

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-4-146-163>

УДК 621.396

Организация data-центров: информационно-когнитивные аспекты

А. С. Сизов¹, Е. А. Титенко¹✉, Ю. А. Халин¹,
М. А. Титенко¹, Р. В. Калинин¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: johntit@mail.ru

Резюме

Целью исследования является систематизация свойств data-центров и поиск путей повышения производительности сети центров на основе коллективного доступа, совмещения шагов хранения и обработки информации и ее тиражирования.

Методы исследования основаны на теории организации сложных информационно-аналитических систем и систем искусственного интеллекта. Применение принципов распределено-территориальной организации центров, отложенного сбора данных, обработки данных на основе расчетно-аналитических моделей и моделей представления знаний позволяет создавать архитектуры data-центров, реконфигурируемые под базовые вычислительные процессы. Для описания архитектуры верхнего уровня были созданы и проанализированы типовая и модифицированный информационно-управляющие циклы обработки информации. На основе методов теории графов дана оценка сложности рассмотренным циклом. При этом использованы как стандартные количественные, так и структурные показатели, что позволило получить рекомендации по организации data-центров.

Результаты. Созданный модифицированный информационно-управляющий цикл сетевой обработки информации отличается повышением связности вершин и внутренних циклов обработки. Сравнение рассчитанных средних выходных показателей по стандартному и модифицированному циклам показало целесообразность соединений шагов в составе циклов, моделирующих некоторые когнитивные возможности человека при обработке большого объема неструктурированных данных (декомпозиция, агрегация, анализ, обобщение). Построенный модифицированный цикл имеет более высокие средние и относительные показатели сложности.

Заключение. Совмещение в информационно-управляющем цикле шагов хранения, обработки информации и выделения новых закономерностей позволяет трактовать современные data-центры как интеллектуальные сетевые хранилища-поисковики. Созданный модифицированный информационно-управляющий цикл позволяет итерационно выполнять шаги систематизации, обобщения, анализа данных для получения новых порций информации. Эта особенность обеспечивает повышение общей производительности data-центра и снижение стоимости владения информационными ресурсами.

Ключевые слова: сеть; data-центр; структурная сложность; искусственный интеллект; граф.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Сизов А. С., Титенко Е. А., Халин Ю. А., Титенко М. А., Калинин Р. В., 2024

Для цитирования: Организация data-центров: информационно-когнитивные аспекты / А. С. Сизов, Е. А. Титенко, Ю. А. Халин, М. А. Титенко, Р. В. Калинин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 4. С. 146–163. [https://doi.org/ 10.21869/2223-1536-2024-14-4-146-163](https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-4-146-163)

Поступила в редакцию 08.10.2024

Подписана в печать 11.11.2024

Опубликована 27.12.2024

Building data centers: information and cognitive aspects

Alexander S. Sizov¹, Evgeny A. Titenko¹ ✉, Yuri A. Khalin¹,
Mikhail A. Titenko¹, Roman V. Kalinin¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: johnstit@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to systematize the properties of data centers and to find ways to increase the productivity of a network of centers based on collective access, combining the steps of storing and processing information and its replication.

Methods. The research methods are based on the theory of organization of complex information and analytical systems and artificial intelligence systems. The application of the principles of distributed-territorial organization of centers, deferred data collection, data processing based on computational and analytical models and knowledge representation models allows you to create data center architectures reconfigurable for basic computing processes. To describe the architecture of the upper level, standard and modified information and control cycles of information processing were created and analyzed. Based on graph theory methods, the complexity of the considered cycles is estimated. At the same time, both standard quantitative and structural indicators were used, which made it possible to obtain recommendations on the organization of data centers.

Results. The modified information and control cycle of network information processing is characterized by increased connectivity of vertices and internal processing cycles. A comparison of the calculated average output indicators for standard and modified cycles showed the expediency of combining steps in cycles that simulate certain human cognitive capabilities when processing a large amount of unstructured data (decomposition, aggregation, analysis, generalization). The constructed modified cycle has higher average and relative complexity indicators.

Conclusion. The combination of information storage and processing steps in the information management cycle and the identification of new patterns makes it possible to interpret modern data centers as intelligent network storage-search engines. The created modified information and control cycle allows iteratively performing the steps of systematization, generalization, and data analysis to obtain new pieces of information. This feature provides an increase in the overall productivity of the Data Center and a reduction in the cost of ownership of information resources.

Keywords: network; data center; structural complexity; artificial intelligence; graph.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Sizov A.S., Titenko E.A., Khalin Yu.A., Titenko M.A., Kalinin R.V. Building data centers: information and cognitive aspects. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2024;14(4):146–163

Введение

Современные data-центры как опорные узлы цифровой инфраструктуры заняли ведущее положение в методах и средствах повышения эффективности получения, обработки больших неструктурированных данных и извлечения из них дополнительной информации [1]. С одной стороны, такие центры выступают как хранилища корпоративных, служебных данных для организаций и компаний, органов государственной власти, сетевых холдингов, используя установленный порядок и процедуры разграничения доступа по уровням информации, с другой – современные data-центры – это самостоятельные узлы для выявления метаданных, новых закономерностей и их применения в смежных областях, что позволяет существенно ускорить бизнес и производственные процессы. Согласно прогнозам ведущих аналитических компаний, общий объем мирового рынка технологий обработки больших данных и бизнес-аналитики будет ежегодно расти на 10–12%. Объем российского рынка, по разным оценкам, составляет пока около 10 млрд руб. Однако прогнозируется его увеличение до 250 млрд руб. в 2024 г., что уже является существенным фактором развития экономики и IT-индустрии [2].

