

УДК 330

¹*И.Б. Елистратова*, ²*Н.Г. Пикузо*

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики», Новосибирск, email: irina_borisovna@bk.ru

² Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Центросоюза Российской Федерации «Сибирский университет потребительской кооперации», Новосибирск, email: npikuzo@mail.ru

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРОМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Ключевые слова: стратегическое управление, имитационная модель, энергоэффективность, искусственный интеллект, центр обработки данных.

Будущее развитие центров обработки данных (ЦОД) предполагает стратегическое управление ресурсами и внедрение передовых технологий, таких как искусственный интеллект и блокчейн, наряду с учетом климатических, экономических и политических условий. Создание и обоснование цельной стратегической модели планирования и управления ЦОД с применением передовых методов искусственного интеллекта и нейронных сетей является одной из основных задач для оптимизации энергоэффективности и повышения надежности управления ЦОД. Такой подход обеспечит устойчивое и эффективное развитие ЦОД, способных удовлетворить растущую потребность в вычислительных ресурсах. Создание имитационной модели осуществляется с помощью симулятора TRNSYS. Основная структура этой модели соответствует современным методам, применяемым в последних исследованиях по внедрению нейронных сетей в ЦОД.

¹*I.B. Elistratova*, ²*N.G. Pikuzo*

¹ FGBOU VO «Siberian State University of Telecommunications and Informatics», Novosibirsk, email: Irina_borisovna@bk.ru

² Siberian University of Consumer Cooperatives, Novosibirsk, email: npikuzo@mail.ru

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL DATA CENTER MANAGEMENT MODEL

Keywords: strategic management, simulation model, energy efficiency, artificial intelligence, data center.

The future development of data centers involves strategic resource management and the introduction of advanced technologies such as artificial intelligence and blockchain, along with consideration of climatic, economic and political conditions. The creation and justification of an integrated strategic model for data center planning and management using advanced artificial intelligence and neural network techniques is one of the main tasks for optimizing energy efficiency and increasing the reliability of data center management. This approach will ensure the sustainable and efficient development of data centers capable of meeting the growing demand for computing resources. The simulation model is created using the TRNSYS simulator. The basic structure of this model corresponds to modern methods used in recent research on the implementation of neural networks in data centers.

Современные центры обработки данных (ЦОД) представляют собой сложные инфраструктурные комплексы, предназначенные для централизованного размещения информационных технологий, включая серверы, базы данных и сетевое оборудование. Эти объекты могут варьироваться от компактных серверных помещений до обширных комплексов, которые обеспечивают непрерывное электропитание для критически важных систем и могут потреблять энергию, эквивалентную потреблению малых городов.

ЦОД выполняют критически важные функции хранения, обработки и передачи обширных объемов информации, актуальных для различных сфер деятельности, включая банковское дело, телекоммуникации, здравоохранение, а также государственные и частные организации. Стратегическое развитие центров обработки данных можно подразделить на три ключевых направления: консолидация, виртуализация и энергоэффективность. Эти направления играют основополагающую роль в обеспечении долгосрочного прогресса в данной обла-

сти и помогают чётко обозначить пути дальнейшего развития ЦОД, что в свою очередь способствует их эффективности. Рассмотрим каждое направление более подробно:

Первое направление – консолидация, включает два основных аспекта. В современном ландшафте наблюдается тенденция к объединению мелких компаний крупными игроками, что особенно выражено в сфере дата-центров. Крупные корпорации, такие как Intel и HP, разрабатывают интеграционные программы, позволяющие объединять информационные ресурсы малых организаций, применяя передовые технологические решения.

Второе ключевое направление – виртуализация. Этот подход представляет собой эффективное средство для оптимизации ресурсов и повышения производительности центров обработки данных. Виртуализация способствует сокращению затрат на оборудование и энергопотребление, а также обеспечивает более рациональное использование доступных ресурсов. Она упрощает управление и обновление систем ЦОД, позволяя распределять такие ресурсы, как память и вычислительная мощность, между физическими серверами для оптимизации использования оборудования.

Третья тенденция – максимизация эффективности использования энергии в центрах обработки данных – направлена на снижение затрат на электроэнергию, размер которых может быть значительным из-за большого количества серверов.

