



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-5-95-103>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.75

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ INDUSTRY 4.0

В. А. КАСУМОВ¹, Ш. Х. АЛИЕВА², Т. ДЖ. ГАРАШЛЫ², М. Я. АСАДОВА²

¹Бакинский инженерный университет (г. Хырдалан, Республика Азербайджан)

²Азербайджанский технический университет (г. Баку, Республика Азербайджан)

Поступила в редакцию 14.03.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Рассмотрены существующие и широко используемые в настоящее время технологии хранения данных. Отмечено, что рост объемов цифровых информационных ресурсов астрономическими темпами привел к бурному развитию технологий их создания, хранения, доступа к ним. В условиях Industry 4.0 особое значение приобретает использование цифровых технологий для создания интеллектуальных и взаимосвязанных процессов производства и обработки данных. Технология блокчейн и облачные технологии стали неотъемлемыми компонентами современной цифровой трансформации. С учетом текущего состояния технологий хранения данных и блокчейна, сетевых возможностей, потребностей предприятий и других факторов исследованы возможности выбора и применения средств и технологий хранения, принципы совместной реализации и применения разных технологий, а также современные подходы виртуализации и технология блокчейн для решения вопросов распределенного хранения данных.

Ключевые слова: хранилище данных, DAS, SAN, NAS, виртуализация, VSAN, блокчейн, облачные технологии, облачные вычисления, облачные хранилища.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Современные технологии хранения данных в условиях Industry 4.0 / В. А. Касумов [и др.] // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 5. С. 95–103. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-5-95-103>.

MODERN DATA STORAGE TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0

VAGIF A. GASIMOV¹, SHAHLA KH. ALIYEVA², TURKEL J. GARASHLI²,
MARYAM Y. ASADOVA²

¹Baku Engineering University (Khirdalan, Republic of Azerbaijan)

²Azerbaijan Technical University (Baku, Republic of Azerbaijan)

Submitted 14.03.2024

Abstract. Existing and currently widely used data storage technologies are considered. It is noted that the growth in the volume of digital information resources at an astronomical pace has led to the rapid development of technologies for their creation, storage, and access to them. In the context of Industry 4.0, the use of digital technologies to create intelligent and interconnected production and data processing processes is of particular importance. Blockchain technology and cloud technologies have become integral components of modern digital transformation. Taking into account the current state of data storage and blockchain technologies, network capabilities, enterprise needs and other factors, the possibilities of selecting and using storage tools and technologies, principles of joint implementation and application of different technologies, as well as modern virtualization approaches and blockchain technology for solving distributed data storage issues have been explored.

Keywords: data storage, DAS, SAN, NAS, virtualization, VSAN, blockchain, cloud technologies, cloud computing, cloud storage.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Gasimov V. A., Aliyeva Sh. Kh., Garashli T. J., Asadova M. Y. (2024) Modern Data Storage Technologies in the Context of Industry 4.0. *Doklady BGUIR*. 22 (5), 95–103. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-5-95-103> (in Russian).

Введение

В последнее время стремительный рост объемов цифровых информационных ресурсов привел к бурному развитию технологий их создания, хранения, доступа к ним. Четвертая промышленная революция (Industry 4.0) включает в себя взаимодействие многих современных программно-технических концепций, таких как хранение и анализ больших данных, облачные вычисления, интернет вещей, интеграция вычислительных систем и машин, киберфизические системы, интеллектуальные технологии, кибербезопасность. Таким образом, Industry 4.0 предполагает использование цифровых технологий для создания интеллектуальных и взаимосвязанных процессов производства и обработки данных.

Industry 4.0, технология блокчейн и облачные технологии стали неотъемлемыми компонентами современной жизни, позволяя внедрять инновации и повышать эффективность в различных отраслях. Технология блокчейн предоставляет безопасное и прозрачное решение для идентификации выполняемых транзакций и полученной информации. Облачные хранилища позволяют хранить и обрабатывать большие объемы данных, образующихся в результате этих технологий.

В статье рассматриваются существующие и широко используемые в настоящее время технологии хранения данных. С учетом текущего состояния технологий хранения данных и блокчейна, сетевых возможностей, потребностей предприятий и т. д. исследованы возможности их выбора и применения, принципы совместной реализации и использования, а также современные технологии виртуализации и блокчейна для решения вопросов распределенного хранения данных.