Ключевой момент – коллективный доступ к информации снижает стоимость

владения ресурсом за счет многократного воспроизводства информации и ее тиражирования. Ранее выделенные процессы сбора, накопления, анализа и принятия решений основывались на принципах локализации (информация может появиться в одном месте), ограниченности распространения (срок жизни и доступность информации конечны), специализации (информация понятна узкому кругу лиц и не может быть интерпретирована извне). Теперь data-центры являются локомотивами новых принципов и подходов: информация распределена по инфраструктуре (принцип распределенности и трансформации); однажды возникнув, информация циркулирует в информационной среде (принцип свободного доступа); полученная информация общепонятна и интерпретируема (принцип равноправного владения и принятия решений) [3].

Большие данные – это структуры форматы данных, имеющие огромный объем и нетрадиционную логику для типовых аналитических приложений и программ [2]. Их еще можно определить по таким характеристикам, как высокая скорость изменения или большое разнообразие подтипов, включая символьные, реляционные данные. В основе систематизации данных и извлечения скрытых закономерностей лежат следующие общеизвестные алгоритмы и технологии [2]:

- поиск и извлечение информации из новых источников;
- представление информации и знаний на ее основе;
- преобразование в единый формат;
- запись по центрам с релевантным содержимым.

Достаточно часто data-центры выполняют функции интеллектуальных хранилищ, обеспечивая ряд функций баз знаний по выявлению, прежде всего, поверхностных знаний, ряда закономерностей, которые в дальнейшем могут стать основой моделей представления знаний и метаданных [4]. Повторяя некоторые когнитивные функции человека, совмещение принципов обработки и хранения позволяет получить новое эмерджентное качество – воспроизводство объема информации без потерь содержания [5].

Первыми клиентами централизованной обработки, хранения и распространения информации были предприятия отрасли телекоммуникаций, электроэнергетики [6]. Также выделяются компании нефтяной и газовой сферы, банковские учреждения, службы информационно-рыночных площадок и другие потребители, активно использующие в своей деятельности информационные технологии [7]. Наиболее продвинутыми областями применения информационных технологий, технологий искусственного интеллекта всегда были высокодоходные, конкурентные области, области с критически распределяемым ресурсом, например электроэнергетика, коммерческий транспорт и др. [8]. С

течением времени data-центры приобрели большую популярность в традиционно плановых областях: образование, культура, медицина, органы государственной власти, что позволил систематизировать и поднять уровень выполняемых процессов [9]. Компании генерируют большое количество информации, которая при обработке, в т. ч. методами обработки знаний, будет полезна для смежных бизнес-процессов и получения прибыли [10].

Современный источник децентрализованного использования ИТ-ресурсов – активное распространение «облачных технологий» и использование коллективного хранилища для сбора, накопления и обработки удаленно расположенных данных [11]. Децентрализованный доступ к ИТ-ресурсам основан на автономной обработке копий данных и синхронизации полученных решений в соответствии с общим управляющим алгоритмом работы сети центров [12].

Тем не менее принципы общей архитектуры и организации работы сети разнотипных data-центров пока полностью не проработаны. Открытыми являются вопросы совместимости и открытости данных, корректности и релевантности их обработки. В связи с этим общие вопросы организации процессов в data-центрах являются актуальными.

Применительно к data-центру, схема традиционного информационно-управляющего цикла обработки информации имеет следующий вид (рис. 1). В ней обработка информации носит

однонаправленный характер. При этом стадии цикла преобразования и получения информации более высоких форм и видов никак не связаны с начальными

стадиями цикла, что не позволяет вести интенсивную обработку информации в пределах одной итерации.