Однако следует отметить то, что существует связь между этими тенденциями и экологическим, а также экономическим факторами, так как эффективность эксплуатации центра обработки данных напрямую влияет на затраты на электроэнергию и персонал. В последнее время компании все более ориентируются на экологически чистую технологию, которая не только поможет снизить затраты на электроэнергию, но и защитит окружающую среду [1, 2].

Актуальность статьи заключается в разработке универсальной масштабируемой модели управления ЦОД, в которой консолидация, виртуализация и энергоэффективность являются

глобальными тенденциями стратегического развития ЦОД. Эти направления ориентированы на снижение затрат на содержание и эксплуатацию ИТ-инфраструктуры. Управление ЦОД должно учитывать указанные тенденции и предпринимать меры для оптимизации экономических расходов при их строительстве и эксплуатации.

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к использованию нейронных сетей в качестве инструмента, который активно применяется в различных областях для решения задач прогнозирования, классификации и управления. Сектор услуг ЦОД переживает фазу интенсивного развития и модернизации. Основные проблемы в этой области связаны с необходимостью повышения эффективности обработки данных, сокращения операционных затрат, а также обеспечения экологической безопасности и устойчивости. Для интенсивного развития ЦОД требуется осуществлять стратегическое планирование, которое является ключевой управленческой деятельностью, необходимой для эффективного стратегического управления. Оно требует от менеджеров владения современными методами управления, умения предвидеть развитие событий и способности адаптироваться в условиях быстро меняющейся среды. Термин «стратегическое планирование» охватывает функцию управления, связанную с постановкой целей и разработкой стратегий их достижения, как это описывает М.М. Алексеева, и инструмент принятия решений, способствующий инновациям и адаптации в организациях, согласно П. Лоранжу и Э.Г. Маккею. Эффективное стратегическое планирование позволяет согласовать ресурсы организации с долгосрочными изменениями в рыночной среде и окружающей среде, удовлетворяя тем самым ожидания заинтересованных сторон [3, 4].

Документирование процесса стратегического планирования критично; оно определяет цели организации, стратегии их достижения и оптимальные сроки реализации. В итоговых стратегических документах подробно описывается предполагаемый путь организации, включая анализ конкурентной среды и разработку политики [5].

Таблица 1

Модели управления ЦОД

Модель управления	Описание
Складской тип	Эта модель характеризуется использованием обширных помещений для хранения и обработки больших объемов данных. Она позволяет эффективно управлять большим количеством информации благодаря возможности быстрой обработки данных
Суперкомпьютерный информационный центр	Основывается на использовании суперкомпьютеров, способных обрабатывать огромное количество операций в секунду. Эта модель предоставляет услуги, которые делают акцент на высокопроизводительные вычисления, при этом услуги хранения играют второстепенную роль
Общественное или частное облако	Данная модель функционирует как удаленный узел, предоставляя клиентам возможность хранения и обработки данных без необходимости покупки собственного оборудования и программного обеспечения
Colocation центр	Эти центры предоставляют пространство для размещения клиентского оборудования, необходимого для хранения и обработки данных

Таблица 2

Стратегии управления ЦОД

Стратегия	Описание
Консолидация ЦОД	Заключается в объединении нескольких ЦОД в один единственный, более эффективный и мощный ЦОД. В результате достигается снижение затрат на обслуживание и повышение эффективности работы всей системы
Распределение нагрузки	Включает распределение задач по обработке данных между различными серверами, что улучшает производительность и соответствует высоким требованиям клиентов. Такой подход обеспечивает повышенную надежность системы
Оптимизация работы ЦОД	Стратегия основана на применении передовых технологий и инструментов для усиления производительности ЦОД. Это ведет к более быстрой обработке данных и снижению операционных расходов
Стратегия имитации отказа	Заключается в тестировании сценариев отказа оборудования для проверки способности системы функционировать в чрезвычайных ситуациях. Это улучшает устойчивость дата-центра к аварийным ситуациям
Стратегия передачи ответственности за ЦОД	Подразумевает делегирование управления ЦОД внешнему партнеру, что помогает снизить затраты на поддержку инфраструктуры и повысить доступность сервисов для клиентов
Стратегия расширения ЦОД	Включает постепенное увеличение инфраструктуры для расширения обработки данных и клиентской базы, что способствует росту доходности и доступности услуг

Таблица 3

Связь экономических факторов и стратегий управления

Стратегия	Фактор
Бюджетирование	Финансовое планирование необходимо для оптимизации затрат на развитие и поддержку ЦОД
Стратегии снижения затрат	В условиях экономического кризиса, управление ЦОД требует пересмотра затрат и возможных компромиссов.
Планирование ёмкости	Предвидение будущих требований к мощности ЦОД с учетом роста и потребностей компании.
Расходы на обслуживание	Учет возрастающих расходов на поддержание инфраструктуры, программного обеспечения, и подготовку к нештатным ситуациям.
Масштабирование	Адаптация управления ЦОД к росту и масштабированию бизнеса, требующая инвестиций в обновление оборудования.