Традиционные технологии хранения

DAS (Direct-Attached Storage – система хранения данных с прямым подключением) – это технология цифрового хранилища, которая может напрямую подключаться к серверу или компьютеру. Устройства DAS могут быть размещены внутри персонального компьютера или сервера (как на внутренних жестких дисках), либо за их пределами (как на внешних жестких дисках и носителях данных). Используемая операционная система предоставляет пользователю довольно простой интерфейс для выполнения таких операций, как чтение, изменение, удаление, переименование и т. д. данных, хранящихся на этом устройстве.

Когда технология DAS была впервые применена, она считалась новой, решающей проблемы хранения данных своего времени, и именно в этом отношении занимала значительное место. Но потребности предприятий и частных пользователей в хранилище многократно превышали объемы отдельных дисков и ограниченное пространство дисковой памяти, доступных на серверах. С другой стороны, подключение большего количества дисковых устройств к одному серверу привело бы к снижению работоспособности и производительности сервера. Таким образом, если на каком-либо сервере требовалось больше памяти, единственный способ перераспределить избыточную память, доступную на другом сервере, – это физически удалить диск с сервера, на котором есть чрезмерная память, и добавить его на сервер, на котором не хватает памяти. Однако это не всегда было легко и обычно приводило к проблемам с хранением дисковых устройств и увеличению затрат¹.

Технология SAN (Storage Area Network – сеть хранения) смогла решить эту проблему, создав централизованное хранилище для серверов в единой сети. SAN решила многие проблемы, возникающие с дисковыми массивами, позволив создать централизованное хранилище и назначить единую систему логических адресов (logical unit number) на серверах внутри сети. Она является высокоскоростной сетью, соединяющей серверы баз данных, различные типы устройств хранения и оборудования (т. е. устанавливающей связь между ними) и обеспечивающей обмен

¹ Storage Types (DAS, NAS & SAN). Available: <https://networkwalks.com/storage-types-das-nas-san/>.

данными между этими устройствами с целью обслуживания большого числа пользователей сети. Скорость передачи информации по кабелям Ethernet LAN была недостаточной для ввода/вывода (I/O) на диск, а также дорогостоящей. Но, несмотря на эти недостатки, SAN произвела революцию в качестве хранилища данных в центрах обработки данных.

Параллельно с SAN использовалась технология NAS (Network-Attached Storage – сетевое хранилище), которая обладала большей гибкостью, но не имела полных возможностей протокола хранения. NAS – это файловая система, обеспечивающая хранение данных по локальной сети и получение этих данных авторизованными лицами. Средства хранилища NAS, используемые в организациях и на предприятиях, позволяют пользователям хранить свои данные самостоятельно, поскольку оно настроено для распространения файлов. В любом месте, где есть интернет, можно получить доступ к этим данным с помощью облачных приложений, также обеспечивается защита данных за счет резервного копирования (рис. 1). Наряду с функцией распределения файлов, низкая стоимость технологии NAS (дешевле, чем SAN) и возможность реализации через Ethernet привела к более широкому ее использованию².



Рис. 1. Общая структурная схема технологий DAS, SAN и NAS
Fig. 1. General structural diagram of DAS, SAN and NAS technologies

Еще одна особенность средств хранения NAS заключается в том, что оно имеет свою операционную систему. Средства хранения NAS обычно используют такие операционные системы, как Linux, FreeNAS, NASLite, Nexenta OS, OpenSolaris и т. д. Средство хранения NAS в сети выполняет свою деятельность с помощью таких протоколов, как SMB, NFS, HTTP, AFS, UPnP. Оно может быть организовано из большого количества дисков и позволяет решить проблему возникновения потери данных благодаря особенностям RAID-операций.

В настоящее время администратор сети может устанавливать и управлять двумя или более сетями SAN и серверами DAS в рамках одной технологии NAS. А это привело к появлению некоторых препятствий для применения технологии SAN, и совместное использование таких разных компонентов не дало желаемого эффекта³. Многим производителям SAN и NAS приходилось применять специальные протоколы и инструменты управления, что способствовало дополнительной нагрузке на технологии. Сегодня DAS, SAN, NAS, которые осуществляют миграцию информации между устройствами для решения проблемы хранения данных, по отдельности не так полезны для эпохи смарт-технологий, в том числе интернета вещей. Возникали серьезные проблемы с управлением структурированными и неструктурированными данными в используемых хранилищах, что привело к необходимости виртуализации хранилищ³.