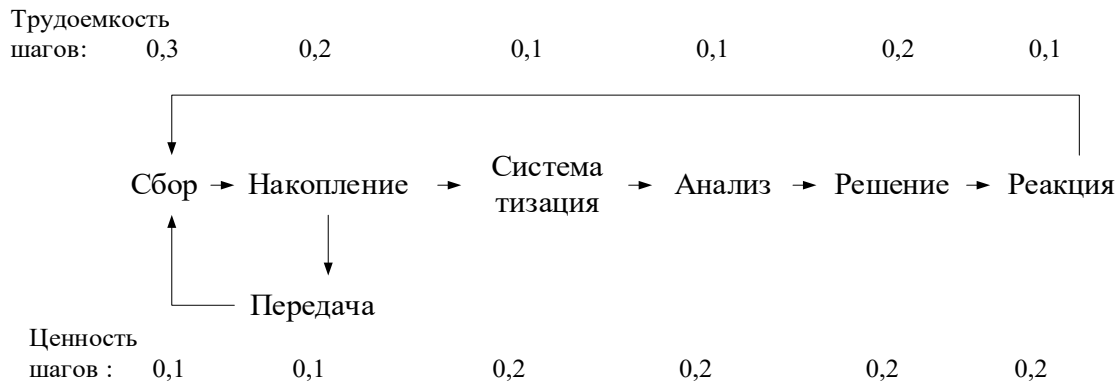


Рис. 1. Типовой информационно-управляющий цикл обработки информации

Fig. 1. Typical information and command cycle of data processing

Особенность данного цикла связана с введением по его шагам нормированных весов трудоемкости (Tr) и ценности ($Cost$) информации, которые могут иметь взаимно противоположные зависимости.

Применение моделей обработки знаний и создание сетевой инфраструктуры data-центров позволяет уменьшить стоимость владения информационными ресурсами за счет реализации межсетевых обменов и перетоков информации между хранилищами как особый вид взаимодействия центров [13].

Такой подход, конечно, усложняет схему обработки информации. Тем не менее он позволяет снизить общую стоимость владения информационным ресурсом за счет добавления новых сведений без трудозатратных шагов первичного сбора, накопления информации.

Тогда для сети Data-центров целесообразно получить такой вид цикла и его

аппаратно-программный облик, чтобы функция $f(Tr, Cost)$ владения информацией имела вид

$$f(Tr, Cost) \rightarrow \min \quad (1)$$

Материалы и методы

В настоящее время актуальными являются требования по проектированию облика ИТ-инфраструктуры таким образом, чтобы одновременно обеспечить необходимую производительность и гибкость data-центров (функциональная эффективность) наряду с обеспечением требований по стабильности, надежности работы. Это требует выработки такого облика ИТ-инфраструктуры, которая бы позволила решать следующие задачи [14]:

- внедрение единой стратегии развития ИТ-инфраструктуры;
- интеграция и оптимизация информационных систем;

- обеспечение бесперебойности получения и передачи информации;
- реализация поисково-аналитических действий в фоновом режиме;
- беззапросная (по ретроспективе) подготовка информации.

Концепция развития ИТ-инфраструктуры базируется на основе анализа концепций ведущих производителями аппаратного и программного обеспечения (Hewlett-Packard – Adaptive Enterprise, SUN – SUN Reference Architectures, Microsoft – Microsoft Net System Architecture, ORACLE – Grid Computing) [15]. Эти концепции объединяет идеология реконфигурируемой архитектуры, способной связать основные бизнес-процессы с обеспечивающими процессами в зависимости от пропорций информации между стадиями обработки в цикла (рис. 1). При такой реализации реконфигурируемая архитектура предполагает также реализацию следующих опций [16]:

- динамическая оптимизация ресурса – способность ресурса гибко реагировать на изменение приоритетности поступающих задач и процессов для выполнения нескольких, разнородных функций;
- автоматизированное и интеллектуальное управление – необходимая инфраструктура для автоматического управления, диагностики и реагирования на изменение требований обработки в data-центрах;
- самодиагностика и автоматическое изменение связей, коррекция ошибочных действий.

Основными правилами адаптации сети Data-центров являются упрощение, стандартизация, модульность, интеграция [17].

Упрощенные приложения (рис. 2) более легко адаптировать, их проще использовать, соединять и модифицировать. Один из подходов – консолидация ресурсов. В дополнение к простоте управления, уменьшение количества серверов также сокращает время, необходимое на создание резервных копий, восстановление информации и, как следствие, время простоя. Другими словами, стоимость владения упрощенными приложениями меньше в сравнении с традиционными приложениями.

Стандартные приложения могут применяться к различным процессам, процедурам, технологиям и приложениям. Стандартизация ИТ-инфраструктуры достигается следующими способами:

- использованием промышленно-стандартизованных интерфейсов, платформ и методов разработки программного обеспечения;
- созданием общих процессов и политики для управления изменениями;
- синхронизацией ИТ-приложений с заданными потребностями бизнес-процессов;
- поддержкой и совместимостью с имеющимися технологиями и компонентами;
- определением общих требований к системам и алгоритмам управления, безопасности, конфигурации и др.



Рис. 2. Основные правила работы сети data-центров

Fig. 2. Basic rules for the operation of a network of data centers

В общем случае модульное построение сети системы позволяет изменять один из ее компонентов, не влияя на другие. Модульность достигается одним из способов:

- группировкой системы по признаку целевых задач;
- построением систем таким образом, чтобы они могли соединяться или разъединяться практически в реальном времени;
- возможностью изменения любой группы, конфигурации или компоненты без влияния на другие элементы системы.

Интеграция облегчает внесение изменений благодаря единообразной среде, упрощающей понимание, управление и модификацию.

Вышеперечисленные принципы (упрощение, стандартизация, модульность, интеграция) позволяют получить выгоды, направленные на последующую оценку трудоемкости и важности (ценности) шагов обработки информации. Они позволяют объединить в рамках единой архитектуры базовые свойства интеллектуальных (когнитивных) и вычислительных (преобразующих) процессов (рис. 3).

