

Раздел 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ, АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 681.3.068

DOI: 10.34046/aumsuomt98/15

ОПТИМАЛЬНОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ СЕРВЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ СУДС

Н.В. Старжинская, кандидат технических наук, доцент,

А.И. Чернова, кандидат технических наук, доцент,

Обеспечение отказоустойчивого функционирования Систем управления движением судов (СУДС) существенно зависит от надёжности аппаратной части центров обработки информации этих систем, которые должны обеспечивать возможность ввода, обработки, хранения и вывода информации об обслуживаемых судах в зоне действия СУДС. В статье рассмотрена задача повышения эксплуатационной надёжности серверного оборудования центров обработки информации СУДС и проведена оценка оптимального состава резервных элементов серверного оборудования с учётом ограничивающих факторов по критерию надёжности и заданной стоимости резервного оборудования. И на основании полученных результатов выбрана оптимальная стратегия резервирования.

Ключевые слова: серверное оборудование, Системы управления движения судов, надёжность, отказоустойчивость, оптимальное резервирование, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов.

OPTIMAL REDUNDANCY OF SERVER EQUIPMENT OF DATA CENTERS OF VTS

N. Starzhinskaya, A. Chernova

Ensuring the fail-safe operation of Vessel Traffic Systems (VTS) depends significantly on the reliability of the hardware of the information processing centers of these systems, which should provide the ability to input, process, store and output information about serviced ships in the area of the VTS. The article considers the task of improving the operational reliability of the server equipment of the information processing centers of the VTS and assesses the optimal composition of the backup elements of the server equipment taking into account limiting factors according to the criterion of reliability and the given cost of the backup equipment. And based on the results, the optimal backup strategy was chosen.

Key words: server equipment, Vessel Traffic Systems, reliability, resiliency, optimal redundancy, uptime, failure rate.

Системы управления движением судов (СУДС) современных портов – это сложные программно-аппаратные комплексы, которые, являясь составной частью береговой инфраструктуры обеспечения безопасности мореплавания, предназначены для выполнения функций предупреждения и предотвращения аварийных ситуаций в акваториях портов, что особенно актуально в условиях роста интенсивности судоходства. Надёжное функционирование таких систем существенно зависит от надёжности аппаратной части их центров обработки информации, которые должны обеспечивать возможность ввода, обработки, хранения и вывода информации об обслуживаемых судах в зоне действия СУДС. В работе рассмотрена задача повышения эксплуатационной надёжности серверного оборудования центров обра-

ботки информации Систем управления движением судов.

Основным свойством, которым должен обладать центр обработки информации высокого уровня надёжности, является его отказоустойчивое функционирование, т.е. способность сохранять свою работоспособность после отказа одного или нескольких её элементов. Следует отметить, что высокий уровень отказоустойчивости оборудования центров обработки информации достигается, в свою очередь, резервированием его физических и виртуальных компонентов, а также применением новых технологий хранения, передачи и обработки информации. Простой или отказ серверного оборудования центра обработки информации СУДС может привести к различным последствиям (потере данных, возникновению аварийной ситуации,

убыткам), а в некоторых случаях к авариям и даже возможным жертвам.

Статистика отказов элементов серверного оборудования представлена на рисунке 1 [1].

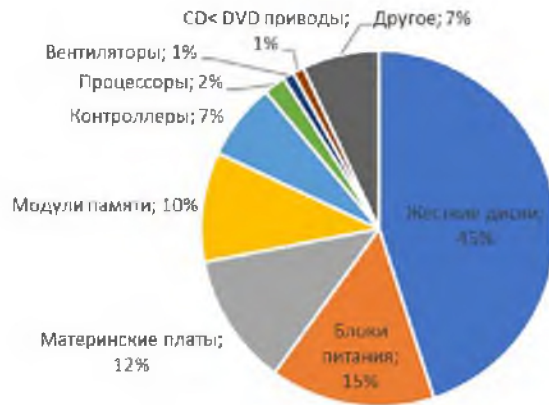


Рисунок 1 – Частота отказов элементов серверного оборудования, %

Актуальной задачей при проектировании оптимального состава элементов оборудования центров обработки данных является обеспечение высокой надёжности при ограниченных ресурсах, как правило экономических, что требует разработки методов и алгоритмов построения оптимальной схемы резервирования. Одной из эффективных математических моделей определения оптимального состава резерва при заданных ограничениях является метод неопределённых множителей Лагранжа. С точки зрения надёжности, оптимизационная задача определения количества резервных элементов системы методом неопределённых множителей Лагранжа при одном ограничивающем факторе может иметь две постановки:

- определение требуемого количества резервных элементов, обеспечивающих заданное значение показателя надёжности системы $P_{тр}$ при минимальных затратах C_{min} ;
- определение требуемого количества резервных элементов, обеспечивающих максимально возможное значение показателя надёжности системы P_{max} при величине затрат C_0 , не превышающей заданную.

Метод неопределённых множителей Лагранжа состоит в следующем: для нахождения экстремума некоей целевой функции $\varphi(m_1, m_2, \dots)$ при выполнении условия, накладываемого на ресурс оптимизации: $\psi(m_1, m_2, \dots) = \psi_0$, составляется функция Лагранжа [2].

$$L(m_1, m_2, \dots) = \varphi(m_1, m_2, \dots) + \gamma \cdot \psi(m_1, m_2, \dots) \quad (1)$$

где γ – неопределённый множитель.

Необходимые условия экстремума функции выражаются системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial L(m_1, m_2, \dots)}{\partial m_i} = 0 \\ \varphi(m_1, m_2, \dots) = \psi_0 \end{cases} \quad (2)$$

Система решений $m_{1opt}, m_{2opt}, \dots$ (кратности резервирования), удовлетворяющих этим уравнениям, может дать экстремум рассматриваемой функции. Нецелочисленные значения кратностей округляются в сторону ближайших целых чисел, часть которых исключается ввиду невыполнения для них требуемого условия. Этим методом применяется для резервирования с постоянно включенным резервом.

Составим надёжностную схему сервера центра обработки информации СУДС (рисунок 2).

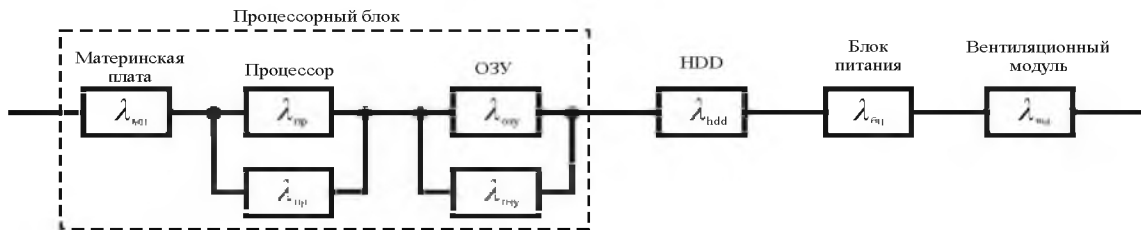


Рисунок 2 – Надёжностная схема сервера центра обработки информации

Исходные данные для моделирования надёжности основных элементов сервера получены на основе данных, приведенных на официальных сайтах производителей и в информационно-справочной базе (таблица 1).

Вероятность безотказной работы для схемы, представленной на рисунке 2 равна $P(t)=0,743$.

Для составленной схемы, приведенной на рисунке 2, определим оптимальное количество резервных элементов, обеспечивающее максимальное значение вероятности безотказной работы при величине затрат, не превышающих заданное значение.

