

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА»
Институт Строительства и Архитектуры

Кафедра Промышленного, гражданского строительства и экспертизы
недвижимости

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ ПЕРЕД ГЭК

Зав. кафедрой _____ Н. И. Фомин

« _____ » _____ 2025 г.

**Экономический и практический анализ строительства и
эксплуатации стационарных и мобильных центров обработки
данных**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО НАПРАВЛЕНИЮ 08.04.01 «СТРОИТЕЛЬСТВО»**

Д.ИСА.08.04.01.06200330.ВКР.25-РПЗ

Руководитель, доцент, к.э.н.	_____	Шишин В.В.
Нормоконтролер, ст. препод.	_____	Дерябина И.А.
Студент группы СТМВ-330102к	_____	Напалков С.В.

Екатеринбург 2025

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Экономический и практический анализ строительства и эксплуатации мобильных центров обработки данных» содержит 101 страницу текстового документа, 5 приложений, 40 использованных источников.

Объект исследования. Стационарные и мобильные (модульные) центры обработки данных как объекты капитального строительства.

Предмет исследования. Стоимость создания и эксплуатации ЦОД в привязке к архитектуре инженерных систем и уровням ИТ-мощности.

Цель работы. Разработать методику сравнительной оценки стоимости владения стационарных и модульных центров обработки данных по ключевым технико-экономическим показателям (CAPEX, OPEX, TCO) и на её основе определить области рационального применения каждого типа ЦОД в проектах различного масштаба.

Методы исследования.

В работе применён метод оценки стоимости владения объектами капитального строительства (ТСО), адаптированный к центрам обработки данных, а также сравнительный технико-экономический анализ и сценарное моделирование вариантов стационарных и мобильных (модульных) ЦОД по архитектуре инженерных систем и уровням ИТ-мощности.

Научная новизна исследования состоит в разработке методики оценки стоимости владения стационарными и модульными центрами обработки данных как объектами капитального строительства с учётом архитектуры инженерных систем и уровней ИТ-мощности и в её сценарной апробации для обоснования областей рационального применения разных типов ЦОД.

Практическая значимость состоит в том, что разработанная методика оценки стоимости владения стационарными и модульными центрами обработки данных может быть использована проектными и эксплуатирующими

организациями, а также заказчиками ЦОД при технико-экономическом обосновании и выборе типа центра обработки данных, архитектуры его инженерных систем и уровня ИТ-мощности. Применение методики позволяет сопоставлять альтернативные варианты ЦОД и МЦОД по CAPEX, OPEX и TCO, обосновывать рациональные решения по структуре затрат и снижать риск неэффективных капитальных вложений.

Значимость. Работа даёт воспроизводимую методику сравнения стационарных и модульных ЦОД с опорой на отраслевые тренды и актуальную структуризацию основной части ВКР, что повышает качество решений на стадии предпроектного выбора.

Прогноз. Рост количества обрабатываемых данных будет усиливать спрос как на быстровозводимые мобильные ЦОДы (МЦОД), так и на крупные стационарные ЦОДы. Баланс будет определяться сочетанием скорости ввода, требуемой мощности и нормативных ограничений площадки.

Ключевые слова: центр обработки данных, мобильный или модульный ЦОД, стационарный ЦОД, CAPEX, OPEX, TCO, PUE, инженерная инфраструктура, стоимость владения объектом, эксплуатационные издержки.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	2
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	8
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	12
Введение.....	14
1. Теоретические основы и рынок ЦОД	17
1.1. Тенденции роста цифровых данных и роль ЦОД в эпоху «информационного взрыва».....	17
1.1.1. Масштаб и динамика «информационного взрыва»	17
1.1.2. Драйверы роста данных	18
1.1.3. Роль ЦОД в цифровой экономике.....	19
1.1.4. Глобальное распределение мощностей и его значение для роли ЦОД	20
1.1.5. Экономические импликации: аналитика, облака, отраслевые эффекты	21
1.1.6. Выводы для последующих разделов работы	21
1.2. Типология ЦОД: стационарные, модульные (контейнерные), гибридные; архитектуры и топологии	22
1.2.1. Базовые типы и область применения	22
1.2.2. Состав инженерных систем и архитектурные особенности ..	23
1.2.3. Топологии резервирования и охлаждения	24
1.2.4. Сетевые архитектуры (логика ЦОД-фабрики)	24
1.2.5. Сравнение типов по жизненному циклу (выжимка для последующих разделов).....	25
1.3. Глобальные и российские тренды в развитии ЦОД	26
1.3.1. Макротренды: от роста данных к концентрации мощностей	26