Принципы стратегического планирования, сформулированные А. Файоном, являются основой этого процесса. Эти принципы способствуют системному и адаптивному подходу к стратегическому планированию, обеспечивая не только немедленное удовлетворение организационных потребностей, но и сохранение устойчивости и актуальности в условиях развивающихся рыночных и экологических условий [6]. А. Файоль подчеркивал универсальность этих принципов, применимых как в корпоративном управлении, так и в управлении национальной экономикой. Позднее усовершенствования от Р. Акова ввели принцип участия, предполагающий включение всех членов организации и, при необходимости, внешних экспертов в процесс планирования [7]. Это всеобъемлющее участие критично для комплексной разработки и выполнения стратегических планов.

Научная значимость вопроса заключается во внедрении универсальной модели стратегического планирования и развития ЦОД, учитывающей модульность, обладающей масштабируемостью и подходящей для всех типов и размеров, ведет к оптимизации их ключевых операционных характеристик. Эта оптимизация затрагивает все значимые иерархические уровни характеристик, включая межсистемные и глобальные экономические параметры. В результате достигнутый эффект оптимизации позволит добиться существенного изменения критических показателей работы ЦОД.

Задачи, решаемые в данной статье – создать универсальную модель, способную эффективно управлять различными типами ЦОД и реализовать имитационную модель для эксперимента по интеграции нейросетевых систем в управление ЦОД.

Результаты исследования

Стратегическое управление ЦОД

В процессе решения данной проблемы возникли вопросы, связанные с особенностями методологии проведения исследований в таких областях, как стратегическое планирование и внедрение искусственного интеллекта в сфере управления.

В наше время, когда данные становятся все более ценными, их обработка приобретает ключевое значение для многих организаций и государственных учреждений. ЦОД, являющиеся важной частью информационных систем, предоставляют надежное хранение и мощные вычислительные ресурсы для обработки данных. Тем не менее, управление ЦОД – это сложная задача, требующая особых стратегий для эффективности и безопасности.

Существуют различные типы моделей управления, каждая из которых разрабатывается с учетом уникальных операционных и стратегических требований, подчеркивающих важность как технологических, так и экономических аспектов современных разработок [8].

Наиболее важные модели управления ЦОД приведены в таблице 1 [7,8].

Существует множество стратегий управления ЦОД, которые могут быть использованы в различных ситуациях. Выбор определенной стратегии управления ЦОД зависит от многих факторов, включая бизнес-потребности, финансовые ограничения, технические возможности и многие другие. В таблице 2 приведены основные стратегии управления.

Очень важно учитывать экономическую составляющую при разработке стратегии управления ЦОД. Затраты на строительство, приобретение оборудования и содержание ЦОД могут значительно влиять на рентабельность бизнеса. Оценка и оптимизация затрат является неотъемлемой частью стратегии управления ЦОД в экономическом аспекте.

Развитие и успешность стратегии управления ЦОД напрямую зависят от экономических факторов. В таблице 3 перечислены их возможные связи [5-8].

Экономическая ситуация напрямую влияет на стратегическое управление ЦОД и успешная стратегия должна учитывать эти факторы для обеспечения эффективной работы в будущем. Каждый ЦОД требует индивидуального подхода в управлении, основанного на его уникальных характеристиках и типе операций. Дальнейшие исследования в этой области помогут оптимизировать стратегические решения и улучшить рентабельность ЦОД.

Внедрение искусственного интеллекта и экологически чистых технологий представляется ключевым способом достижения основных целей, рассмотренных в статье. Проведенный анализ имеющихся литературных источников по данной теме [9, 10] позволяет сделать вывод, что применение ИНС является перспективным и обещает эффективные результаты в энергетике.

