

## СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ СОЗДАНИЯ ТОЧЕК ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ СХД

А.П. Гантимуров (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

*Обеспечение производительности, отказоустойчивости и сохранности данных являются важными требованиями к системам хранения данных. На основе параметров RTO (целевая точка восстановления) и RPO (целевое время восстановления) рассматривается способ обеспечения отказоустойчивости и определения периодичности создания точек восстановления данных СХД с учетом информационного обмена бизнес-процессов различных групп приоритетности<sup>1</sup>.*

*Ключевые слова:* система хранения данных, отказоустойчивость, восстановление данных.

### Введение

С каждым годом во всем мире значительно возрастают объемы передаваемых и хранимых данных. При этом разрабатываемые технологии и применяемые практические решения в области данных не позволяют полностью устранять сопутствующие проблемы, среди которых нарушение целостности данных, низкая скорость доступа к данным, потеря данных и др. Таким образом, в настоящее время обеспечение безопасного и долговременного хранения, надежной защиты и непрерывной обработки данных являются важными задачами при проектировании и эксплуатации современных систем хранения данных (СХД) [1–3].

Дополнительно отметим, что при планировании внедрения СХД в корпоративную информационную сеть часто возникает проблема выбора СХД, которая должна как удовлетворить все потребности предприятия, так и обеспечить оптимальное соотношение стоимости, качества и времени внедрения. В связи с этим необходимо осуществлять подбор оптимальных параметров архитектуры СХД с учетом структуры и объема передаваемых и хранимых данных, особенностей функционирования бизнес-процессов, генерирующих информационные потоки данных, и т. п. [4].

На протяжении многих лет автор статьи не только отслеживает современное состояние разработки и внедрения СХД, но и предлагает практические решения СХД любой сложности для различных предприятий (<http://probaum.ru>). Осуществляемая научная деятельность [например, 5–7] и апробация предлагаемых методов и способов в этой области показывают, что каждый раз необходимо осуществлять выбор технологий защиты и восстановления

данных, составление эффективного расписания автоматического резервирования в СХД с определенной архитектурой. В настоящей статье рассматривается результат очередных исследований, представляющий собой впервые предлагаемую математическую модель для обеспечения отказоустойчивости и определения периодичности создания точек восстановления данных СХД.

### Показатели для обеспечения отказоустойчивости СХД

Реализация практических решений СХД показала, что можно получить:

— общую информацию о структуре информационного обмена данных: размер блока данных информационного обмена, характер доступа к СХД, усредненное значение соотношения числа операций чтения и записи в СХД за некоторый период, требований по доступности СХД;

— специализированную информацию, включающую сведения о важности и приоритетности бизнес-процессов в соответствии с требованиями конкретной организации по: производительности обмена данными, значениям величин средней и максимальной задержки во время исполнения операции, величине максимального объема допустимых потерь оперативных данных при возникновении форс-мажорных обстоятельств. Это так называемые группы приоритетности согласно технологии QoS<sup>2</sup> [7].

Описанное выше влияет на показатели производительности, определяющие одно из требований к СХД.

Другим важным требованием к СХД является обеспечение ее отказоустойчивости и сохранности хранимых данных. Например, способом достижения отказоустойчивости является регулярно осуществля-

<sup>1</sup> Статья подготовлена в рамках выполнения работ по соглашению от «03» июля 2018 г. № 074-11-2018-012 с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России).

<sup>2</sup> QoS (quality of service - качество обслуживания) — технология предоставления различным классам трафика различных приоритетов в обслуживании.

емое резервирование СХД и использование технологий восстановления данных (ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799-2005. Информационная технология. Практические правила управления информационной безопасностью). При этом для обеспечения непрерывности бизнес-процессов при подборе технологий восстановления необходимо учитывать требования, налагаемые нагрузками, к данным в СХД.