1.3.2.	Глобальная картина: распределение по странам и мощностям	26
1.3.3.	Что меняется внутри площадок: архитектуры, плотности, SLA	32
1.3.4.	Россия: динамика, структура, факторы роста.....	33
1.3.5.	Экономические и отраслевые импликации.....	33
1.3.6.	Выводы для последующих разделов	34
2.	Нормативно-техническая база проектирования и эксплуатации ЦОД	35
2.1.	Российские нормативы: ГОСТы, СП, стандарты.....	35
2.2.	Международные стандарты: ANSI/TIA-942, Uptime Institute, ISO/IEC 22237, и их сопоставление с российской системой.....	36
2.3.	ЦОД как объект капитального строительства. Специфика проведения работ по капитальному ремонту	37
3.	Методика сравнения типов ЦОД: стационарный ЦОД и МЦОД	41
3.1.	Сценарный анализ ТСО стационарного и модульного ЦОД	41
3.2.	Применяемая методика расчета и формулы расчета.....	43
3.3.	Определение постоянных параметров и их значений для всех сценариев	47
3.4.	Сценарий 1. IT мощность 100 кВт.....	49
3.4.1.	Входные значения сценария №1	49
3.4.2.	Расчетные значения сценария №2	51
3.4.3.	Сравнительная динамика ТСО стационарного и модульного ЦОД на горизонте 1–20 лет в сценарии №2	56
3.4.4.	Вывод рассмотрения данного сценария №1	57
3.5.	Сценарий 2. IT мощность 500кВт.....	59

3.5.1.	Входные значения сценария №2 ($P_{it} = 500$ кВт).....	59
3.5.2.	Расчетные значения сценария №2	60
3.5.3.	Сравнительная динамика ТСО стационарного и модульного ЦОД на горизонте 1–20 лет в сценарии №2	62
3.5.4.	Вывод рассмотрения данного сценария №2	64
3.6.	Сценарий 3. IT мощность 1000 кВт.....	65
3.6.1.	Входные значения сценария №3 ($P_{it} = 1000$ кВт).....	65
3.6.2.	Расчетные значения сценария №3 ($P_{it} = 1000$ кВт)	66
3.6.3.	Сравнительная динамика ТСО стационарного и модульного ЦОД на горизонте 1–20 лет в сценарии №3	68
3.6.4.	Вывод рассмотрения данного сценария №3 ($P_{it} = 1000$ кВт)	69
3.7.	Общий вывод по сценариям.....	71
4.	Эксплуатационные затраты	73
4.1.	Профиль энергопотребления и PUE.....	73
4.1.1.	Региональные тарифы на электроэнергию для ЦОД в РФ.....	73
4.1.2.	Концентрация центров обработки данных по регионам РФ..	74
4.1.3.	Сравнение стоимости электроэнергии для ЦОД в мире	76
4.1.4.	Глобальные тенденции тарифов на электроэнергию для ЦОД (2019–2025)	78
4.2.	Обслуживающий персонал ЦОД.....	81
4.3.	Доля ремонтно-восстановительных расходов в CAPEX ЦОД.....	82
4.4.	Стоимость аренды волоконно-оптических каналов	83
5.	Влияние центров обработки данных (ЦОДов) на современный мир: экологические, экономические и социальные аспекты.....	87
5.1.	Польза и роль ЦОДов в современном мире	87

5.1.1. Цифровая экономика и связь.....	87
5.1.2. Наука и инновации	87
5.1.3. Экономическое развитие	88
5.1.4. Социальные аспекты	88
5.2. Негативные стороны	89
5.3. Ресурсы, потребляемые дата-центрами	89
Заключение	94
Библиографический список	97
Нормативные материалы.....	97
Научные, технические и учебно-методические издания	98
Ресурсы сети Интернет.....	98
Приложение А Исходные данные для анализа объектов МЦОД	102
Приложение Б Средние зарплаты и полная стоимость найма инженеров инфраструктуры ЦОД по городам РФ, 2025 г.	111
Приложение В.1 Выборка ключевых значений по стационарным ЦОД	115
Приложение В.2 Выборка ключевых значений по модульным ЦОД (МЦОД)	118
Приложение Г Опубликованные статьи в журналах РИНЦ.....	121
Статья 1. Центры обработки данных в мире. Глобальное распределение и тренды развития	121
Статья 2. Тенденции роста цифровых данных и роль центров обработки данных в эпоху информационного взрыва	122

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей работе применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Автоматизированная система мониторинга и управления (АСМУ) — комплекс аппаратных и программных средств для сбора, визуализации и управления параметрами инженерных систем ЦОД.