Таблица 1 – Интенсивности отказов и стоимости основных элементов сервера

Наименование элемента	Интенсивность отказа, 1/час	Обозначение на схеме	Стоимость (руб/ед)	Кол-во
Материнская плата	$3.858 \cdot 10^{-6}$	$\lambda_{мп}$	30 000	1
Оперативная память	$1.157 \cdot 10^{-6}$	$\lambda_{пр}$	6 000	2
Процессор	$1.157 \cdot 10^{-5}$	$\lambda_{озу}$	25 000	2
Жесткий диск	$1.157 \cdot 10^{-5}$	λ_{hdd}	15 000	1
Блок питания	$5.787 \cdot 10^{-6}$	$\lambda_{бп}$	10 000	1
Вентиляционный модуль	$1.157 \cdot 10^{-5}$	$\lambda_{вм}$	10 000	1

ORIGIN:= 1

```

Pc := λ ← (3.85810-6 1.15710-6 1.15710-5 1.15710-5 5.78710-6 1.15710-5)T
t ← 8760
Pмп ← e-λ1·t
Pпр ← 1 - (1 - e-λ2·t)2
Pозу ← 1 - (1 - e-λ3·t)2
Phdd ← e-λ4·t
Pбп ← e-λ5·t
Pвм ← e-λ6·t
Pc ← Pмп·Pпр·Pозу·Phdd·Pбп·Pвм
Pc
    
```

Pc = 0.743

Программа оценки оптимального количества резервных элементов серверного оборудования при величине затрат, не превышающих заданное значение

Стоимости элементов серверного оборудования, у.е.:

Cмп := 30000 Cпр := 6000 Cозу := 25000 Chdd := 15000

Cбп := 10000 Cвм := 10000 Cпб := Cмп + Cпр + Cозу

Интенсивности отказов элементов серверного оборудования, 1/час:

λ := (3.85810⁻⁶ 1.15710⁻⁶ 1.15710⁻⁵ 1.15710⁻⁵ 5.78710⁻⁶ 1.15710⁻⁵)^T

Зависимости показателей надёжности от управляемых параметров оптимизации:

t := 8760

$P_{пб}(m1) := 1 - \left[1 - \left(e^{-\lambda_1 \cdot t} \right) \cdot \left[1 - \left(1 - e^{-\lambda_2 \cdot t} \right)^2 \right] \cdot \left[1 - \left(1 - e^{-\lambda_3 \cdot t} \right)^2 \right] \right]^{m1+1}$

$Phdd(m2) := 1 - \left(1 - e^{-\lambda_4 \cdot t} \right)^{m2+1}$ $P_{бп}(m3) := 1 - \left(1 - e^{-\lambda_5 \cdot t} \right)^{m3+1}$ $P_{вм}(m4) := 1 - \left(1 - e^{-\lambda_6 \cdot t} \right)^{m4+1}$

Целевая функция:

$P(m1, m2, m3, m4) := P_{пб}(m1) \cdot Phdd(m2) \cdot P_{бп}(m3) \cdot P_{вм}(m4)$

Ограничения на экономический ресурс оптимизации:

Cс := 100000

Экономический ресурс оптимизации:

$C(m1, m2, m3, m4) := C_{пб} \cdot m1 + Chdd \cdot m2 + C_{бп} \cdot m3 + C_{вм} \cdot m4$

Функция Лагранжа:

$L(m1, m2, m3, m4, \gamma) := P(m1, m2, m3, m4) + \gamma \cdot (C(m1, m2, m3, m4) - Cс)$

Нахождение экстремума функции Лагранжа:

m1 := 1 m2 := 1 m3 := 1 m4 := 1 γ := 1

Given

$\frac{d}{dm1} L(m1, m2, m3, m4, \gamma) = 0$ $\frac{d}{dm4} L(m1, m2, m3, m4, \gamma) = 0$

$\frac{d}{dm2} L(m1, m2, m3, m4, \gamma) = 0$ $\frac{d}{d\gamma} L(m1, m2, m3, m4, \gamma) = 0$

$\frac{d}{dm3} L(m1, m2, m3, m4, \gamma) = 0$ m1 > 0 m2 > 0 m3 > 0 m4 > 0

Результат вычислений:

$Find(m1, m2, m3, m4, \gamma)^T = (0.678 \ 1.738 \ 1.348 \ 1.911 \ -2.561 \times 10^{-7})^T$

Для выбора оптимального варианта резерва производим округление полученных значений до ближайших целых чисел в большую или меньшую сторону и для каждого из вариантов

определяем вероятности безотказной работы для схемы с резервированием. Результаты занесены в таблицу 2.