Как желаемый итог реконфигурируемая архитектура имеет иерархический вид (рис. 4), в котором каждый последующий уровень обеспечивает уменьшение стоимости владения информацией за счет ее тиражирования, воссоздания и генерации новой информации из уже имеющейся.

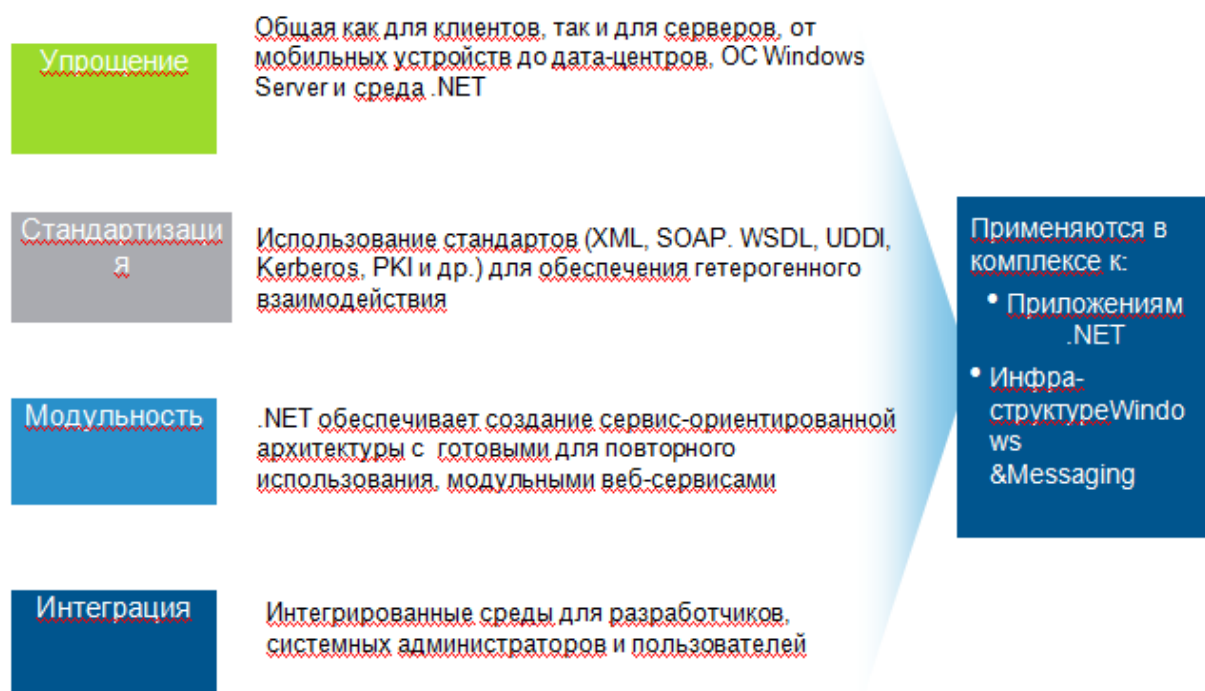


Рис. 3. Структурная схема объединения интеллектуальных и вычислительных процессов

Fig. 3. Structural diagram of the join of intellectual and computational processes