Автоматический ввод резерва (АВР) — устройство/схема, автоматически переключающая нагрузку на резервный источник питания при отказе/отклонении основного.

Дизель-генераторная установка (ДГУ) — автономный источник электроэнергии на базе дизельного двигателя и электрогенератора, используемый как резервный/аварийный.

Источник бесперебойного питания (ИБП) — преобразовательная система с аккумуляторами, обеспечивающая кратковременное питание и фильтрацию электросети для ИТ-нагрузки.

Коэффициент водопотребления ЦОД (WUE) — показатель эффективности использования воды: отношение объёма потреблённой воды к выработанной ИТ-полезной энергии (обычно л/кВт·ч).

Коэффициент эффективности использования энергии (PUE) — отношение общей потреблённой энергии объекта к энергии, потреблённой только ИТ-оборудованием (безразмерная величина).

Мобильный или модульный центр обработки данных (МЦОД) — ЦОД, выполненный в виде заводских модулей/контейнеров со встроенными инженерными системами для сокращения сроков развёртывания.

Пожарная сигнализация (ПС) — система обнаружения очагов пожара и оповещения с передачей сигналов в систему управления безопасностью.

Серверная стойка (стойка, rack) — телекоммуникационный шкаф форм-фактора 19" с нормированной высотой в юнитах (U) для размещения ИТ-оборудования.

Серверный зал — помещение ЦОД с установленными стойками и ИТ-оборудованием, организованными коридорами подачи/удаления воздуха.

Система бесперебойного электропитания (СБЭ) — подсистема ИБП и распределения питания до ИТ-нагрузки, обеспечивающая питание без перерыва при отклонениях сети.

Система внешнего электроснабжения (ЭС) — совокупность внешних вводов и присоединений к сетям электроснабжения до границы балансовой принадлежности объекта.

Система внутреннего электроснабжения (ЭОМ) — распределение электроэнергии по объекту, включая щиты, РЩ/ГРЩ, PDU/БРП, заземление и освещение.

Система контроля и управления доступом (СКУД) — комплекс средств идентификации и управления доступом на объект/в помещения.

Система охранного телевидения (СОТ) — система видеонаблюдения на базе IP-камер и видеорегистраторов/серверов хранения.

Система пожаротушения (ПТ) — комплекс технических средств для автоматического или ручного тушения пожара (в ЦОД обычно газовые установки — АУГПТ).

Система охлаждения и вентиляции (ОВ) — системы охлаждения/отопления, вентиляции, кондиционирования и увлажнения воздуха для обеспечения теплового режима ИТ-нагрузки.

Структурированная кабельная система (СКС) — иерархически организованная система медной и/или оптической проводки (магистральная и горизонтальная части) для связи ИТ-оборудования.

Стационарный центр обработки данных — ЦОД, размещённый в капитальном здании с традиционным строительством и стационарными инженерными системами.

Уровень отказоустойчивости (Tier) — классификационное понятие, характеризующее архитектуру резервирования инженерных систем объекта (N, N+1, 2N и др.).

Центр обработки данных (ЦОД) — комплекс помещений/сооружений и инженерных систем, предназначенный для размещения, питания, охлаждения, связи, безопасности и мониторинга ИТ-оборудования.

Юнит (U) — стандартная высотная единица серверной стойки, равная 44,45 мм.

Гипермасштабный центр обработки данных (гипермасштабный ЦОД; англ. *hyperscale data center*) — крупный ЦОД, построенный для массовых облачных и ИИ-нагрузок с высокой степенью унификации и автоматизации, как правило включает тысячи серверов (сотни и тысячи стоек), суммарную подключённую мощность порядка 10–100+ МВт, площадью от нескольких тыс. м² до $\geq 10^4$ м², с архитектурами резервирования N+1/2N и высокоплотными стойками.