Таблица 2– Варианты резервирования серверного оборудования при заданных ограничениях по стоимости

Показатели/варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
m ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
m ₂	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
m ₃	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
m ₄	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
P(t)	0,938	0,946	0,940	0,948	0,946	0,954	0,948	0,956	0,977	0,986	0,980	0,988	0,986	0,994	0,988	0,996

Проанализировав результаты вычислений, из таблицы 2 выбираем 16 вариант, который наиболее соответствует наиболее высокому значению вероятности безотказной работы (ВБР). Надёжностная схема оптимального количества резервных элементов при величине затрат, не превышающих заданное значение представлена на рисунке 3.

Аналогично проводим оценку оптимального количества резервных элементов, обеспечивающее минимальные экономические затраты при заданном показателе надёжности P_c(t)=0,999. Результаты представлены в таблице 3.

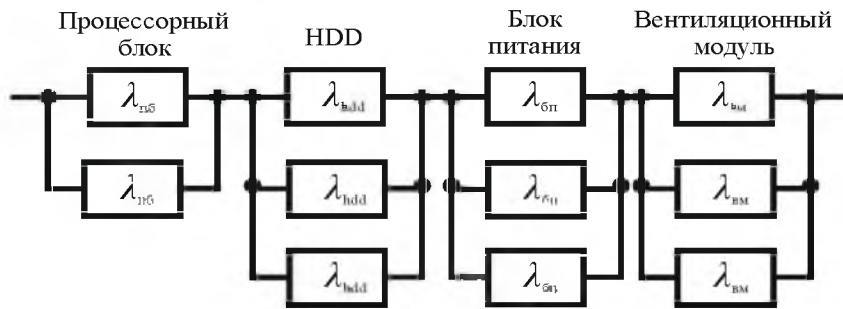


Рисунок 3 – Надёжностная схема оптимального резервирования, при величине затрат, не превышающих заданное значение

Таблица 3– Варианты резервирования серверного оборудования при заданном уровне вероятности безотказной работы

Показатели/варианты	1	2	3	4	5	6	7	8
m1	1	1	1	1	1	1	1	1
m2	2	2	2	2	3	3	3	3
m3	2	2	3	3	2	2	3	3
m4	2	3	2	3	2	3	2	3
C(m)	131000	141000	141000	151000	146000	156000	156000	166000
P(t)	0,9979	0,9987	0,998	0,9988	0,9987	0,9995	0,9988	0,9997
Показатели/варианты	9	10	11	12	13	14	15	16
m1	2	2	2	2	2	2	2	2
m2	2	2	2	2	3	3	3	3
m3	2	2	3	3	2	2	3	3
m4	2	3	2	3	2	3	2	3
C(m)	192000	202000	202000	212000	207000	217000	217000	227000
P(t)	0,9981	0,9989	0,9982	0,999	0,9989	0,9997	0,999	0,9998

Из таблицы 3 выбираем вариант резервирования под номером 6, т.к. его стоимость и количество резервных элементов минимально.

ВБР, который удовлетворяет требованиям к надёжности оборудования, входящего в состав СУДС, указанным в Приказе Минтранса России от 23.07.2015 №226[3], представлена на рисунке 4.

Надёжностная схема оптимального количества резервных элементов при заданном уровне