² Blockchain Technology for the 5G-Enabled Internet of Things Systems: Principle, Applications and Challenges - Scientific Figure on ResearchGate. Available: https://www.researchgate.net/figure/Migration-from-centralized-cloud-storage-to-blockchain-based-distributed-storage_fig4_333572137.

³ Anne Taylor (2018) *Blockchain is Coming for Storage*.

Технологии виртуализации хранилищ данных

Следует отметить, что в последние годы увеличение емкости запоминающих устройств, кластеризация и виртуализация вычислительных ресурсов и ресурсов памяти множества компьютеров, применение технологий Grid и Cloud Computing для обработки и хранения данных практически смогли устранить проблемы с хранением³. Под виртуализацией памяти понимается процесс, обеспечивающий возможность использования данных, собранных (хранящихся) на ряде отдельных физических устройств, как на одном устройстве, с помощью специального программного обеспечения. Преимущества в виртуализации памяти – это то, что она предлагает возможность систематически объединять в единое устройство хранения все устройства хранения, принадлежащие различным сетям, провайдерам и центрам обработки данных, и управлять ими. В целом виртуализация хранилищ повышает производительность, масштабируемость и прибыль организации. Все больше компаний используют эту технологию, поскольку виртуализация хранилища помогает объединять данные под одной консолью и управлять ими, обеспечивать гибкость и масштабируемость источников хранения путем отделения программного обеспечения от инфраструктуры⁴.

На уровне данных существует два типа виртуализации хранилища: блочная и файловая. Блочная является наиболее распространенным типом виртуализации и применяется в организациях. Сначала система идентифицирует все доступные блоки по отдельности, независимо от местоположения или провайдера, а затем сохраняет эти данные в физической памяти, связывая адрес с устройством виртуальной памяти.

VSAN (Virtual Storage Area Network – виртуальная сеть хранения данных) – сеть виртуальных хранилищ, созданная компанией Cisco, имеет такой же принцип работы, что и VLAN (Virtual Local Area Network – виртуальная локальная сеть). Принцип работы технологии VSAN основан на принципе работы сети хранения данных SAN, однако в отличие от SAN она имеет не физическую, а логическую структуру (рис. 2).