Core-store (IDC; «ядро хранения данных») — доля мировых данных, хранимая в центральных площадках: корпоративные/облачные ЦОД (core/cloud), крупные дата-центры и репозитории провайдеров. Тренд: рост доли core/cloud-store за счёт консолидации и миграции из распределённых конечных устройств.

Cloud-store (IDC; «облачное хранение данных») — часть core-store, представлена публичными/частными/гибридными облаками, куда переносится значимая доля создаваемых данных по мере «облачной» трансформации ИТ.

Endpoint-store (IDC; «конечное хранение данных») — доля данных, хранимая на конечных устройствах (ПК, смартфоны, IoT/IIoT-сенсоры и пр.). Тренд: относительное снижение доли из-за централизации в облаках/ЦОД.

Высокоплотная стойка — стойка с удельной ИТ-мощностью, как правило, >10–15 кВт/стойку (для GPU-кластеров — 30–80 кВт/стойку и выше); требует специализированного охлаждения (вплоть до жидкостного).

Гиперскейлер (hyperscaler) — облачный/интернет-провайдер, эксплуатирующий парк гипермасштабных ЦОД (пример: глобальные публичные облака).

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем ВКР применяют следующие сокращения и обозначения.

АВР — автоматический ввод резерва.

АСМУ — автоматизированная система мониторинга и управления.

АУГПТ — автоматическая установка газового пожаротушения.

ДГУ — дизель-генераторная установка.

ИБП (UPS) — источник бесперебойного питания.

ОВ — охлаждение и вентиляция (включая отопление, кондиционирование, увлажнение).

ПС — пожарная сигнализация.

ПТ — система пожаротушения.

СБЭ — система бесперебойного электропитания.

СГЭ — система гарантированного электроснабжения (АВР, ИБП, ДГУ, распределение).

СКС — структурированная кабельная система (магистральная, горизонтальная).

СКУД — система контроля и управления доступом.

СОТ — система охранного телевидения (видеонаблюдение).

СБ — система безопасности.

ЭОМ — система внутреннего электроснабжения.

ЭС — система внешнего электроснабжения.

PUE — коэффициент эффективности использования энергии (Power Usage Effectiveness).

WUE — коэффициент водопотребления ЦОД (Water Usage Effectiveness), л/кВт·ч.

SLA — соглашение об уровне услуг (Service Level Agreement).

N, N+1, 2N — схемы резервирования мощностей/цепей.

U — юнит стойки (44,45 мм).

Гипермасштабный ЦОД — гипермасштабный центр обработки данных (англ. *hyperscale data center*).

Core-store (IDC) — ядро хранения данных (централизованные площадки: ЦОД/облака).

Cloud-store (IDC) — облачное хранение данных (часть core-store).

Endpoint-store (IDC) — конечное хранение данных (устройства/сенсоры).

Spine-Leaf — двухуровневая фабрика Clos (уровни spine/leaf).

Core-Distribution-Access (CDA) — трёхуровневая топология «ядро— агрегация—доступ».

RDHx — заднедверный теплообменник стойки (*rear door heat exchanger*).

In-Row — межрядное охлаждение (расположенное близко к ИТ-нагрузке).

DLC / D2C — прямое жидкостное охлаждение кристалла (*direct(-to-chip) liquid cooling*).

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

Важность локальной инфраструктуры и цифрового суверенитета отмечено в статье автора показано, что в условиях роста санкционного давления и сложностей с международной логистикой Россия активно стремится к цифровой автономии, что предполагает развитие собственной инфраструктуры для хранения и обработки данных. Эти меры направлены на повышение устойчивости и независимости цифровой экономики, и, в свою очередь, стимулируют рост числа ЦОД на территории страны. Ожидается, что такая инфраструктура станет фундаментом для дальнейшего расширения использования отечественных ИТ-решений и поддержки внутренних нужд в области больших данных, особенно в ключевых секторах, таких как финансы, госуслуги и промышленность.