Требования к отказоустойчивости СХД, помимо требований по доступности хранимых данных, принято выражать через параметры [8–10]:

— RPO (recovery point objective) — целевая точка восстановления, в которой создаются резервные копии данных, хранимых в СХД. Или это максимальный период времени, за который могут быть потеряны данные в результате аварий, например, для RPO = 1 ч это означает, что в случае аварии СХД удастся восстановить, но будут потеряны данные не более чем за последний час;

— RTO (recovery time objective) — целевое время восстановления, означающее период, в течение которого бизнес-процессы, связанные с необходимостью восстановления утраченных данных, простаивают. Или это промежуток времени, в течение которого СХД остается недоступной в случае аварии, например, для RTO = 2 ч это означает, что в случае аварии СХД будет снова доступна для работы через 2 ч.

Соответственно для обеспечения требований по доступности к хранимым данным в СХД необходимо подобрать такую архитектуру и параметры функционирования СХД, которые обеспечат оптимальные величины RPO и RTO, при которых будут достигнуты требуемые показатели доступности.

В связи с этим для построения математического аппарата будем использовать основные параметры RPO, RTO и число групп приоритетности.

#### Способ обеспечения отказоустойчивости СХД

Глобальной тенденцией развития современных СХД является внедрение технологий кластеризации с территориально-распределенным хранением данных, поэтому наибольший интерес для исследований и разработки представляют так называемые распределенные СХД [11]. Такие параметры СХД, как число и тип жестких дисков, входящих в кластер, способы их группировки, число серверов управления в кластере, определяются исходя из требований к производительности информационного обмена данных и средней величины задержки во время исполнения операции нагрузки.

Для обеспечения отказоустойчивости СХД применяется автоматическое резервирование хранимых данных и использование технологий защиты и восстановления данных в промежутке между целевыми точками восстановления. Для установления значения величин интервала между целевыми точками восстановления  $T_{RPO}$  и целевого времени восстановления  $T_{RTO}$  применен способ, полученный на основе мате-

матического моделирования, и частично подтвержденный экспериментальными наблюдениями.

В условиях постоянного значения величины производительности информационного обмена запишем следующую формулу для вычисления величины интервала между целевыми точками восстановления  $T_i^{RPO}$ , согласно требований нагрузки по каждой группе приоритетности:

$$T_i^{RPO} = \frac{V_i}{\lambda_i * W_i}, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  — число групп приоритетности;  $T_i^{RPO}$  — величина интервала между целевыми точками восстановления для  $i$ -ой группы приоритетности, (с);  $V_i$  — величина максимального объема допустимых потерь оперативных данных при возникновении форс-мажорных обстоятельств для бизнес-процессов  $i$ -ой группы приоритетности, в байтах;  $\lambda_i$  — средняя производительность информационного обмена данными, согласно требованиям нагрузки для  $i$ -ой группы приоритетности, (байт/с) — доля операций записи в СХД в информационном обмене бизнес-процессов  $i$ -ой группы приоритетности, (%).

Окончательная величина периода между точками RPO по каждой группе приоритетности выбирается по следующему правилу:

$$T_{RPO} = \min \left\{ \bigcup_i (T_i^{RPO}, T_i^{admin}) \right\}, \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  — число групп приоритетности;  $T_{RPO}$  — временной интервал между целевыми точками восстановления для СХД с учетом максимального объема допустимых потерь оперативных данных, (с);  $T_i^{RPO}$  — временной интервал между целевыми точками восстановления для  $i$ -ой группы приоритетности, рассчитанный по формуле (1), (с);  $T_i^{admin}$  — временной интервал между целевыми точками восстановления для  $i$ -ой группы приоритетности, заданный администратором СХД, исходя из некоторых экспертных оценок.

Возможность восстановления данных в промежутке времени между соседними точками автоматического резервного копирования в рассматриваемом способе обеспечивается одной из следующих технологий защиты и восстановления данных с использованием [11–13]:

- одного блока четности (например, RAID-5);
- двух блоков четности (например, RAID-6, RAID-DP);
- двух блоков четности (например, RAID-TEC).

