	1500	1500	10000	700	0.9999
23	0.06	0.02	0.065	0.07	35000	8000	18000	6000	0.9996
24	0.055	0.04	0.05	0.07	11000	900	9000	900	0.9994
25	0.08	0.065	0.055	0.08	10000	7000	10000	1500	0.9998
26	0.05	0.05	0.055	0.06	18000	500	100	900	0.9995
27	0.07	0.45	0.035	0.035	9000	6000	800	1500	0.9997
28	0.07	0.065	0.085	0.02	10000	900	7000	35000	0.9995
29	0.08	0.05	0.06	0.03	100	1500	30000	11000	0.9994
30	0.06	0.055	0.055	0.04	600	18000	750	10000	0.9993

Требуется обеспечить заданную надежность комплекса при условии, что стоимость резерва минимальна.

4.4 Порядок выполнения работы:

1.Определить вероятность отказов подсистемы комплекса при различном количестве резервных блоков.

Результаты свести в таблицу 4.2.

Таблица4.2

Кол-во резервных блоков	Вероятность отказа i-ой подсистемы			
	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$
0				
1				
2				
3				
n				

2. Определить показатель эффективности $F_i^{(N)}$ изменения объема резерва в каждой подсистеме при различном количестве уже имеющихся резервных блоков. Результаты свести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

Кол-во резервных блоков после i-го шага	Показатель эффективности $F_i^{(N)}$ изменения объема резерва в каждой подсистеме			
	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$
0				
1				
2				
3				
n				

3. Провести анализ данных таблицы 4.3 и выбрать оптимальную структуру резерва.

4. Провести расчет надежности комплекса $R^{(N)}$ и стоимости его резерва $\mathrm{C}^{(N)}$ после каждого шага оптимизации и результаты расчета свести в таблицу 4.4.

5. Изобразить графически оптимальную структуру резерва

Таблица 4.4

Номер шага	Вероятность отказа системы $Q^{(N)}$	Вероятность безотказной работы $R^{(N)}$	Стоимость резерва, $\mathrm{C}^{(N)}$,руб
0			
1			
2			
3			
4			
5			
. . .			

Примечание: вероятность отказа системы $Q^{(N)}$ определяется по формуле:

$$Q^{(N)} = Q_1{}^{(N)} + Q_2{}^{(N)} + Q_3{}^{(N)} + \cdots = \sum_{1}^{n} Q_i{}^{(N)}.$$

Вероятность безотказной работы системы $R^{(N)}$ можно определить по формуле:

$$R^{(N)} = \prod_{i=1}^{n} R_i{}^{(N)} = \prod_{i=1}^{n}(1 - Q^{(N)}) \approx 1 - \left(Q_1{}^{(N)} + Q_2{}^{(N)} + Q_3{}^{(N)} + \cdots\right) =$$

$$= 1 - \sum_{1}^{n} Q_i{}^{(N)}$$

6. Составить блок-схему программы оптимизации структуры резерва градиентным методом.
7. Написать программу оптимизации структуры резерва для ЭВМ .
8. Решить на ЭВМ задачу оптимизации структуры резерва для исходных данных, совпадающих с исходными данными ручного счета.

4.6 Содержание отчета:

1. Цель работы
2. Исходные данные для расчета (показателя надежности в стоимость отдельных блоков объекта связи, а также заданная надежность всего объекта).
3. Вероятности отказов отдельных подсистем объекта связи при Различном количестве резервных блоков (таблица 4.2)
4. Показатели эффективности увеличения на единицу количества резервных блоков каждой подсистемы при различном количестве уже имеющихся резервных блоков (таблица 4.3) с отмеченными шагами оптимизации.
5. Результаты расчета надежности объекта связи и стоимости его резервных блоков после каждого шага оптимизации (таблица 4.3).
6. Графическое изображение оптимальной структуры резерва с указанием стоимости резерва.
7. Блок-схема алгоритма.
8. Программа оптимизации для ЭВМ.