

характеризують довільну проектну несправність. До них віднесемо наступні параметри: етап або стадію виявлення  $PN_i$ , швидкість розвитку  $PN_i$ , період виникнення  $PN_i$ , період завмирання  $PN_i$ .

1. Скитович В.П. Элементы теории массового обслуживания. Ленинград: ЛУ: 1976. - 96 с.
2. Шурыгин А.М. Математические методы прогнозирования. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. -180 с.
3. Надежность технических систем./ Под ред. Е.Б.Сучака, Н.В.Василенко. – Красноярск: МГП «Раско», 2001. -600 с.
4. Математическая статистика. М.: МГУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 4324с.
5. Глибовець М.М., Олецкий О.В. Штучний інтелект. Київ: КМ Академія, 2002. - 366 с.
6. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. -704 с.

*Поступила 3.03.2011р.*

УДК 621.39

І.М.Яремко, В.В.Турупалов, І.О.Молоковський

## **ІМОВІРНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРІВ ОБРОБКИ ДАНИХ І РЕЗЕРВУВАННЯ**

### *Анотація*

У статті досліджені характеристики рівнів надійності центрів обробки даних в телекомунікаційних системах. Зроблені висновки про рівень резервування обладнання центрів обробки даних.

*Ключові слова:* центр обробки даних, рівень надійності, резервування устаткування

### *Abstract*

Probabilistic characteristics of data centers and backup. Article characteristics were investigated levels of reliability data centers in telecommunication systems. Conclusions about the level of backup data center equipment.

*Keywords:* data center, level of reliability, backup equipment.

**Вступ.** Одним з найважливіших аспектів проектування й експлуатації центрів обробки даних (ЦОД) є забезпечення їх надійності. Практичний досвід показує, що в більшості випадків доцільніше витратити додаткові кошти на забезпечення необхідної надійності створюваної системи, ніж зазнавати втрат від низької надійності в процесі експлуатації.

Розвиток сучасних інформаційних технологій, заснованих на спільному використанні засобів обчислювальної техніки й телекомунікацій, зробив їх життєво необхідними для функціонування багатьох сфер діяльності (державне керування, оборона, фінанси, промисловість, транспорт, медицина) тощо. Це обумовлює необхідність забезпечення високої надійності інформаційно-керуючих систем і мереж. По оцінках ряду фахівців збитки від відмов у них можуть досягати декількох мільйонів доларів у годину. У ряді випадків низька надійність може привести до катастрофічних наслідків.

Надійність, узятя окремо, ще не означає технічної досконалості, однак, якщо система не має необхідну надійність, те всі інші показники якості втрачають своє значення, оскільки за низької надійності система не може повною мірою виконувати свої функції [1].

Щоб підтримувати надійність роботи центрів обробки даних, у стандарті ТІА/ЕІА-942 специфікуються рівні експлуатаційної готовності й перелічуються заходи, що забезпечують функціонування встаткування ЦОД з урахуванням характеристик того або іншого рівня [2].

Відомо, що кожне устаткування має такі характеристики, як ресурс, час безвідмовної роботи й середня тривалість простою за рік використання. З іншого боку, рівні надійності ЦОД (Tier), будучи однією з основних характеристик ЦОД, залежать від часу простою за рік. Саме від тривалості простою залежить успішність бізнесу компанії і її непередбачені збитки.

При побудові ЦОД вкладають кошти для реалізації тієї або іншої схеми резервування з метою скоротити час простою й, отже, скоротити й збитки від простоїв.

**Схема резервування відсутня: N.** У цьому випадку жодна система не резервується (Tier I) і простій кожної одиниці устаткування означає простій усього ЦОД. Загальний простій ЦОД за рік становить 28.8год (Коефіцієнт відмовостійкості 99,671%). Ця схема була характерна для ЦОД 60-70х років минулого століття й повністю зжила себе на цей момент через граничну збитковість.

**Схема резервування N+1.** Схема резервування N+1 найпоширеніша на сьогоднішній день. Згідно з нею, до N робочих одиниць додається одна резервна. Тут завжди важливо правильно визначити значення N. Розглянемо цей аспект, умовно прийнявши, що штатний простій однієї одиниці устаткування становить S0 годин у рік ймовірність відмови рівна:

$$P0 = \frac{S}{24 \frac{S}{\text{дн}} \cdot 365 \text{дн}} = \frac{S}{8760}$$

Очевидно, якщо N=0, то час простою в рік S(N=0)=S0, а ймовірність відмови P(N=0)=S/8760= P0. Якщо N=1, то ймовірність відмови відповідає випадку, коли одночасно не працюють обидві одиниці устаткування. P(N=1)=P1=P0•P0, S(N=1)=S1=P0•P0•8760.