Через величину  $T_{RTO}$  определяется интервал времени, за который возможно оперативное восстановление данных с соблюдением требований нагрузки. Величина  $T_{RTO}$  рассчитана по следующей формуле:

$$T_{RTO} = (t_{RS} + t_{RB}) * N_b, \quad (3)$$

где  $T_{RTO}$  — целевое время восстановления данных по выбранной технологии защиты и восстановления

данных, в секундах;  $t_{RS}$  — время чтения страйпа данных<sup>3</sup> из СХД, (с);  $t_{RB}$  — время восстановления блока данных по выбранной технологии защиты и восстановления данных, (с);  $N_b$  — число блоков данных, требующих восстановления.

Время восстановления блока данных  $t_{RB}$  может считаться постоянным для каждой выбранной технологии защиты и восстановления данных и устанавливается экспериментальным путем. При этом время чтения страйпа данных из СХД зависит от типа используемых жестких дисков, особенностей технологий, примененных изготовителем жестких дисков, степени заполненности жестких дисков и может быть выражена формулой:

$$t_{RS} = \frac{s_b}{v(type_{hdd}, tech_{hdd}, fill_{hdd})}, \quad (4)$$

где  $t_{RS}$  — время чтения страйпа данных СХД, (с);  $s_b$  — размер блока данных, используемый в информационном обмене с СХД, (байт);  $v(type_{hdd}, tech_{hdd}, fill_{hdd})$  — скорость информационного обмена данными с жесткими дисками СХД, (байт/с);  $type_{hdd}$  — тип жестких дисков, используемых в СХД;  $tech_{hdd}$  — дополнительные гарантии производителя жестких дисков на производительность жестких дисков данного типа с учетом особенностей применяемых технологий их изготовления;  $fill_{hdd}$  — степень заполненности жестких дисков СХД, (%).

Величина  $v(type_{hdd}, tech_{hdd}, fill_{hdd})$  устанавливается экспериментальным путем.

При фиксированных значениях размера блока данных  $s_b$ , используемого в информационном обмене с СХД, и времени чтения страйпа данных из СХД  $t_{RS}$  по формуле (4) можно построить графики зависимости  $T_{RTO}$  для выбранных технологий защиты и восстановления данных от объема информации, необходимой к восстановлению (рис. 1). Видно качественное различие графиков зависимости RTO технологии защиты и восстановления данных от количества информации, необходимой к восстановлению, объясняемое различным числом блоков четности, генерируемых технологиями защиты и восстановления информации и связанным с этим числом операций, определяющим величину «время восстановления блока».

Нагрузка на СХД характеризуется величиной максимально допустимой задержки во время исполнения операции, которая накладывает ограничение сверху на допустимые значения величины  $T_{RTO}$  для каждой группы приоритетности и определяет величину — «объем данных, допускающий восстановление за время максимально допустимой задержки во время исполнения операции» (рис. 2) по формуле:

$$V_{Lat} = N_b * s_b, \quad (5)$$

где  $V_{Lat}$  — объем данных, который может быть восстановлен по выбранной технологии защиты и вос-

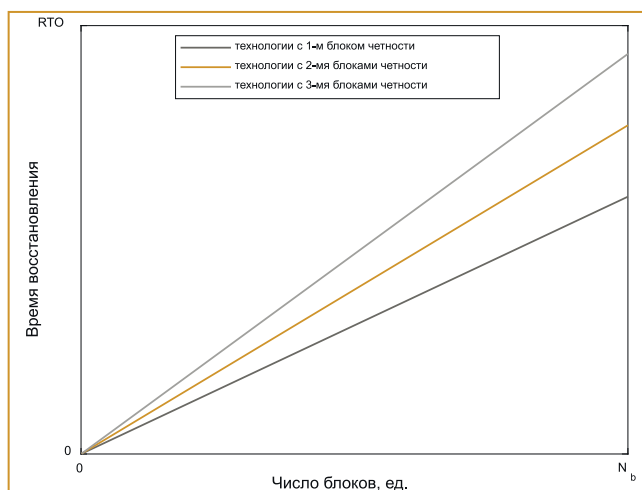


Рис. 1. Графики зависимости  $T_{RTO}$  технологии защиты и восстановления данных от объема информации, необходимой к восстановлению