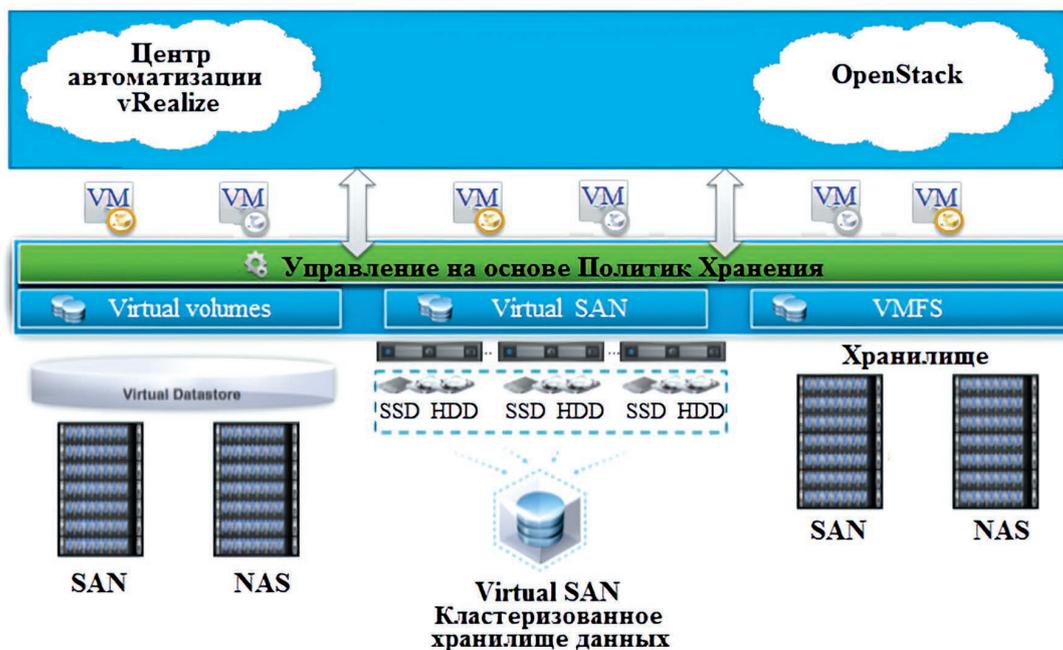


Рис. 2. Архитектурное описание принципа работы сети хранилища VSAN⁵
Fig. 2. Architectural description of the principle of operation of the VSAN storage network⁵

⁴ Rawlinson Rivera (2015) *SDS – The Missing Link – Storage Automation for Application Service Catalogs*. Available: <https://blogs.vmware.com/virtualblocks/2015/04/14/sds-the-missing-link-storage-automation-for-application-service-catalogs/>.

⁵ Tianqi Yu, Xianbin Wang, Yongxu Zhu (2019) *Blockchain Technology for the 5G-Enabled Internet of Things Systems: Principle, Applications and Challenges*.

Помимо необходимости в сетевых устройствах, кабелях для создания физической системы SAN, процессы установки, настройки и подключения этих устройств требуют как временных, так и финансовых затрат. Система VSAN логически устанавливается на поддерживающие ее устройства и использует ресурсы физической системы SAN. Поэтому, применяя VSAN, нет необходимости в каких-либо финансовых затратах с точки зрения технического обслуживания. Процесс создания виртуального хранилища SAN осуществляется через коммутатор. Формирование большого количества инструментов виртуального хранилища SAN позволяет целенаправленно управлять сетевым трафиком. Таким образом, созданная система приобретает управляемую структуру².

Любые проблемы, возникающие в средствах хранения VSAN, могут быть проанализированы более простым способом и решены быстрее, чем в SAN. Кратковременное решение проблемы в системе позволяет устранить возникшие угрозы ее доступности. В частности, средство хранения VSAN считается более удобным с точки зрения решения проблем для крупных предприятий.

Виртуализация на уровне файлов выполняется через устройства NAS. Поскольку управление различными устройствами NAS по отдельности требует много времени и затрат, этот метод не считается рентабельным. Помимо индивидуального управления для устройств NAS необходимо, чтобы пользователи знали имя физического пути для доступа к файлу. Перенос данных со старых устройств NAS на новые устройства NAS вызывает проблему, которая приводит к дополнительным расходам для компании. Виртуализация хранилищ предоставляет следующие преимущества.

Простое управление. С каждым днем данные подвергаются все большему количеству атак, что увеличивает потребность в виртуализации хранилищ. Возможности поиска, сбора данных и контроля за их сохранностью очень важны для организации. С помощью виртуализации хранилищ можно реализовать простой контроль и решить эту проблему [1].

Более удобное резервное копирование. Если произойдет непредвиденное событие, такое как кибератака или стихийное бедствие, в результате чего критические данные будут потеряны, повреждены или уничтожены, то возможность восстановления этих данных из нескольких приложений очень важна для организаций. Внедрение технологии SAN позволяет решить эту проблему, т. е. запоминать текущее состояние источников данных через SAN. Таким образом, становится возможным сделать резервную копию или восстановить любую информацию в любое время.

Копирование и восстановление данных. Позволяет удобно переносить (копировать) данные с одного устройства на другое независимо от местоположения. Сегодня многие организации хранят свои устройства резервного копирования в Data Recovery.

Снижение затрат. Наличие центральной панели для управления несколькими хранилищами не только экономит время и прибыль, но и упрощает правильное использование ресурсов и управление ими.