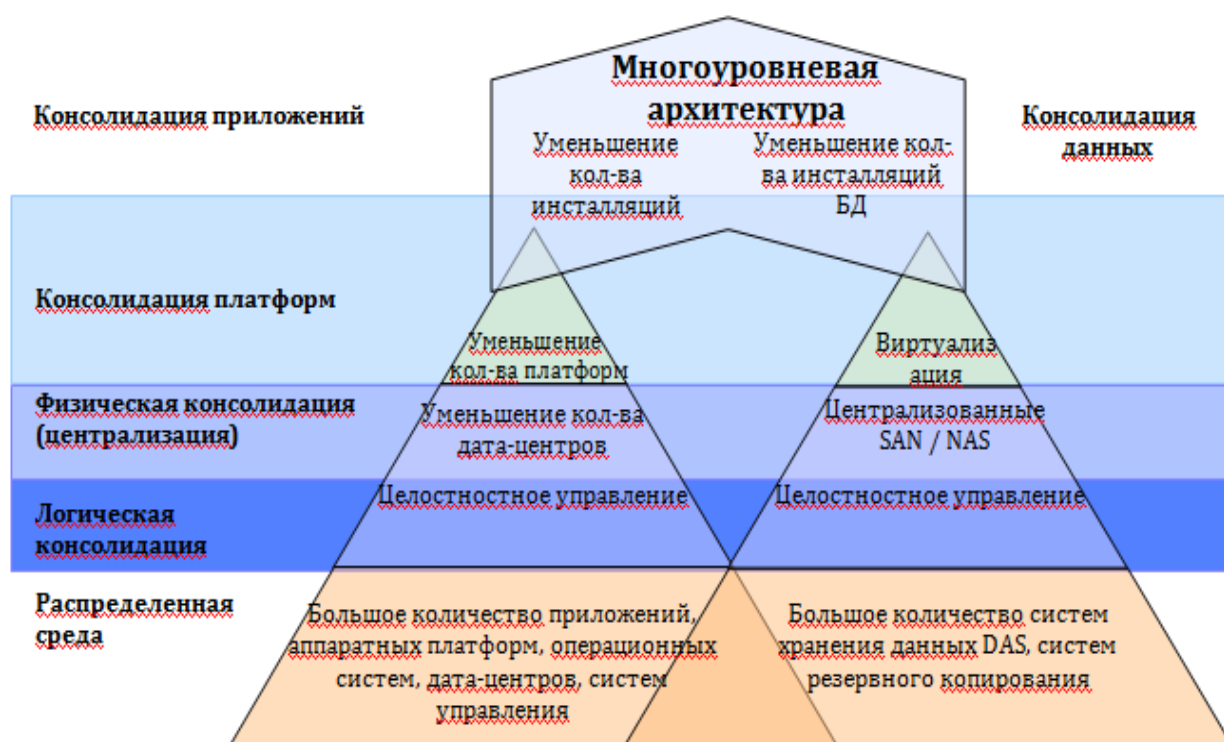


Рис. 4. Иерархия инфраструктурных средств в архитектуре сети центров

Fig. 4. Hierarchy of infrastructure solutions in the architecture of the network of centers

Такой подход к созданию облика перспективной реконфигурируемой архитектуры сети data-центров позволяет получить практико-ориентированную

схему поступления и обработки сетевых запросов с учетом возможности введения дополнительных бизнес-процессов по обработке информации (рис. 5).



Рис. 5. Многоуровневая структура приложений в составе data-центра

Fig. 5. Multi-level structure of applications within the data Center

Результаты и их обсуждение

На основе полученных решений по организации data-центров создан модифицированный информационно-управляющий цикл обработки информации. Он представляется как разветвленная последовательность (сеть) шагов, отличающаяся двунаправленным характером продвижения информации и возможностью многократного ее перетока между шагами обработки и избирательного объединения порций информации, что позволяет увеличить в пределах

текущей итерации объем циркулирующей информации. Данный подход к увеличению интенсивности обработки данных используется также в сетевых моделях обучения, позволяющих совместить шаги выборки и анализа [18].

На рисунке 6 показаны относительные веса шагов обработки, что свидетельствует об уменьшении стоимости владения информацией, под которой понимается взвешенное отношение входной и выходной информации к общему объему обрабатываемой информации.



Рис. 6. Модифицированный информационно-управляющий цикл обработки информации

Fig. 6. Modified information management information processing cycle

Оценка сложности организации сети выполняется на основе ее общих характеристик в виде

$$k = \frac{V_{TOTAL} \cdot E_{TOTAL}}{N_{TOTAL}}, \quad (2)$$

где V_{TOTAL} – общее число вершин в сети; E_{TOTAL} – общее число дуг в сети; N_{TOTAL} – общее число уровней в сети.

Тем не менее выражение (2) через число вершин-дуг, приходящихся на один уровень, дает количественную оценку сложности сети, оставляя в стороне структурные свойства сети. Для расширенной оценки циклов обработки информации (учет отношений следования, связности, ветвления и др.) использованы следующие показатели сложности и связности в моделях семантические сети или нейронные сети (при обучении) [19; 20]:

– средний коэффициент ветвления сети KV (количество вершин-потомков без повторов, приходящихся на один уровень);

– средний коэффициент связности сети KL (количество вершин-родителей, приходящихся на один уровень);

– средний коэффициент следования KS (количество внутренних вершин, приходящихся на один уровень);

– относительный коэффициент ветвления сети KV' (количество потомков относительно общего числа вершин);

– относительный коэффициент связности сети KL' (количество родителей относительно общего числа вершин);

– относительный коэффициент следования KS' (количество внутренних вершин относительно общего числа вершин);

– относительный коэффициент путей S , приходящихся на одну дугу.

Входными значениями для оценки графов выступают показатели:

– входные, выходные, внутренние дуги E_{IN} , E_{OUT} , E_{INSIDE} ;

– вершины-родители, вершины-потомки V_{MAIN} , V_{CHILD} ;

– количество путей S .

Средний коэффициент ветвления вычисляется как

$$KV = \frac{\sum_{f=1}^{N_{TOTAL}} V_{CHILD_f}}{N_{TOTAL}}. \quad (3)$$

Средний коэффициент связности вычисляется как

$$KL = \frac{\sum_{f=1}^{N_{TOTAL}} V_{MAIN_f}}{N_{TOTAL}}. \quad (4)$$

Средний коэффициент следования вычисляется как

$$KS = \frac{\sum_{f=1}^{N_{TOTAL}} V_{MIDL_f}}{N_{TOTAL}}. \quad (5)$$

Относительный коэффициент ветвления вычисляется как

$$KV' = \frac{V_{CHILD}}{V_{TOTAL}}. \quad (6)$$

Относительный коэффициент связности вычисляется как

$$KL' = \frac{V_{MAIN}}{V_{TOTAL}}. \quad (7)$$

Относительный коэффициент следования вычисляется как

$$KS' = \frac{V_{MIDL}}{V_{TOTAL}}. \quad (8)$$

Относительный коэффициент путей определяется как отношение общего количества путей S в сети к общему числу дуг E_{TOTAL} в сети:

$$TR = \frac{S}{E_{TOTAL}}. \quad (9)$$

Для оценки сложности и связности шагов циклов в пределах одной итерации построены неориентированные графы (рис. 7), соответствующие информационно-управляющим циклам на рисунках 1 и 6, где 1-11 – вершины, отвечающие шагам обработки информации.