Для решения поставленных задач необходимо смоделировать поток данных управления, который является критическим элементом в функционировании реального ЦОД. Параметрический поток данных в современных ЦОД играет ключевую роль в обеспечении стабильности, безопасности и эффективности их работы. Этот поток представляет собой непрерывный сбор и обработку информации, связанной с операционными параметрами, такими как температура оборудования, энергопотребление, нагрузка на процессоры, состояние сетевых соединений и другие критические метрики.

Исследования по внедрению искусственного интеллекта в инфраструктуру ЦОД сосредоточены на интеграции систем мониторинга и управления параметрическими потоками данных с автоматизированными алгоритмами. Эти алгоритмы способны предсказывать потенциальные сбои, обнаруживать отклонения от установленных норм и оптимизировать распределение ресурсов. Такой подход обеспечивает более эффективное управление ресурсами и повышает надёжность функционирования ЦОД.

В рамках этих исследований возникает два фундаментальных вопроса, требующих решения.

Первый фундаментальный вопрос касается разработки методологии для сбора параметрических данных, описывающих работу инфраструктуры ЦОД. Уникальность данного вопроса обусловлена составом параметрических потоков данных, которые играют центральную роль в управлении современными ЦОД.

Управление параметрическими потоками в современных ЦОД предполагает анализ множества видов сложных данных, охватывающих такие параметры, как энергопотребление, температуру оборудования, загрузку вычислитель-

ных систем, скорость передачи данных и время отклика. Эти данные обладают рядом математических и статистических особенностей, среди которых ключевое значение имеют временные структуры. Анализ временных рядов становится важным инструментом для выявления трендов, аномалий и периодических изменений в потоках данных, которые часто демонстрируют циклические или сезонные колебания.

В этом контексте особое внимание уделяется не только временным аспектам, но и корреляционным зависимостям между различными параметрами. Например, существует прямая взаимосвязь между температурой оборудования и его производительностью, а также между операционными процессами и энергопотреблением. Дополнительно важно учитывать такие показатели, как дисперсия и среднее квадратическое отклонение, которые дают возможность оценить степень изменчивости параметров. Эти оценки критичны для понимания стабильности работы ЦОД и для выявления отклонений от нормальных значений.

Регрессионный анализ является ключевым инструментом для моделирования и прогнозирования взаимосвязей между различными параметрами, такими как влияние повышенной нагрузки на энергопотребление. Эта техника позволяет выявить количественные зависимости и оценить влияние одного или нескольких факторов на производительность системы. Особую важность в процессе анализа приобретают идентификация выбросов и аномалий в данных, поскольку раннее обнаружение таких отклонений играет критическую роль в предотвращении потенциальных сбоев. Это, в свою очередь, способствует оптимизации работы инфраструктуры и поддержанию её стабильности.

Для получения сопоставимых данных в ходе исследований необходимо внедрить систему сбора данных, использующую датчики и системы мониторинга, которые предоставляют информацию в режиме реального времени. Эти данные затем должны быть надёжно сохранены в системе, поддерживающей структурированное хранение для последующего анализа. Современные подходы, такие как анализ больших данных и машин-

ное обучение, оказываются чрезвычайно эффективными для обработки таких больших объемов данных, выявления закономерностей, отклонений и прогнозирования будущих событий.

Тем не менее, при отсутствии доступа к реальным источникам данных, исследователи могут прибегнуть к альтернативным методологиям, таким как моделирование. В этом случае строятся математические модели, имитирующие поведение реальных систем с использованием предположений и данных из таких источников, как документация производителей оборудования или опубликованные исследования в данной области. Эти модели могут симулировать работу систем при различных нагрузках и оценивать влияние внешних факторов, включая изменения температуры или колебания энергопотребления.

Второй фундаментальный вопрос, который необходимо решить для проведения исследований по данной теме – внедрение нейронной сети должно быть реализовано в рамках модели стратегического развития и управления дата – центром.

В связи с этим появляется необходимость выработки модели стратегического развития ЦОД. Совершенно очевидно, что требованиями к этой модели является то, что модель должна быть универсальной для всех видов ЦОД, что означает ее обязательную общую применимость, модульность и масштабируемость.

При создании архитектуры энергоэффективного управления ЦОД с использованием нейронных сетей возникает необходимость учёта масштабируемости, которая является ключевым параметром для всех подсистем центра. Архитектура, предназначенная для формирования обучающих наборов данных на основе параметрических данных работы ЦОД, должна содержать методы и элементы, позволяющие учитывать возможные изменения в масштабах функционирования различных подсистем. Эти изменения возникают в результате стратегического планирования и развития, что достигается посредством модели стратегического управления.