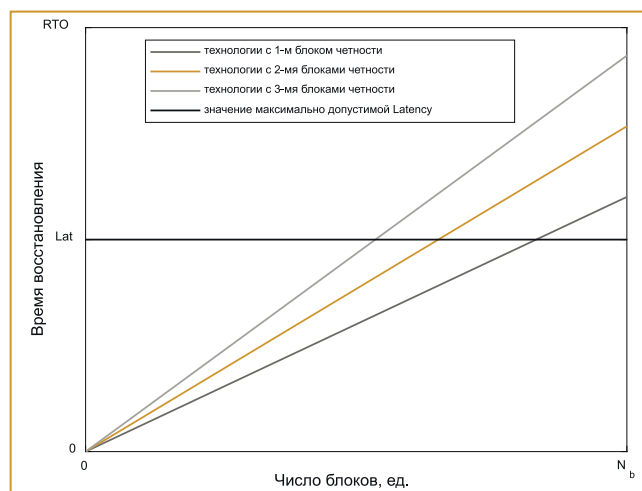


Рис. 2. Графики зависимости  $T_{RTO}$  технологии защиты и восстановления данных от объема информации, необходимой к восстановлению с пороговыми значениями по величине максимально допустимой задержки во время исполнения операции

становления данных за время, не превышающее величины максимально допустимой задержки во время исполнения операции, (байт);  $N_b$  — число блоков данных, допускающих восстановление за время максимально допустимой задержки во время исполнения операции по выбранной технологии защиты и восстановления данных;  $s_b$  — размер блока данных, используемый в информационном обмене СХД, (байт); или, используя (3):

$$V_i^{Lat} = \frac{Lat_i * s_b}{t_{RS} + t_{RB}}, \quad (6)$$

где  $i=1,2,\dots,n$ ,  $n$  — число групп приоритетности;  $V_i^{Lat}$  — объем данных, который может быть восстановлен по выбранной технологии защиты и восстанов-

<sup>3</sup> Страйп данных - объем данных, записываемых за одну операцию ввода/вывода.

ления данных за время, не превышающее величины максимально допустимой задержки во время исполнения операции для  $i$ -ой группы приоритетности, (байт);  $Lat_i$  — максимально допустимая задержка при исполнении операции в информационном обмене бизнес-процессов  $i$ -ой группы приоритетности, (с);  $s_b$  — размер блока данных, используемый в информационном обмене с СХД, (байт);  $t_{RS}$  — время чтения страйпа данных в выбранной технологии защиты и восстановления данных, (с);  $t_{RB}$  — время восстановления блока данных в выбранной технологии защиты и восстановления данных, (с).

Окончательный интервал времени между точками RPO, установленный исходя из требования обеспечения времени восстановления данных, не превышающий максимально допустимой задержки во время исполнения операции для выбранной технологии защиты и восстановления данных, примет вид:

$$T_i^{Lat} = \frac{V_i^{Lat}}{\lambda_i * R_i}, \quad (7)$$

где  $i=1,2,\dots,n$ ,  $n$  — число групп приоритетности;  $T_i^{Lat}$  — временной интервал между соседними точками RPO для  $i$ -ой группы приоритетности, установленный исходя из требования обеспечения времени восстановления данных, не превышающий максимально допустимой задержки при исполнении операции для выбранной технологии защиты и восстановления данных, (с);  $V_i^{Lat}$  — объем данных, который может быть восстановлен по выбранной технологии защиты и восстановления данных за время, не превышающее величины максимально допустимой задержки во время исполнения операции для  $i$ -ой группы приоритетности, (байт);  $\lambda_i$  — средняя производительность информационного обмена бизнес-процессов  $i$ -ой группы приоритетности, (байт/с);  $R_i$  — доля операций чтения из СХД в информационном обмене бизнес-процессов  $i$ -ой группы приоритетности, (%).

