

Теория вероятностей: резервирование и время безотказной работы ЦОД

07.10.2010

Данная статья — первая в своём роде и посвящена применению теории вероятностей для сравнения различных схем резервирования оборудования в ЦОД, вычислению достигаемого времени безотказной работы, а также финансовым рискам.

Известно, что каждое оборудование имеет такие характеристики, как ресурс, время безотказной работы и средняя длительность простоя за год использования. Также заметим, что уровни надежности ЦОД (Tier), являясь одной из основных характеристик ЦОД, зависят от времени простоя за год. Это неспроста: именно от длительности простоя зависит успешность бизнеса компании и её непредвиденные убытки.

Итак, при построении ЦОД вкладывают деньги для реализации той или иной схемы резервирования с целью сократить время простоя и, следовательно, сократить и убытки от простоев. Всегда ли оправдываются эти вложения? Всё зависит от схемы резервирования. Именно по этому критерию будет разделен последующий материал.

Схема резервирования отсутствует: N

В данном случае ни одна система не резервируется (Tier I) и простой каждой единицы оборудования означает простой всего ЦОД. Общий простой ЦОД за год составляет 28.8ч (Коэффициент отказоустойчивости 99,671%). Эта схема была характерна для ЦОД 60-70х годов прошлого века и полностью изжила себя к настоящему моменту по причине предельной убыточности: сегодня убытки компании от пары часов простоя если и не превышают стоимость дополнительной (резервной) единицы оборудования, то как минимум равны ей.

Схема резервирования N+1

Схема резервирования N+1 наиболее распространена на сегодняшний день. Согласно ей, к N рабочим единицам добавляется одна резервная. Здесь всегда важно правильно определить значение N. Рассмотрим этот аспект, условно приняв, что штатный простой одной единицы оборудования составляет S0 часов в год (вероятность отказа равна $P0 = S / (24ч/дн * 365дн) = S / 8760$).

Очевидно, если $N=0$, то время простоя в год $S(N=0)=S_0$, а вероятность отказа $P(N=0)=S/8760= P_0$.

Если $N=1$, то вероятность отказа соответствует случаю, когда одновременно не работают обе единицы оборудования. $P(N=1)=P_1=P_0 \cdot P_0$, $S(N=1)=S_1=P_0 \cdot P_0 \cdot 8760$.

При $N \geq 2$ система неработоспособна, если одновременно отключилось не менее двух любых единиц оборудования. Таким образом, в случае $N=2$ должны отключиться (1 и 2), (2 и 3), (1 и 3) единицы оборудования (вероятность каждого события равна $P_1=P_0 \cdot P_0$) при условии работоспособности третьей единицы (вероятность $1-P_0$) или все три (1, 2 и 3) вместе (вероятность равна $P_0 \cdot P_0 \cdot P_0$). Получаем следующую вероятность отказа системы: $P_2=3 \cdot P_0 \cdot P_0 \cdot (1-P_0) + P_0 \cdot P_0 \cdot P_0$.

Для $N=3$ имеем три случая отказа:

- вышли из строя любые две единицы оборудования (шесть вариантов с вероятностью $P_1=P_0 \cdot P_0$ каждый) при условии работоспособности оставшихся двух единиц (вероятность $(1-P_0) \cdot (1-P_0)$),
- вышли из строя любые три единицы оборудования (четыре варианта вероятностью $P_0 \cdot P_0 \cdot P_0$ каждый) при условии работоспособности оставшейся единицы (вероятность $1-P_0$),
- вышли из строя все четыре единицы оборудования (вероятность $P_0 \cdot P_0 \cdot P_0 \cdot P_0$).

Итоговая вероятность $P_3=6 \cdot P_0 \cdot P_0 \cdot (1-P_0) \cdot (1-P_0) + 4 \cdot P_0 \cdot P_0 \cdot P_0 \cdot (1-P_0) + P_0 \cdot P_0 \cdot P_0 \cdot P_0$.

Существует и общая формула для любого N , состоящая из N слагаемых. Однако, заметим, что, ввиду малости P_0 , первое слагаемое наиболее велико, а остальные практически не дают вклада в итоговую вероятность. Таким образом, немного потеряв в точности можно сократить число слагаемых до одного — первого. Тогда:

$$P_1 = P_0 \cdot P_0,$$

$$P_2 = 3 \cdot P_0 \cdot P_0 \cdot (1-P_0),$$

$$P_3 = 6 \cdot P_0 \cdot P_0 \cdot (1-P_0) \cdot (1-P_0),$$

.....