Проблема заключается в необходимости разработки такой архитектуры системы управления, которая бы учитывала общую модульность и масштаби-

руемость всех подсистем, обеспечивая высокую адаптивность и эффективность управления в условиях динамически изменяющихся требований и стратегических целей развития ЦОД.

В качестве решения данной проблемы предлагается разработка системы управления ЦОД, в которую интегрирован масштабируемый шаблон параметрических данных, используемый для обучения нейронной сети и ее автоматизированного взаимодействия с системой управления.

Результаты исследования данного фундаментального вопроса позволяют сделать выводы:

1. Вопрос оптимизации энергоэффективности является универсальным вопросом для всех видов дата центров.

2. Проблема масштабируемости в контексте стратегического планирования и управления может быть решена путём внедрения глобальных экономических метрик, таких как PUE (Power Usage Effectiveness) или CVAR (Conditional Value at Risk), в физико-математическую модель ЦОД, как это предложено в исследованиях шаблонов энергоэффективности ЦОД [11]. Эти метрики, согласно исследованию, широко применяются для принятия экономически обоснованных решений, что подтверждает их универсальность и возможность масштабируемого использования в управлении инфраструктурой. Таким образом, интеграция данных метрик в физико-математическую модель ЦОД позволяет решить задачу, связанную с необходимостью включения элементов стратегического управления в имитационные модели.

Исходя из изложенного, в рамках исследования рекомендуется разработать имитационную модель ЦОД основанную на физико-математической модели, в которую интегрированы глобальные экономические метрики. Эти метрики предназначены для оценки эффективности функционирования инфраструктуры ЦОД и позволяют более точно моделировать и анализировать ключевые параметры производительности и ресурсопотребления. Такой подход обеспечит всестороннюю оценку работы ЦОД, учитывая не только технические, но и экономические аспекты его деятельности.

Интерактивная система планирования сетей ЦОД

Эволюция стратегического планирования, адаптированная к динамичным изменениям в современном распределении энергии и управлении данными, подчеркивает значимость интеграции принципов стратегического управления для повышения эффективности и устойчивости системы. Модель интерактивного интегрированного планирования (ИИП) является примером этого, оптимизируя взаимодействие между центрами обработки данных и распределительными сетями с фокусом на достижении углеродной нейтральности. Выбор модели энергоэффективного планирования ресурсов центра данных (DCEERS), разработанной Хункун Ченом и его коллегами [12], отражает её адаптивность и эффективность в управлении потреблением энергии и оптимизации распределения ресурсов в масштабируемых средах ЦОД.

Способность DCEERS поддерживать оптимальное распределение ресурсов в больших и сложных средах подчеркивает её полезность для интерактивного планирования в рамках модели ИИП. Это делает её подходящей для решения задач энергоэффективного и стратегического управления распределительными сетями и центрами обработки данных, направленных на достижение углеродной нейтральности. Интеграция DCEERS в рамки ИИП не только решает актуальные управленческие задачи, но и способствует достижению более широких целей устойчивого развития, обеспечивая надежность и гибкость процесса планирования на фоне будущих вызовов. Синергия между ЦОД и распределительными сетями, создаваемая моделью ИИП, способствует созданию устойчивых и эффективных энергетических систем, способных удовлетворять потребности в условиях быстрого технологического прогресса.

Таким образом, архитектура системы центров обработки данных, интегрированных с распределительной сетью, включает три основных компонента: линии распределительной сети, сеть ЦОД и возобновляемые источники энергии. ЦОД в основном потребляет электроэнергию за счет IT-оборудования,

такого как серверы, и вспомогательного оборудования, включая системы охлаждения и освещения. Кроме того, настройка программного обеспечения для виртуальных машин необходима для облегчения миграции задач по обработке данных онлайн между различными ЦОД.