Виртуализация хранилищ – не новая технология. Организации годами используют эту технологию для решения проблем с хранением данных. По мере того как объемы данных быстро увеличиваются, потребность в виртуализации хранилищ с каждым днем возрастает. Но это также приносит с собой некоторые трудности [2]. Проблемы, возникающие при виртуализации хранилищ, таковы:

– гибкость и масштабируемость: виртуализация хранилища не всегда позволяет выбрать удобное приложение из-за нескольких технических препятствий, таких как масштабируемость. Организации, как правило, имеют различные аппаратные и программные компоненты, предоставляемые отдельными производителями, что затрудняет управление различными программными и аппаратными средствами. В этих случаях в распределенных системах хранения может возникнуть необходимость в быстрых обновлениях из-за сложного характера приложений и утечек данных. Кроме того, такие проблемы, как отсутствие гибкости, масштабируемости, большего анализа данных и быстрого доступа к ним, являются важными факторами, которые компании должны учитывать при выборе правильного решения проблем хранения данных;

– безопасность данных: как всегда, она остается важной проблемой. Хотя некоторые эксперты утверждают, что виртуальные машины и серверы более безопасны, чем физические устройства. Кроме того, проблемы безопасности и управления данными также могут возникать при виртуализации хранилищ, и виртуальные среды могут привлекать новые кибератаки [3, 4];

– управление и интеграция: виртуализация полностью портит внешний вид данных. Решение виртуализированного хранилища должно быть интегрировано с существующими инструментами и системами, иметь возможность работать или взаимодействовать с существующей инфраструктурой.

Подобные проблемы также ускорили процесс перехода к использованию облачных хранилищ на следующем этапе. С каждым днем все больше данных собирается как внутри организации, так и в облачных средах. Рост использования интеллектуальных технологий увеличивает потребность в облачных хранилищах.

Облачные технологии считаются одним из чрезвычайно успешных подходов к выполнению вычислений данных. Здесь большие объемы цифровой информации централизованно хранятся и управляются через облачные сервисы IaaS (Infrastructure as a service – инфраструктура как услуга), PaaS (Platform as a service – платформа как услуга), SaaS (Software as a service – программное обеспечение как услуга). В то же время, хотя выбор облака повышает производительность и эффективность, можно столкнуться с некоторыми проблемами, такими как задержка и пропускная способность. Это снижает скорость доступа к информации из базы данных. Настройка и управление несколькими каналами данных делают сети передачи данных слишком сложными [5, 6].

Поддержание работы всех сетей хранения данных в контекстах защиты конфиденциальных данных, обеспечения удобства работы с облаками и распределения данных между хранилищами – это совершенно разные концепции. Требование одновременного доступа к данным, находящимся в разных хранилищах, ставит задачу сохранения всего потока данных, что создает дополнительные проблемы, связанные со скоростью передачи данных и пропускной способностью.

Надежное и безопасное распределенное хранение данных в облаках

Когда приобретается новое запоминающее устройство с определенным объемом, это ограничивает количество устройств хранения данных в пакете сети хранения данных (SAN), его архитектуру и структуру резервного копирования. Если SAN выходит за рамки своих возможностей, возникает путаница с точки зрения распределения нагрузок, переключения между ними, и управление становится трудным. При возникновении таких проблем реализуются новые инструменты для сбора данных в хранилищах. Для расширения существующей среды хранения облачные технологии позволяют хранить на сервере одной компании данные других организаций и отдельных пользователей. Но даже те, кто предоставляет облачные сервисы, сталкиваются с определенными ограничениями, связанными с возможностями, которые они имеют внутри организации.

Внедрение технологии блокчейн на облачном уровне считается более надежным из-за возникновения таких проблем, как вмешательство в данные тех, кто использует технологию общего хранения данных, их кража, модификация и т. д. [7]. Хотя технология блокчейн была впервые реализована для криптовалют, позже она нашла широкое применение в банковской, финансовой и многих других сферах деятельности. Технология блокчейн, как распределенная и надежная система, очень удобна для безопасного хранения данных. Организации имеют возможность хранить свои важные данные через блокчейн и быстро получать к ним доступ (рис. 3).