$P(N) \approx C(N+1, 2) \cdot P_0^2 \cdot (1-P_0)^{(N-1)}$, где $C(2, N+1)$ — количество вариантов выборки 2 элементов из $N+1$ (на языке комбинаторики: сочетание из $N+1$ по 2), $C(N+1, 2) = (N+1)! / (2! \cdot (N+1-2)!) = (N+1)! / (2 \cdot (N-1)!) = N \cdot (N+1) / 2$. Итак,

$$P(N) \approx N \cdot (N+1) \cdot P_0^2 \cdot (1-P_0)^{(N-1)} / 2; S(N) = P(N) \cdot 8760.$$

Рассмотрим применение полученных формул на примере.

Пример №1. Штатный простой оборудования в год составляет 100 часов. Каков будет простой оборудования без резервирования и при схеме резервирования N+1 с различными N? В данном случае $S_0=100$, $P_0=100/8760=0.0114=1.14\%$. Используя формулу для $P(N)$ заполняем таблицу 1:

Конфигурация	Вероятность отказа, %	Время простоя за год, ч
1	1.14%	100
1+1	0.0130%	1.14
2+1	0.0335%	2.93
3+1	0.0764%	6.69
4+1	0.1260%	11.03
5+1	0.1867%	16.35

Вывод: Вероятность отказа и время простоя на порядок ниже при использовании схемы резервирования N+1, чем при отсутствии резерва вовсе. Однако, вероятность отказа и время простоя растут с ростом N, т.е. с ростом общего числа элементов в системе. Тем самым выполняется принцип "чем сложнее система, тем она менее надежна". Интересно, что в этом примере вероятность отказа при N=14 сравнивается с конфигурацией без резерва.

Данные, приведенные в примере, характерны, например, для ИБП. Если учесть, что простой системы бесперебойного питания означает отсутствие питания как такового, а, значит, и простой всего ЦОД. По данным Berkeley Internet Week 2000 Contingency Planning Research, приблизительные потери, которые могут быть вызваны простоем продолжительностью в 1ч на предприятиях различных типов в США составляют (таблица 2):

Тип предприятия	Стоимость часа простоя
Биржевые транзакции	Несколько млн. долл.
Авторизация кредитных карт (банки)	\$2 000 000
Amazon	\$180 000
Бронирование билетов на самолеты	\$89 000
Резервирование (отелей, автомобилей и т.п.)	\$41 000
Банкоматы	\$14 000

Поэтому разница между конфигурациями 1+1 и 3+1 для компании по бронированию билетов может обойтись в _____\$45 000.

Схема резервирования 2N

Согласно схеме резервирования 2N каждый элемент системы дублируется аналогичным.

Вероятность отказа ИБП и российские электросети

Большинство ИТ-оборудования, устанавливаемого в ЦОД требует высокого качества питания. Именно такое электропитание призваны обеспечить источники бесперебойного питания. При расчете рисков, связанных с обесточиванием ЦОД, огромное значение имеет доступность ИБП. В интернете можно найти следующие данные по доступности ИБП при различных конфигурациях системы бесперебойного питания (таблица 3 (Журнал сетевых решений "LAN", №10 за 2008г.)):

Конфигурация ИБП	Доступность (с байпасом), %	MTBF
1+1	99.99999932	2182.9
2+1	99.99999899	1455.3
3+1	99.99999865	1091.5
4+1	99.99999831	873.2
5+1	99.99999797	728.4
6+1	99.99999763	624.3
7+1	99.99999730	545.3
8+1	99.99999696	485.6
9+1	99.99999662	437.0
10+1	99.99999628	397.3

Как видно, доступность системы весьма велика, а время простоя для случая "1+1" составит всего 0.2 секунды в год. Означает ли это, что Заказчик может рассчитывать на простой ЦОД в течение 200 миллисекунд в год?

Конечно, ответ "нет"! Но он скрыт в словах "с байпасом" во второй колонке таблицы. Оказывается, что в течение 0.2с ЦОД будет просто без питания, а всё остальное время он хоть грязное питание из сети (по линии байпаса), но получит. Обратимся к первоисточнику: что нам обещают предоставить электросети?

Согласно ГОСТ 13109-87 п.6.2, качество электрической энергии не должно выходить за рамки допустимого диапазона в течение 95% времени (438 часов в год). А длительность подачи электроэнергии пониженного качества не должна превышать 90 часов за год.

Таким образом, порядка 90 часов в год ЦОД будет запитан низкокачественной электроэнергией, что по сути можно приравнять к его простоям (если ещё не выходишь из строя некоторого (наиболее чувствительного и, как правило, наиболее дорогого) серверного оборудования). Следовательно, вместо доступности 99.99999932% получаем доступность $99.99999932\% * 95\% = 94.999999354\% \approx 95\%$.

Вывод: в течение 438 часов ежегодно ЦОД будет лишен требуемого качества электропитания, а убытки компании по резервированию отелей, согласно таблице 2, составят \$17.5 млн.

Автор: Хомутский Юрий / alldc.ru