При выборе конкретной технологии защиты и восстановления данных для СХД определенной архитектуры помимо величины  $T_{RTO}$  также необходимо учитывать следующие характеристики, влияющие на отказоустойчивость СХД:

- среднестатистическую вероятность отказа жесткого диска в СХД за период времени  $T_{RPO}$ ;
- среднестатистическую вероятность отказа второго диска во время восстановления системы после отказа первого диска за период времени  $T_{RPO}$ ;
- среднестатистическую вероятность отказа двух дисков данного типа за период времени  $T_{RPO}$ ;
- среднестатистическую вероятность отказа более двух дисков данного типа за период времени  $T_{RPO}$ .

Указанные выше данные накапливаются и уточняются в результате обработки статистических данных, формирующихся в процессе промышленной эксплуатации СХД.

Наиболее уязвимыми традиционно считаются технологии защиты и восстановления данных с исполь-

зованием одного блока четности, хотя они же являются наименее затратными с точки зрения падения общей производительности информационного обмена с СХД [12–14].

Поэтому, если риски от использования технологий защиты и восстановления данных с использованием одного блока четности по результатам анализа статистических данных признаются недопустимо высокими, тогда соответствующие технологии исключаются из дальнейшего рассмотрения при проектировании СХД.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что при повышенной вероятности массового практически одновременного отказа дисков определенной партии фактически безальтернативным вариантом является интеграция в СХД технологий защиты и восстановления данных с использованием трех блоков четности.

При выборе групп технологий защиты и восстановления данных, отвечающих требованиям отказоустойчивости СХД, окончательный выбор осуществляется по лучшим показателям производительности информационного обмена с СХД.

#### Определение периодичности создания точек восстановления данных

После выбора технологии защиты и восстановления данных и уточнения значения величин интервала времени между точками автоматического резервирования (с учетом минимально допустимого объема потерянных при аварии данных  $T_{RPO}$  и целевого времени восстановления данных по выбранной технологии защиты и восстановления данных  $T_{RTO}$ ) представляется возможным по формуле (8) определить периодичность создания точек восстановления данных в процедуре автоматического резервирования хранимых в СХД данных:

$$T = \min \left( T_{RPO}, \bigcup_i T_i^{Lat} \right), \quad (8)$$

где  $i=1,2,\dots,n$ ,  $n$  — число групп приоритетности;  $T$  — минимально допустимый временной интервал создания точек восстановления данных, (с);  $T_{RPO}$  — временной интервал между целевыми точками восстановления СХД с учетом максимального объема допустимых потерь оперативных данных, (с);  $T_i^{Lat}$  — временной интервал между соседними точками RPO для  $i$ -ой группы приоритетности, установленный исходя из требования обеспечения времени восстановления данных, не превышающий максимально допустимой задержки при исполнении операции для выбранной технологии защиты и восстановления данных, (с).

Практическая значимость вышеописанной математической модели на основе расчета требуемых интервалов позволяет составить такое расписание резервирования СХД, при котором будет гарантирована сохранность данных, позволяющая подобрать опти-

*Люди чаще думают, чем говорят, а из-за этого теряется много информации.*

Бернар Вербер

мальный интервал между резервированием данных, что уменьшит нагрузку на аппаратное обеспечение сервера СХД, то есть в результате удастся повысить эффективность работы СХД при гарантиях сохранности данных.

#### Заключение

Анализ получаемого практического опыта, проводимые исследования, а также построение математической модели позволили найти способ обеспечения отказоустойчивости СХД и определить периодичность создания точек восстановления данных для распределенной СХД [10]. В результате применения данного способа в практических решениях СХД удалось обеспечить необходимые требования оптимальной нагрузки по максимальному объему допустимых потерь оперативных данных и максимально допустимой задержки во время исполнения операций по сравнению с другими методами [2–3]. Автором статьи будут продолжены исследования в решении данной проблемы, а также поиск иных методов для улучшения показателей эффективности работы распределенных СХД.