При N≥2 система непрацездатна, якщо одночасно відключилося не менш двох будь-яких одиниць устаткування. Таким чином, у випадку N=2

повинні відключитися (1 і 2), (2 і 3), (1 і 3) одиниці устаткування (імовірність кожної події рівна  $P1=P0 \cdot P0$ , за умови працездатності третьої одиниці (імовірність  $1-P0$ ) або всі три (1, 2 і 3) разом (імовірність рівна  $P0 \cdot P0 \cdot P0$ ). Одержуємо наступну ймовірність відмови системи:

$$P = 3 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0) + P0 \cdot P0 \cdot P0.$$

Для  $N=3$  маємо три випадки відмови:

- вийшли з ладу будь-які дві одиниці устаткування (шість варіантів з ймовірністю  $P1=P0 \cdot P0$  кожний) за умови працездатності, що залишилися двох одиниць (імовірність  $(1-P0) \cdot (1-P0)$ ),

- вийшли з ладу будь-які три одиниці встаткування (чотири варіанти ймовірністю  $P0 \cdot P0 \cdot P0$  кожний) за умови працездатності, що залишився одиниці (імовірність  $1-P0$ ),

- вийшли з ладу всі чотири одиниці встаткування (імовірність  $P0 \cdot P0 \cdot P0 \cdot P0$ ).

Таким чином, підсумкова ймовірність

$$P3 = 6 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0) \cdot (1 - P0) + 4 \cdot P0 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0) + P0 \cdot P0 \cdot P0 \cdot P0.$$

Тобто існує й загальна формула для будь-якого  $N$ , що складається з  $N$  доданків. Однак, можна відзначити, що, через малість  $P0$ , перший доданок найбільш великий, а інші практично не дають внеску в підсумкову ймовірність. Таким чином, небагато втративши в точності можна скоротити число доданків до одного - першого. Тоді:

$$P1 = P0 \cdot P0,$$

$$P2 \approx 3 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0),$$

$$P3 \approx 6 \cdot P0 \cdot P0 \cdot (1 - P0) \cdot (1 - P0),$$

.....

$$PN \approx C(N + 1, 2) \cdot P0^2 \cdot (1 - P0)^{N-1},$$

де  $C(2, N+1)$  - кількість варіантів вибірки 2 елементів із  $N+1$ ,

$$C(N + 1, 2) = \frac{(N + 1)!}{2! \cdot (N + 1 - 2)!} = \frac{(N + 1)!}{2 \cdot (N - 1)!} = N \cdot \frac{(N + 1)}{2}$$

Отже,

$$P(N) \approx N \cdot (N + 1) \cdot P0^2 \cdot \frac{(1 - P0)^{N-1}}{2},$$

$$S(N) = P(N) \cdot 8760.$$

Розглянемо приклад. Штатний простій устаткування в рік становить 20 годин. Який буде простій устаткування без резервування й при схемі резервування  $N+1$  з різними  $N$ ? У цьому випадку  $S0=20$ ,  $P0=20/8760=0.0023=0.23\%$ . Використовуючи формулу для  $P(N)$  заповнюємо табл 1.

**Висновок.** Імовірність відмови й час простою на порядок нижче при використанні схеми резервування  $N+1$ , ніж при відсутності резерву зовсім.

Однак, імовірність відмови й час простою росте з ростом N, тобто з ростом загального числа елементів у системі, причому далі - швидше. Тим самим виконується принцип "чим складніше система, тим вона менш надійна".

При  $N \leq 7$  ( а саме це найпоширеніший варіант) можна прийняти, що збільшення числа робочих одиниць устаткування на одну збільшує час простою на 10 хвилин у рік.

Таблиця 1

Залежність характеристик надійності системи від конфігурації

Конфігурація, N	Імовірність відмови, %	Час простою за рік, год
1	0.23%	20
1+1	0.0005%	0.046
2+1	0.0016%	0.137
3+1	0.0031%	0.273
4+1	0.0052%	0.454
5+1	0.0077%	0.679

**Схема резервування 2N.** Згідно зі схемою резервування 2N кожний елемент системи дублюється аналогічним. Передбачається, що все устаткування входить до складу однієї.

Система вважається непрацездатною у випадку виходу з ладу (N+1) одиниць устаткування. Для ймовірності відмови можна одержати наступні формули:

$$P1 = P0 \cdot P0,$$

$$P2 \approx 4 \cdot P0^2 \cdot (1 - P0),$$

$$P3 \approx 15 \cdot P0^4 \cdot (1 - P0)^2,$$

.....

$$P(N) \approx C(2N, N + 1) \cdot P0^N \cdot (1 - P0)^{N-1},$$

де  $C(2N, N+1)$  - кількість варіантів вибірки N+1 елементів з 2N (комбінація з 2N по N+1),

$$C(2N, N + 1) = \frac{(2N)!}{(N + 1)! \cdot (N - 1)!}$$

Таким чином,

$$P(N) \approx 2N! \cdot P0^2 \cdot \frac{(1 - P0)^{N-1}}{(N + 1)! \cdot (N - 1)!},$$

$$S(N) = P(N) \cdot 8760.$$

Розглянемо приклад. Який буде простій устаткування без резервування при схемі резервування 2N при  $S_0=20$ год? Використовуючи формулу для  $P(N)$  заповнюємо табл.3.