В рамках модели ИИП оператор распределительной системы играет ключевую роль в планировании инвестиций и оперативном управлении ЦОД и распределительными сетями. Исходя из потребностей региона в электричестве и данных, DSO совместно оптимизирует конфигурацию и управление системными ресурсами, сетями и нагрузками. Используя в полной мере потенциал реакции на спрос со стороны ЦОД и оперативную гибкость, модель ИИП стремится максимизировать общие выгоды от включения ЦОД в распределительную сеть. Влияние ИИП на углеродную нейтральность в энергосистеме проявляется через повышение энергоэффективности ЦОД, оптимизацию обработки данных, снижение сетевых потерь и улучшенную координацию с генерацией возобновляемой энергии, способствующую поддержанию углеродной нейтральности.

На основе проведенного анализа представлена основополагающая структура для ИИП между центрами обработки данных и распределительной сетью. Данная структура различает традиционные элементы автономного планирования и дополнительные компоненты. Эти дополнительные компоненты являются важными для ИИП.

В данной модели вводится показатель условной стоимости риска (CVaR) [12] для количественной оценки потенциальных убытков от неопределенностей, с целью минимизации суммы системных рисков, инвестиционных и эксплуатационных затрат при учете выбросов углерода. По сравнению с традиционными методами измерения рисков, CVaR обладает такими преимуществами, как выполнение свойства субаддитивности, согласованности и достаточного прогнозирования конечных рисков, что делает его более применимым в инженерных задачах. Схема имитационной модели приведена на рисунке 1.