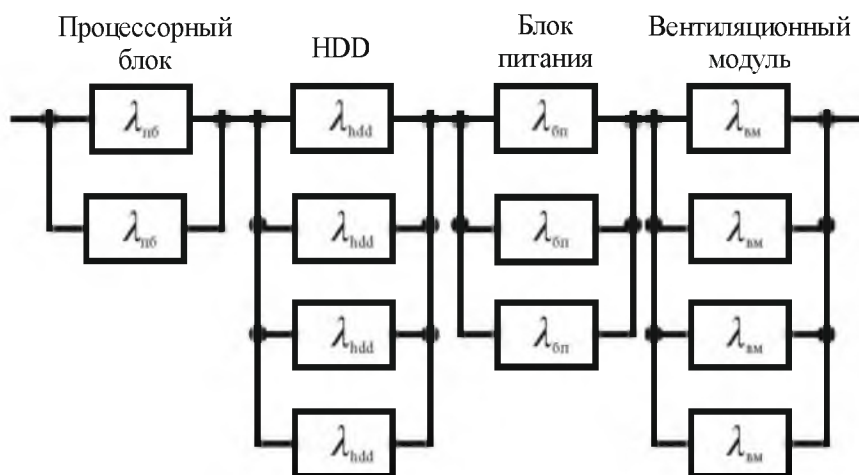


Рисунок 4 – Надежностная схема оптимального резервирования при заданном показателе надёжности

Результаты вычислений оптимального резерва методом неопределенных множителей Лагранжа при разных ограничивающих факторах приведены в таблице 4.

Согласно таблице 4 схема резервирования, представленная на рисунке 4, является оптимальной схемой резервирования серверного оборудования рассматриваемого центра обработки информации.

Таблица 4– Сравнение методов резервирования

Показатели	Нерезервированная система	Ограничение по ВБР системы	Ограничение по стоимости
Стоимость, у.е	96 000	156 000	131 000
ВБР	0,743	0,9995	0,996
Выигрыш в надёжности по вероятности отказа	–	257	64.25
Затраты увеличились в раз	–	1,625	2

Исходя из полученных результатов расчетов различными методами выбран оптимальный состав резервных элементов рассматриваемого серверного оборудования. Наилучший результат оптимального резерва системы определен методом неопределенных множителей Лагранжа с учетом заданного значения вероятности безотказной работы ($P_c(t)=0.999$) и минимального увеличения стоимости оборудования. Предложенная математическая модель может быть использована для определения оптимального количества резервных элементов другого оборудования или имеющего другие показатели надежности и стоимости, а также наложенные ограничения.

Литература

1. Паньковский, Б.Е. Оптимизация комплектов запасных частей и оборудования для центров обработки данных / Б.Е. Паньковский // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – №19. – С.198–203.
2. Половко, А.М. Основы теории надёжности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 706 с.: ил.

3. Приказ Минтранса России от 23.07.2015 №226 «Об утверждении Требований к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством».
4. Кондрагев С.И. Синтез программных траекторий методом динамического программирования // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2003. – № S6. – С. 41-43.
5. Астерин В.В. Принципы координации подсистем судна для предупреждения столкновений [текст] / В.В. Астерин, Е.В. Хекерт // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 2 (21). – С. 13

REFERENCES

1. Pan'kovskij, B.E. Optimizaciya komplektov zapasnykh chastej i oborudovaniya dlya centrov obrabotki dannykh / B.E. Pan'kovskij // Novye informacionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemah. – 2016. – №19. – S.198–203.

2. Polovko, A.M. Osnovy teorii nadyozhnosti / A.M. Polovko, S.V. Gurov. – 2-e izd., pererab. idop. –SPb.: BHV-Peterburg, 2006. – 706 s.: il.
3. Prikaz Mintransa Rossiiot 23.07.2015 №226 «Ob utverzhenii Trebovanij k radiolokacionnym sistemam upravleniya dvizheniem sudov, ob"ektam infrastruktury morskogo porta, neobhodimym dlya funkcionirovaniya Global'noj morskoy sistemy svyazi pri bedstvii i dlya obespecheniya bezopasnosti , ob"ektam i sredstvam avtomaticheskoy informacionnoj sistemy, sluzhbe kontrolya sudohodstva i upravleniya sudohodstvom».
4. Kondrat'ev S.I. Sintez programmnyh traektorij metodom dinamicheskogo programmirovaniya //Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2003. № S6. S. 41-43.
5. Asterin V.V. Principy koordinacii podsistem sudna dlya preduprezhdeniya stolknovenij [tekst] / V.V. Asterin, E.V. Hekert // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2013. № 2 (21). S. 13