Блокчейн – это технология хранения данных в узлах децентрализованной сети, которая использует свободное пространство устройств хранения данных на жестком диске своих пользователей в глобальном масштабе. Эта децентрализованная инфраструктура представлена как альтернатива централизованному облачному хранилищу и способна решить многие проблемы, с которыми сталкивается централизованная система. В хранилище блокчейна данные сначала разбиваются на блоки, а копии этих блоков хранятся на отдельных компьютерах, чтобы предотвратить потерю данных во время ошибок, которые могут возникнуть в процессе передачи и хранения. Данные шифруются с помощью секретного ключа пользователя при вводе в блоки. Это также позволяет обеспечить конфиденциальность этих данных в сети. Блоки распределяются по децентрализованным узлам сети. Взаимодействия блоков записываются в реестре блокчейна, что позволяет проверять и синхронизировать операции между узлами в системе. Цель технологии блокчейн – постоянно фиксировать и контролировать эти взаимодействия, что предотвращает несанкционированное изменение данных.

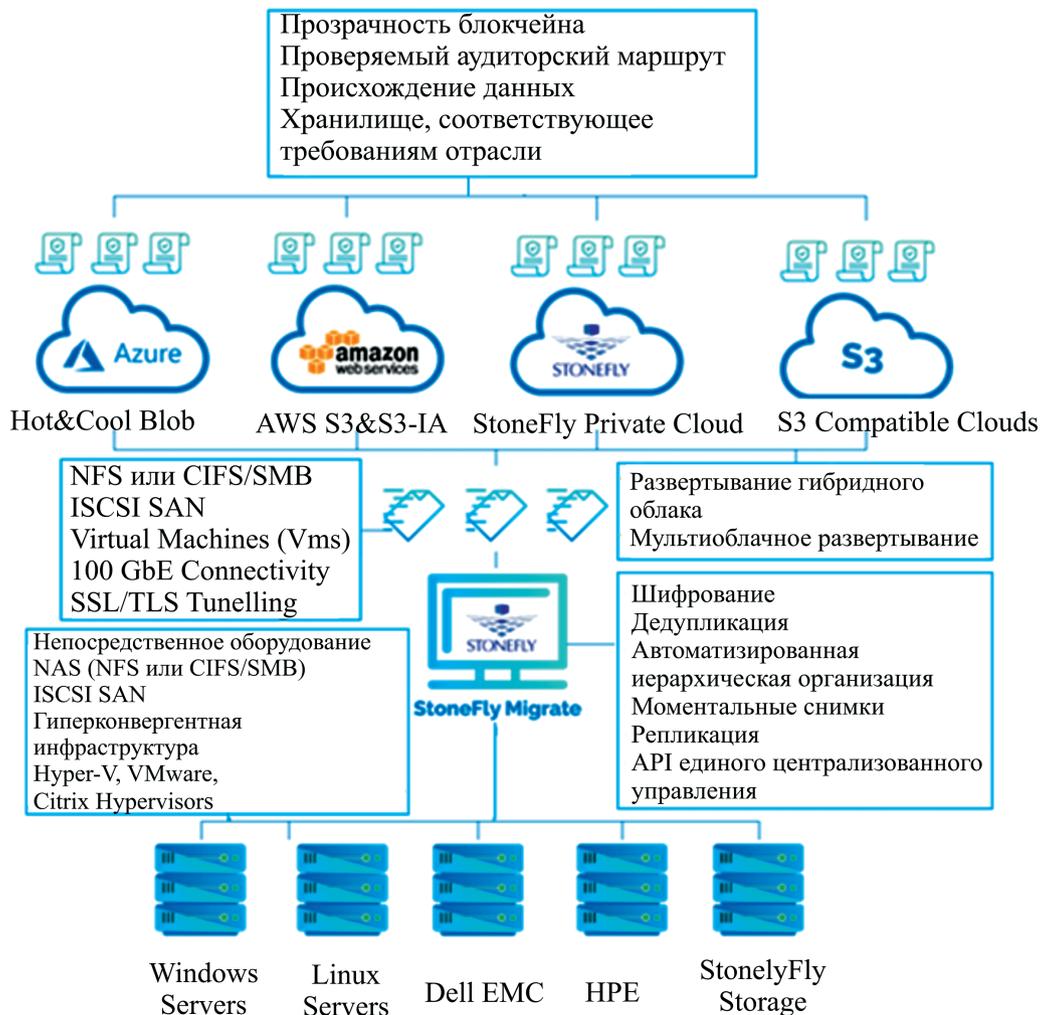


Рис. 3. Взаимосвязь между технологиями блокчейн и облачными хранилищами
Fig. 3. The relationship between blockchain technologies and cloud storage