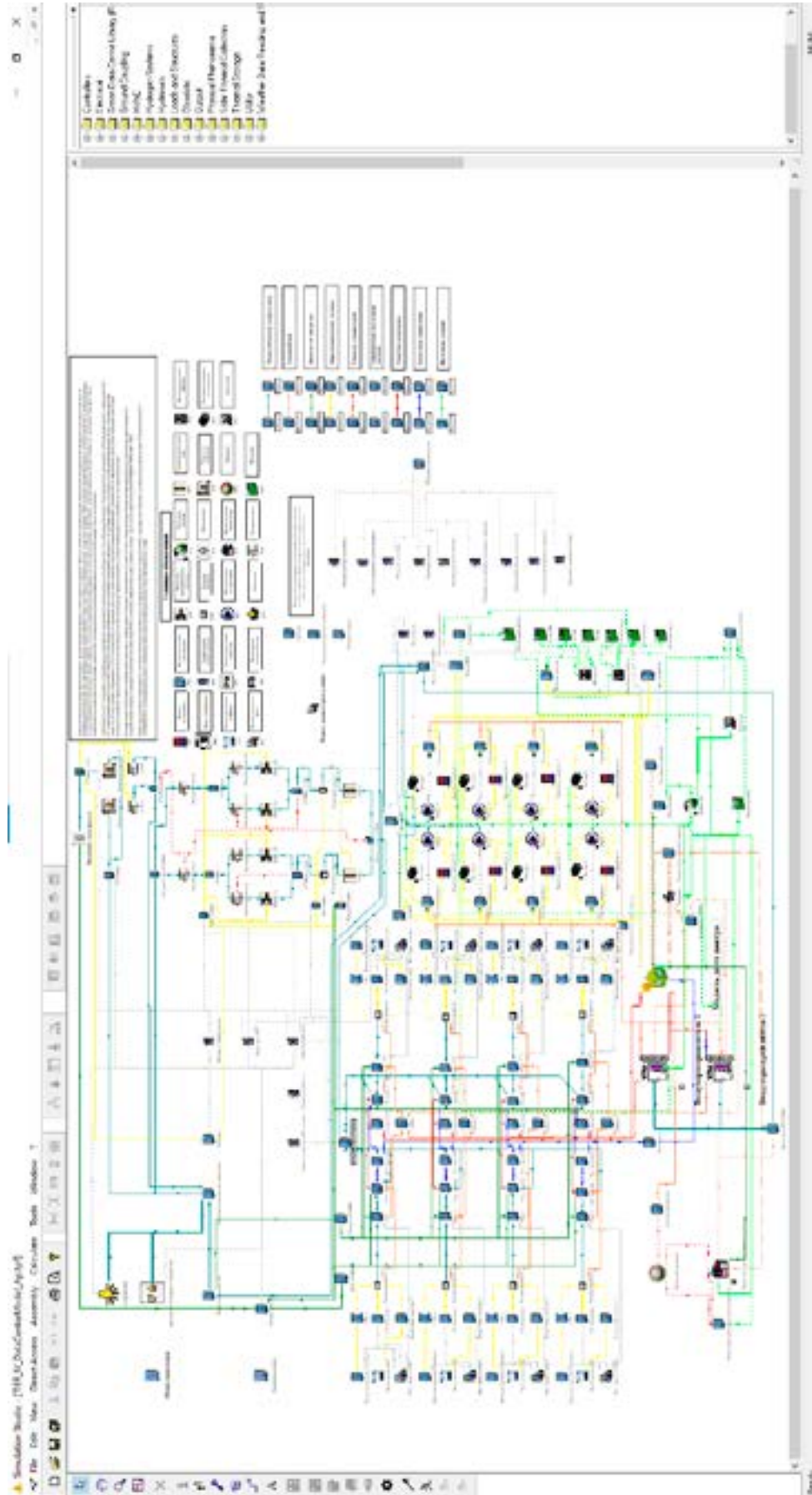


Рис. 1. Схема имитационной модели

Практическая значимость исследования заключается в разработке новых алгоритмов и моделей, позволяющих существенно повысить энергоэффективность и устойчивость центров обработки данных с использованием инновационных методов искусственного интеллекта.

Выводы

Цель ИИП заключается в снижении общих капитальных и эксплуатационных затрат системы. Эффективность окончательного решения зависит от учета факторов риска, связанных с неопределенностью и изменчивостью пользовательских данных в процессе моделирования.

Задача ИИП для распределительных сетей и центров обработки данных формулируется как двухэтапная стохастическая оптимизационная модель, основанная на CVaR [12]. На первом этапе разрабатываются планы и принимаются решения, направленные на снижение инвестиционных затрат системы, оптимизацию расширения линий электропередачи, определение местоположения ЦОД и распределение физических

и программных ресурсов (включая серверы, виртуальные машины и оборудование для охлаждения), а также размещение и определение мощности ВИЭ. Представленная выше схема планирования служит набором известных параметров для второго этапа, который представляет собой операционное моделирование, нацеленное на минимизацию суммы ежегодных эксплуатационных затрат и получение выгод от углеродной нейтральности.

На этом этапе оптимизируются стратегии эксплуатации центров обработки данных (включая миграцию информационной нагрузки, режимы работы серверов и работу оборудования для охлаждения) и распределительной сети (включая выработку ВИЭ и закупку электроэнергии) для каждого временного периода. Результаты второго этапа используются для корректировки целевой функции первого этапа в виде «ожидаемых эксплуатационных затрат» и «выгод от углеродной нейтральности» с целью уточнения и корректировки схемы планирования.

Библиографический список

1. Balodis R., Opmane I. History of Data Centre Development // Reflections on the History of Computing. 2012. P. 180-203.
2. Kong F., Xue L. A survey on green-energy-aware power management for datacenters // ACM Comput. Surv. 47, 2, Article 30, 2014. 38 p.
3. Johnson G. Exploring corporate strategy. Pearson Education Limited, 2008. 620 p.
4. Алексеева М.М. Программирование бизнес-процессов: учебно-методическое руководство. М.: Финансовые и статистические издания, 2013. 248 с.
5. Rumelt R. Good Strategy, Bad Strategy. New York: Crown Business, 2011. 342 p.
6. Куприянов С.В., Шаповалов А.А., Божков Ю.Н. Менеджмент: учебное пособие для студентов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 447 с.
7. Аков Р. Управление в крупных экономических системах / Пер. с англ. Г. Б. Рубальского. М.: Советское Радио, 1972. 223 с.
8. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: учебное пособие для вузов. М.: Физматлит, 2001. 496 с.
9. Ahmadi A. Implementing Artificial Intelligence in IT Management: Opportunities and Challenges // Asian Journal of Computer Science and Technology. 2023. Vol. 12 (2). P. 18-23.
10. Yang J., Xiao W., Jiang C., Hossain M.S., Muhammad G., Amin S.U. AI-Powered Green Cloud and Data Center // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 4195-4203.
11. Shuja J., Bilal K., Madani S.A., Khan S.U. Data center energy efficient resource scheduling // Cluster Computing. 2014. Vol. 17 (4). P. 1265-1277.
12. Chen H., Gao P., Liu K., Chen L., Huang W. Joint expansion planning for data centers and distribution networks based on conditional value-at-risk theory considering low carbon characteristics Electr. Power Syst, 2024. 229 p.

Дата поступления статьи в редакцию: 23.02.2025

Дата принятия статьи в печать: 21.03.2025