Таблиця 3

Залежність характеристик надійності системи від конфігурації

Конфігурація	Імовірність відмови, %	Час простою за рік
1	0.23%	20год
1+1	0.0005%	0.046год=164с
2+2	$4.7 \cdot 10^{-6}\%$	1.5с
3+3	$4.0 \cdot 10^{-8}\%$	0.013с
4+4	$3.5 \cdot 10^{-10}\%$	0.0001с
5+5	$2.9 \cdot 10^{-12}\%$	0.000001с

**Висновок.** Імовірність відмови й час простою на порядок нижче при використанні схеми резервування  $N+1$ , ніж при відсутності резерву зовсім. Причому з підвищенням  $N$  відмовостійкість зростає, а тривалість простою падає в середньому в 100 раз при збільшенні  $N$  на одиницю. Цією властивістю схема резервування 2N принципово відрізняється від  $N+1$ .

**Схема резервування 2(N+1).** Дана схема відповідає Tier IV. Тут передбачається, що є система зі схемою  $N+1$ , повністю зарезервована. Саме такий підхід декларує Tier IV.

Таблиця 4

Залежність характеристик надійності системи від конфігурації

Конфігурація	Імовірність відмови, %	Час простою за рік
1	0.23%	20ч
2(1+1)	$2.7 \cdot 10^{-9}\%$	0.0009сек
2(2+1)	$2.4 \cdot 10^{-8}\%$	0.008сек
2(3+1)	$9.7 \cdot 10^{-8}\%$	0.03сек
2(4+1)	$2.7 \cdot 10^{-7}\%$	0.08сек
2(5+1)	$6.0 \cdot 10^{-7}\%$	0.2сек

Система непрацездатна, якщо вийшли з ладу 2 одиниці устаткування в одній системі й 2 - в іншій. Інакше кажучи, система непрацездатна, коли непрацездатні обидві входні в неї системи. Отже, імовірність відмови схеми  $2(N+1)$  дорівнює ймовірності відмови схеми  $N+1$ , помноженої на себе ж.

$$P_{2(N+1)}(N) = P_{N+1}(N)^2,$$

$$S_{2(N+1)}(N) = P_{2(N+1)}(N) \cdot 8760.$$

Який буде простій устаткування без резервування і при схемі резервування 2N при  $S_0=20$ год? Використовуючи формулу для  $P(N)$  заповнюємо таблицю 4.

**Висновок:** Імовірність відмови й час простою на порядок нижче при використанні схеми резервування  $2(N+1)$ , ніж при  $N+1$  і тим більше при відсутності резерву зовсім. Час простою при схемі  $2(N+1)$  мізерний, але зростає зі збільшенням  $N$ . Узагальнені результати зведені до табл.5.

Таблиця 5

Загальна таблиця відмовостійкості різних схем резервування

N	Схеми резервування							
	N		N+1		2N		2(N+1)	
	Імовірність відмови							
1	0.23%	20год	0.0005%	0.046год	0.0005%	0.046год =164с	2.7•10-9%	0.0009с
2	0.46%	39.9год	0.0016%	0.137год	4.7•10-6%	1.5с	2.4•10-8%	0.008с
3	0.68%	59.7год	0.0031%	0.273год	4.0•10-8%	0.013с	9.7•10-8%	0.03с
4	0.90%	79.5год	0.0052%	0.454год	3.5•10-10%	0.0001с	2.7•10-7%	0.08с
5	1.13%	99.1год	0.0077%	0.679год	2.9•10-12%	0.000001с	6.0•10-7%	0.20с
6	1.35%	118.6год	0.0108%	0.948год	2.5•10-14%	0.8•10-8с	1.2•10-6%	0.37с
7	1.58%	138.1год	0.0144%	1.261год	2.1•10-16%	0.7•10-10с	2.1•10-6%	0.65с
8	1.80%	157.5год	0.0185%	1.618год	1.9•10-18%	0.6•10-12с	3.4•10-6%	1.08с
9	2.02%	176.7год	0.0230%	2.018год	1.7•10-20%	0.5•10-14с	5.3•10-6%	1.67с
10	2.24%	195.9год	0.0281%	2.460год	1.4•10-22%	0.5•10-16с	7.9•10-6%	2.49с

### Висновки

В результаті аналізу рівнів надійності ЦОД найголовнішою відмінністю між схемою резервування  $2N$  і схем  $N+1$  і  $2(N+1)$  є той факт, що з підвищенням числа робочих одиниць устаткування (тобто з підвищенням  $N$ ) обидві останні схеми погіршують доступність системи в цілому, а  $2N$  - збільшує її, причому дуже швидкими темпами (знижуючи час простою в 100 раз при росту  $N$  на одиницю). Але слід пам'ятати, що схеми  $N+1$  і  $2N$ , на відміну від  $2(N+1)$  не резервують систему в цілому, а тому не виключають небезпеку аварії на ділянці між зарезервованими елементами системи.

1. Г.Н. Черкесов Надежность аппаратно-програмных комплексов/ Учебное пособие. 1-е издание, Санкт-Петербург, 2004г.
2. Телекоммуникационная инфраструктура центров обработки данных. Стандарт ТИА-942, редакция 7.0, февраль 2005

Поступила 17.02.2011р.