Таким образом, технология блокчейн, которая представляет собой постоянно открытый реестр для хранения и управления данными, предлагает возможности использования облачных технологий в различных областях, чтобы устранить все проблемы безопасности и обеспечить надежность данных [8]. Вторжения и атаки на данные часто сосредоточены на центральной базе данных внутри организации или в облаке. Когда база данных или сервер подвергаются атаке, возникают проблемы, по крайней мере временно, с их функционированием. В модели блокчейна, если хакер может взломать какой-то блок, это не будет влиять на другие блоки, и, таким образом, транзакции (операции) могут продолжаться. Тот же принцип остается в силе и при отключении электроэнергии.

Когда имеется необходимость прохождения через узлы в сети и синхронизации больших объемов данных в цепочке хранения, процесс может замедлиться, несмотря на то, что он является надежным и продолжительным [7, 8]. Но блокчейн, как парадигма, объединяющая облако и хранилища данных, в настоящее время находится на начальной стадии разработки. Ожидается, что он даст желаемый эффект в ближайшем будущем (рис. 4).

Одна из дополнительных проблем, которую необходимо решить, связана с различными хранилищами данных, имеющими высокую сложность и стоимость для большинства организаций. Еще один вопрос, столь же важный, как создание, подготовка, обработка данных, – это управление и безопасное хранение данных, приведенных в наиболее подходящую форму. Имеется много факторов, которые важно учитывать в процессах управления и хранения. Эти факторы включают различные инструменты, такие как создание резервных копий данных, шифрование, обновление и использование безопасных интернет-протоколов [6, 9].

Загрузка данных Избыточность Сегментирование и шифрование Распределение по хостам

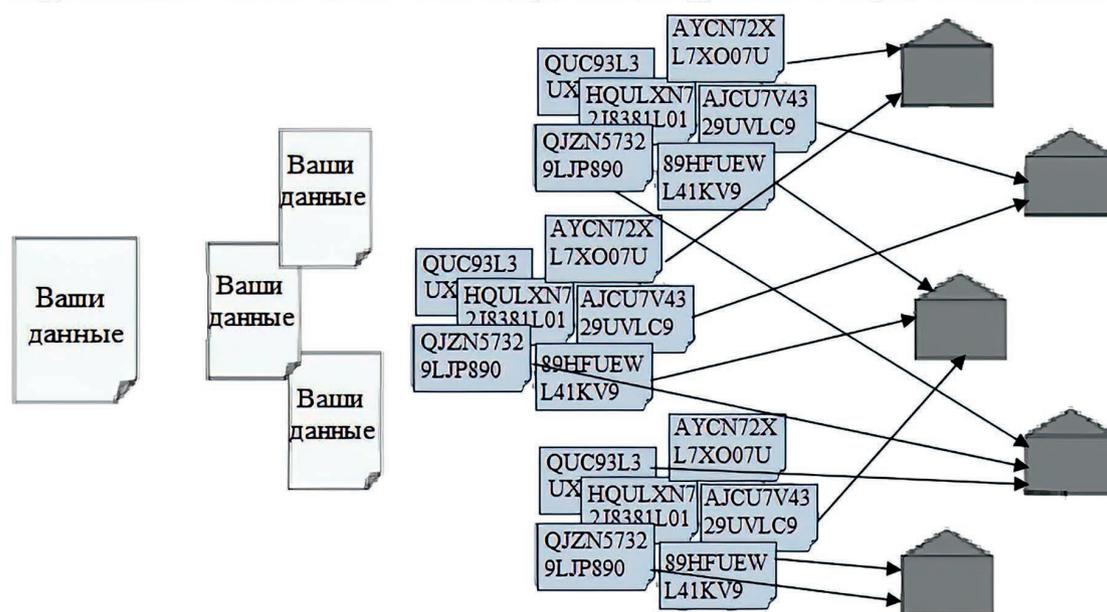


Рис. 4. Облачное хранилище blockchain⁶
Fig. 4. Blockchain cloud storage⁶

Заключение

1. Технологии хранения нашли свое применение и развились в процессах управления, хранения и доступа к информации. В результате исследования технологий DAS, SAN и NAS, являющихся основными технологиями хранения данных в сетях, на основе анализа их особенностей, достоинств и недостатков сделан вывод о том, что совместное использование SAN и NAS имеет преимущество, обеспечивает высокую эффективность и т. д.