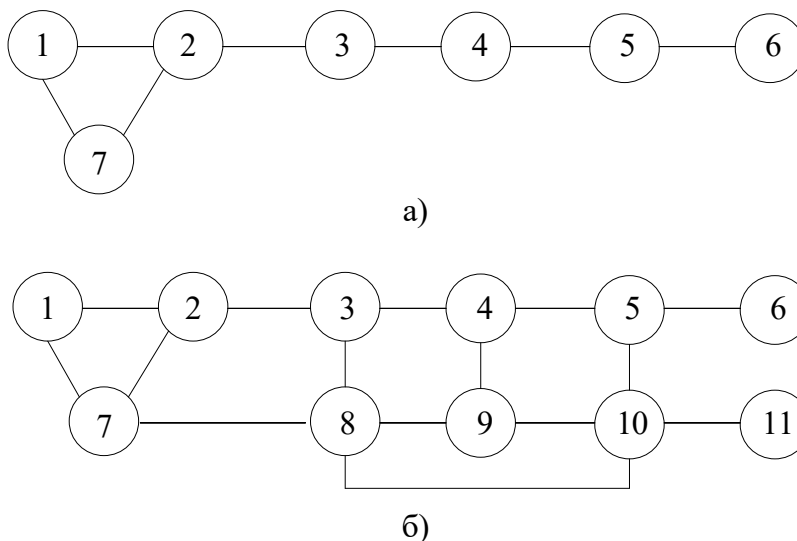


Рис. 7. Графы, соответствующие информационно-управляющим циклам:
а – граф для стандартного информационно-управляющего цикла;
б – граф для модифицированного информационно-управляющего цикла

Fig. 7. Graphs corresponding to information control cycles: а – graph for the standard information control cycle; б – graph for the modified information control cycle

В таблицах 1 и 2 даны исходные характеристики графов и рассчитанные по ним показатели. Сравнение рассчитанных выходных показателей по стандартному и модифицированному циклам обосновывает поддержку таких структурных возможностей, как связность, ветвление, следование элементов

данных, моделирующих когнитивные возможности человека при обработке большого объема неструктурированных данных (декомпозиция, агрегация, анализ, обобщение), используемых в различных моделях и средствах представления и обработки знаний для организаций различных отраслей [21; 22].

Таблица 1. Исходные характеристики графов (число вершин, связей, уровней)

Table 1. Input characteristics of graphs (number of nodes, connections, levels)

Количественные характеристики графов	Граф-1		Граф-2	
V_{TOTAL}	7		11	
E_{TOTAL}	7		15	
N_{TOTAL}	6		6	
k		8,17		27,5
V_{MAIN}	6		12	
V_{CHILD}	7		14	
V_{MIDL}	5		8	
S	3		15	

Таблица 2. Рассчитанные показатели сложности

Table 2. Calculated complexity indicators

Структурные показатели графов	Граф-1	Граф-2
Средний коэфф. ветвления KV	1,17	1,36
Средний коэфф. связности KL	1,00	1,12
Средний коэфф. следования KS	0,66	0,82
Общий средний (арифметическое)	0,94	1,1
Относительный коэфф. ветвления KV'	1,00	1,27
Относительный коэфф. связности KL'	0,86	1,09
Относительный коэфф. следования KS'	0,71	0,72
Относительный коэфф. путей TR	0,43	1,00
Общий относительный (арифметическое)	0,75	1,02

Построенный модифицированный информационно-управляющий цикл обработки информации в data-центрах имеет более высокий средний показатель (увеличение в 1,17 раза) и

относительный показатель (увеличение в 1,36 раза), что обосновывает эффективность объединения шагов систематизации, анализа и обобщения в ходе многократной обработки данных.

Выводы

Анализ вариантов организации data-центров показал, что перспективной архитектурой выступает сетевая архитектура, использующая «облачные технологии» и отличающаяся адаптацией состава и межэлементных коммуникаций под особенности предметной области.

Способность совмещения шагов хранения, обработки информации и выделения новых закономерностей позволяет

трактовать современные data-центры как интеллектуальные сетевые хранилища-поисковики. Созданный модифицированный информационно-управляющий цикл предписывает многократно выполнять стадии систематизации, обобщения, анализа данных для получения новых форм представления или новых порций информации, что обеспечивает повышение общей производительности и снижение стоимости владения коллективными информационными ресурсами.