#### Список литературы

1. Шевцов В.Ю., Абрамов Е.С. Анализ современных систем хранения данных // НБИ технологии. 2019. Т. 13. № 1. С. 25-30.
2. Червяков Н.И., Бережной В.В., Дерябин М.А., Назаров А.С. Принципы построения отказоустойчивой системы хранения данных на основе системы остаточных классов // Мягкие измерения и вычисления. 2019. № 11 (24). С. 17-29.
3. Лобанов А.К. Методы построения систем хранения данных // Jet Info Online. 2003. № 7.
4. Силин А. Производительность СХД: как определить, какая система подходит бизнесу? // Журнал сетевых решений/LAN. 2017. № 6.
5. Иванов И.П., Гантимуров А.П., Виниченко А.Д., Босов А.В. Выбор архитектурных решений построения системы хранения данных в технологии Wes-Scale IT // Перспективы науки. 2019. № 8(119). С. 65-70.
6. Иванов И.П., Гантимуров А.П., Виниченко А.Д., Босов А.В. Методы оптимизации информационных потоков в бизнес-процессах с распределенной системой хранения данных // Перспективы науки. 2019. № 9(120). С. 35-39.
7. Иванов И.П., Гантимуров А.П., Виниченко А.Д., Босов А.В. Повышение общей производительности информационной системы путем решения оптимизационной задачи подбора параметров технологии QoS // Перспективы науки. 2019. № 12(123). С. 78-82.
8. Аварийное восстановление: RPO и RTO. ИТ Град. URL: <https://zen.yandex.ru>
9. Как выбрать СХД, не выстрелив себе в ногу. <https://habr.com/ru/post/457956/>.
10. Вайнинг Р. Разумные подходы к защите и восстановлению данных // Журнал сетевых решений. 2018. № 10.
11. Типы архитектур систем хранения данных. URL: <https://vbponomarev.wordpress.com>.
12. Patterson D., Gibson G., Katz R. A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID).
13. White J., Chris Lueth C, Bell J. NetApp. NETAPP TECHNICAL REPORT. RAID-DP: Реализация NetApp схемы Double-Parity RAID для защиты данных. Март 2013 | TR-3298.
14. RAID Levels [Электронный ресурс]. <https://www.ixbt.com/storage/raids.html>

*Гантимуров Андрей Павлович — соискатель ученой степени, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.  
E-mail: a.gantimurov@npobaum.ru*

#### Компания MPREIS переходит на решение на базе Android™ от Zebra Technologies для управления процессом выполнения заказов в физических магазинах

Zebra Technologies Corporation (ZBRA) объявила, что компания в сфере розничной торговли MPREIS Warenvertriebs GmbH (Австрия) переводит свою систему выполнения заказов в физических магазинах на решение Zebra для мобильных устройств Android, чтобы улучшить рабочие процессы, оптимизировать операционную деятельность и повысить эффективность.

Компании MPREIS было необходимо перейти с ОС Windows на мобильные устройства Android и внедрить эффективную систему управления выполнением заказов, объединяющую склады и магазины. Компания развернула комплексное решение, включая сенсорные компьютеры TC56 и TC57, а также LifeGuard™ for Android, передовую систему защиты для обеспечения более длительных жизненных циклов.

Используя Mobility DNA для корпоративных приложений и инструмент StageNow на базе Android для разработки программного обеспечения и его интеграции на устройствах Zebra, компания MPREIS может легко внедрять приложения, разработанные Modellwerkstatt. Услуги Zebra OneCare помогают сократить простои, обеспечивая непрерывность производства.

Сотрудников 238 магазинов MPREIS снабдили сенсорными компьютерами Zebra для доступа к приложению электронных ценников (ESL). Сенсорные компьютеры TC57 используются при получении товара, для проверки его доступности, еженедельного складского учета и предоставляют точные сведения о запасах для управления отсутствующими товарами в MPREIS. Это повышает производительность сотрудников и оптимизирует операционную деятельность по выполнению заказов в магазинах.

[Http://www.zebra.com](http://www.zebra.com)