2. С целью устранения проблем и трудностей, с которыми может столкнуться пользователь, предлагается использовать самые современные технологии хранения VSAN и технологии виртуализации хранилищ. При этом особое внимание следует уделить облачным хранилищам для решения задач хранения данных.

3. С внедрением облачных хранилищ и сопутствующей им технологии блокчейн можно достигать более надежного и безопасного хранения данных.

Список литературы / References

1. Wang S., Wang X., Zhang Y. (2019) A Secure Cloud Storage Framework with Access Control Based On Blockchain. *IEEE Access*. 7, 112713–112725.
2. Zhu L., Gai K., Li M. (2019) Exploring Topics in Blockchain-Enabled Internet of Things. *Cham, Switzerland: Springer*. 109–114.
3. Xu Q., Aung K. M. M., Zhu Y., Yong K. L. (2018) A Blockchain-Based Storage System for Data Analytics in the Internet of Things. In *New Advances in the Internet of Things*. Springer, Cham, Switzerland. 119–138.
4. Xueping Liang, Sachin Shetty, Deepak Tosh, Charles Kamhoua, Kevin Kwiat, Laurent Njilla (2017) Prochain: A Blockchain-Based Data Provenance Architecture in Cloud Environment with Enhanced Privacy and Availability. In *Proceedings of the 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid Computing*. 468–477. <https://doi.org/10.1109/CCGRID.2017.8>.
5. Chenhan Xu, Kun Wang, Mingyi Guo (2017) Intelligent Resource Management in Blockchain-Based Cloud Data Centers. *IEEE Cloud Computing*. 4 (6), 50–59. <https://doi.org/10.1109/MCC.2018.1081060>.
6. Zheng Z., Xie S., Dai H. N., Chen X., Wang H. (2018) Blockchain Challenges and Opportunities: A Survey. *International Journal of Web and Grid Services*. 14 (4), 352–375.

⁶ Blockchain and Cloud Storage: Industry Introduction. Available: <https://investmentbank.com/blockchain-cloud-industry-intro/>.

7. Gasimov V. A., Aliyeva Sh. Kh. (2021) Using Blockchain Technology to Ensure Security in the Cloud and IoT Environment. *International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications, June 11–13, Turkey*.
8. Gasimov V., Aliyeva Sh. (2020) Basic Components of the Digital Business: Cryptocurrency, Blockchain, Cloud Technologies and Internet of Things. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Turkey*. 97–105.
9. Gasimov V., Aliyeva Sh. (2020) The Role of Cloud Technology in the Formation of Digital Economy. *International Conference “Digital Economy: Modern Challenges and Real Opportunities”*. UNEC, Baku.

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Касумов В. А., д-р техн. наук, проф., декан факультета информационных и компьютерных технологий, Бакинский инженерный университет

Алиева Ш. Х., ст. преп. каф. компьютерных технологий, Азербайджанский технический университет (АТУ)

Гарашлы Т. Дж., докторант каф. компьютерных технологий, АТУ

Асадова М. Я., докторант каф. компьютерных технологий, АТУ

Адрес для корреспонденции

AZ 0101, Республика Азербайджан,
г. Хырдалан, ул. Гасана Алиева, 120
Бакинский инженерный университет
Тел.: +994 70 213-99-98
E-mail: vaqasimov@beu.edu.az
Касумов Вагиф Алиджавад оглы

Information about the authors

Gasimov V. A., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Dean of the Faculty of Information and Computer Technologies, Baku Engineering University

Aliyeva Sh. Kh., Senior Lecturer at the Department of Computer Technologies, Azerbaijan Technical University (ATU)

Garashli T. J., Doctoral Student at the Department of Computer Technologies, ATU

Asadova M. Y., Doctoral Student at the Department of Computer Technologies, ATU

Address for correspondence

AZ 0101, Republic of Azerbaijan,
Khirdalan, Hasan Aliyev St., 120
Baku Engineering University
Tel.: +994 70 213-99-98
E-mail: vaqasimov@beu.edu.az
Gasimov Vagif Alijavad oglu