Список литературы

1. Elistratova I. B., Pikuzo N. G. Distributed storage systems in data centers // *Science and Business: Ways of Development*. 2024. N 4(154). P. 19–23.
2. Большие данные в области электроэнергетики / О. А. Засухина, Е. В. Ершов, Л. К. Головатюков, Г. А. Шитенков // *Вестник Ангарского государственного технического университета*. 2022. № 16. С. 16–20.
3. Концепция экспертной системы предиктивного анализа работоспособности энергогенерирующего оборудования / Н. В. Крупенин, И. Е. Кудрявцев, В. Н. Крупенин, Р. Н. Поляков // *Автоматизация и IT в энергетике*. 2020. № 9(134). С. 14–16.
4. Модели представления и обработки знаний в информационно-аналитических системах / В. П. Добрица, Е. А. Титенко, Ю. А. Халин, А. И. Катыхин. Курск: Университетская книга, 2023. 172 с.
5. Лавриченко О. В. Когнитивное моделирование на базе неманипулируемых механизмов принятия управленческих решений // *Системный анализ и прикладная информатика*. 2015. № 4. С. 45–48.
6. Какурина А. В., Сизов А. С., Халин Ю. А. Когнитивное моделирование и прогнозирование потребления электроэнергии // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2023. Т. 27, № 4. С. 44–61. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-4-44-61>
7. Еремин Н. А., Степанян А. А., Столяров В. Е. Управление нефтегазовыми активами в эпоху технологий хранения и обработки больших массивов данных // *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. 2019. № 12(557). С. 5–14.
8. Костарев В. Ростелеком представил основные подходы к разработке стратегии цифровой трансформации компании // *Фотон-экспресс*. 2019. № 1(153). С. 6–7.

9. Ларина А. К., Григорян А. А. Состояние и перспективы развития российских центров обработки в рамках инфраструктуры программы «Цифровая экономика» // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. № 4. С. 146–149.
10. Еремин Н. А., Селенгинский Д. А. О возможностях применения методов искусственного интеллекта в решении нефтегазовых задач // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 1. С. 201–211.
11. Мельник Э. В., Клименко А. Б. Применение концепции «Туманных» вычислений при проектировании высоконадежных информационно-управляющих систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 2. С. 273–283.
12. Организация эффективного сетевого доступа к ресурсам дата-центра в распределённой инфокоммуникационной инфраструктуре / М. Р. Биктимиров, А. Б. Жижченко, А. П. Овсянников [и др.] // Механика, управление и информатика. 2014. Т. 6, № 6(51). С. 33–40.
13. Usmandilawar M., Syed F. Mathematical Modeling and Analysis of Network Service Failure in DataCentre // International Journal of Modern Education and Computer Science. 2014. Vol. 6, N 6. P. 30–36. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2014.06.04>
14. Соловьев А. Энергоэффективность: методы оптимизации инженерной инфраструктуры // Технологии и средства связи. 2012. № 4. URL: <http://lib.tssonline.ru/articles2/fix-corp/energoeffektivnost-metody-optimizatsii-inzhenernoy-infrastruktury/> (дата обращения: 19.09.2024)
15. Догучаева С. М. Динамика развития российского рынка облачных технологий и больших данных // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2023. № 1. С. 79–82.
16. Веселицкий О. И. Центры обработки данных-зеленый вектор развития цифровой экономики // Инновации и инвестиции. 2018. № 4. С. 214–220.
17. Судани Х. Х. Отказоустойчивость и безопасность доступа в облачных вычислениях // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 4(94). С. 115–119.
18. Формирование системы комплексного оценивания на основе обучающих вариантов / И. В. Буркова, В. Н. Бурков, О. Г. Добросердов [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 4(33). С. 126–138.
19. Анализ стратегий игровых пространств с использованием нейронных сетей / Р. А. Томакова, В. В. Джабраилов, М. В. Томаков [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 51–65.
20. Халин Ю. А., Киселева К. А., Альков В. В. Модель информационного взаимодействия конкурирующих предприятий // Известия Юго-Западного государственного

университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 3(24). С. 29–35.

22. Melnik E. V., Orda-Zhigulina M. V., Orda-Zhigulina D. V. Distributed Library Model Based on Distributed Ledger Technology for Monitoring and Diagnostics System // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 230. P. 501–509.

21. Метод построения нечеткой когнитивной карты конкурентоспособности машиностроительного предприятия / И. А. Буйневич, Ю. А. Криушина, Ю. А. Халин [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 3. С. 146–163.

References

1. Elistratova I.B., Pikuzo N.G. Distributed storage systems in data centers. *Science and Business: Ways of Development*. 2024;(4):19–23.

2. Zasukhina O.A., Ershov E.V., Golovatyukov L.K., Shitenkov G.A. Big data in the field of electric power industry. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Angarsk State Technical University*. 2022;(16):16–20. (In Russ.)

3. Krupenin N.V., Kudryavtsev I.E., Krupinin V.N., Polyakov R.N. The concept of an expert system for predictive analysis of the operability of energy generating equipment. *Avtomatizatsiya i IT v energetike = Automation and IT in the Energy Sector*. 2020;(9):14–16. (In Russ.)

4. Dobritsa V.P., Titenko E.A., Khalin Y.A., Katykhin A.I. Models of knowledge representation and processing in information and analytical systems. Kursk: Universitetskaya kniga; 2023. 172 p.

5. Lavrichenko O.V. Cognitive modeling based on non-manipulated mechanisms of managerial decision-making. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika = System Analysis and Applied Informatics*. 2015;(4):45–48. (In Russ.)

6. Kakurina A.V., Sizov A.S., Khalin Y.A. Cognitive modeling and forecasting of electricity consumption. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2023;27(4):44–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-4-44-61>

7. Eremin N.A., Stepanyan A.A., Stolyarov V.E. Management of oil and gas assets in the era of technologies for storing and processing large amounts of data. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoi promyshlennosti = Automation, Telemechanization and Communications in the Oil Industry*. 2019;(12):5–14. (In Russ.)

8. Kostarev V. Rostelecom presented the main approaches to the development of the company's digital transformation strategy. *Foton-ekspress = Photon-Express*. 2019;(1):6–7. (In Russ.)

9. Larina A.K., Grigoryan A.A. The state and prospects of development of Russian processing centers within the framework of the infrastructure of the Digital Economy program. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika = Economics and Business: Theory and Practice*. 2018;(4):146–149. (In Russ.)
10. Eremin N.A., Selenginsky D.A. On the possibilities of using artificial intelligence methods in solving oil and gas problems. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth*. 2023;(1):201–211. (In Russ.)
11. Melnik E.V., Klimenko A.B. Application of the concept of "Foggy" calculations in the design of highly reliable information and control systems. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth*. 2020;(2):273–283. (In Russ.)
12. Biktimirov M.R., Zhizhchenko A.B., Ovsyannikov A.P., et al. Organization of effective network access to data center resources in a distributed infocommunication infrastructure. *Mekhanika, upravlenie i informatika = Mechanics, Management and Informatics*. 2014;(6):33–40. (In Russ.)
13. Usmandilawar M., Syed F. Mathematical Modeling and Analysis of Network Service Failure in DataCentre. *International Journal of Modern Education and Computer Science*. 2014; 6(6):30–36. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2014.06.04>
14. Soloviev A. Energy efficiency: methods of optimization of engineering infrastructure. *Tekhnologii i sredstva svyazi = Technologies and Means of Communication*. 2012;(4). Available at: <http://lib.tssonline.ru/articles2/fix-corp/energoeffektivnost-metody-optimizatsii-inzhenernoy-infrastruktury> (accessed 19. 09.2024).
15. Doguchaeva S.M. Dynamics of development of the Russian market of cloud technologies and big data. *RISK: Resursy, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsia = RISK: Resources, Information, Supply, Competition*. 2023;(1):79–82. (In Russ.)
16. Veselitskiy O.I. Data processing centers – a green vector of digital economy development. *Innovatsii i investitsii = Innovations and Investments*. 2018;(4):214–220. (In Russ.)
17. Sudani H.H. Fault tolerance and access security in cloud computing. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and Business: Ways of Development*. 2019;(4):115–119. (In Russ.)
18. Burkova I.V., Burkov V.N., Dobroserdov O.G., et al. Formation of a comprehensive assessment system based on educational options. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2019;9(4):126–138. (In Russ.)

19. Tomakova R.A., Dzhabrailov V.V., Tomakov M.V., et al. Analysis of game space strategies using neural networks. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2021;11(2):51–65. (In Russ.)
20. Khalin Y.A., Kiseleva K.A., Alcove V.V. Model of information interaction of competing enterprises. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2017;7(3):29–35. (In Russ.)
21. Buinevich I.A., Kriushina Y.A., Khalin Y.A., et al. Method of constructing a fuzzy cognitive map of the competitiveness of a machine-building enterprise. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023;13(3):146–163. (In Russ.)
22. Melnik E.V., Orda-Zhigulina M.V., Orda-Zhigulina D.V. Distributed Library Model Based on Distributed Ledger Technology for Monitoring and Diagnostics System. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021;230:501–509. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the Authors

Сизов Александр Семенович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры программ инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sizov1942@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8110-9929

Alexander S. Sizov, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Engineering Program, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sizov1942@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8110-9929

Титенко Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программ инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: johntit@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5659-4747

Evgeny A. Titenko, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Program Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: johntit@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5659-4747

Халин Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программ инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: yur-khalin@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7020-8515

Титенко Михаил Андреевич, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: mikhail-titenko@mail.ru, ORCID: 0009-0008-1560-5594

Калинин Роман Викторович, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: k.uldir@yandex.ru, ORCID: 0009-0007-4745-7357

Yuri A. Khalin, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering Program, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: yur-khalin@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7020-8515

Mikhail A. Titenko, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: mikhail-titenko@mail.ru, ORCID: 0009-0008-1560-5594

Roman V. Kalinin, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: k.uldir@yandex.ru, ORCID: 0009-0007-4745-7357