На глобальном уровне, как отмечается в публикации автора "Центры обработки данных в мире. Глобальное распределение и тренды развития", распределение крупных ЦОД демонстрирует концентрацию в ведущих странах, таких как США, благодаря их мощной ИТ-инфраструктуре и инвестициям в цифровое развитие. Россия, следуя глобальным трендам, также активно развивает собственные ЦОД с целью обеспечения цифрового суверенитета, что особенно актуально в условиях существующих ограничений. Таким образом, выбор типа ЦОД (модульного или стационарного) для России приобретает особую важность с точки зрения экономической и эксплуатационной эффективности. Указанные статьи опубликованы во входящем в РИНЦ журнале "Тенденция развития науки и образования" и приведены в приложениях данной работы.

Актуальность настоящего исследования

С учетом ускоренной цифровизации, вызванной изменениями в экономике и социальной жизни, а также влиянием пандемии и ростом удаленной работы, актуальность выбора типа ЦОД возрастает. В условиях российских ограничений

и потребности в локальных решениях развитие инфраструктуры ЦОД важно для обеспечения устойчивости и независимости цифровой экономики.

Модульные ЦОД предлагают гибкость и более короткие сроки развертывания, что может быть критически важным для быстро развивающихся проектов и удалённых регионов. Стационарные ЦОД, напротив, обеспечивают более высокий уровень надёжности и могут лучше отвечать требованиям долгосрочной эксплуатации в стабильных условиях. В этой связи актуально исследование экономических и эксплуатационных преимуществ каждого типа ЦОД с целью обоснованного выбора подходящего решения для российских условий, что позволит оптимизировать инвестиции и повысить эффективность работы критической инфраструктуры страны.

Степень разработанности проблемы

Вопросы экономической и эксплуатационной эффективности ЦОД активно изучаются как в России, так и за рубежом, особенно в аспекте архитектуры построения и методов эксплуатации стационарных и модульных центров обработки данных. Недостаточно изученные аспекты включают экономическое обоснование выбора оптимального типа ЦОД в зависимости от условий эксплуатации и других факторов, что и составляет предмет данного исследования.

Объект исследования

Стационарные и мобильные (модульные) центры обработки данных как объекты капитального строительства

Предмет исследования

Стоимость создания и эксплуатации ЦОД в привязке к архитектуре инженерных систем и уровням ИТ-мощности.

Цель работы

Разработать методику сравнительной оценки стоимости владения стационарных и модульных центров обработки данных по ключевым технико-экономическим показателям (CAPEX, OPEX, TCO) и на её основе определить области рационального применения каждого типа ЦОД в проектах различного масштаба.

Методы исследования

В работе использован метод оценки стоимости владения объектами капитального строительства (ТСО-подход), адаптированный к специфике стационарных и мобильных (модульных) центров обработки данных. Методика проверялась и уточнялась на основе сравнительного технико-экономического анализа и сценарного моделирования различных вариантов архитектуры инженерных систем и уровней ИТ-мощности ЦОД и МЦОД.

Научная новизна исследования заключается в разработке и апробации методики оценки стоимости владения стационарными и модульными центрами обработки данных как объектами капитального строительства, которая:

- учитывает специфику архитектуры инженерных систем ЦОД и уровней ИТ-мощности при разложении затрат на CAPEX, OPEX и TCO;
- позволяет в единой сравнительной форме сопоставлять стационарные и модульные решения на основе сценарной оценки вариантов построения ЦОД и МЦОД;

Практическая значимость

Данная методика позволяет проектировщикам и заказчикам ЦОД сопоставлять варианты стационарных и модульных решений по CAPEX, OPEX и TCO и обосновывать выбор типа ЦОД, архитектуры инженерных систем и уровня ИТ-мощности на стадии ТЭО и предпроекта.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И РЫНОК ЦОД

1.1. Тенденции роста цифровых данных и роль ЦОД в эпоху «информационного взрыва»

1.1.1. Масштаб и динамика «информационного взрыва»

За последние десятилетия мир столкнулся с качественно иным порядком величин создаваемой и потребляемой информации — феноменом «информационного взрыва». Согласно исследованиям Международной корпорации данных IDC, совокупный объём мировых данных к 2025 г. достигнет 175 ZB, что почти в четыре раза больше уровня 2019 г. (~45 ZB), то есть прирост составит порядка +288 % за шесть лет. Эти оценки отражают устойчивую экспоненциальную траекторию роста и радикально повышают требования к инфраструктуре хранения, транспортировки и обработки данных. [10] [11] (см. Рис. 1.1 и Рис. 1.2)

Figure 4 - Where data is created and stored

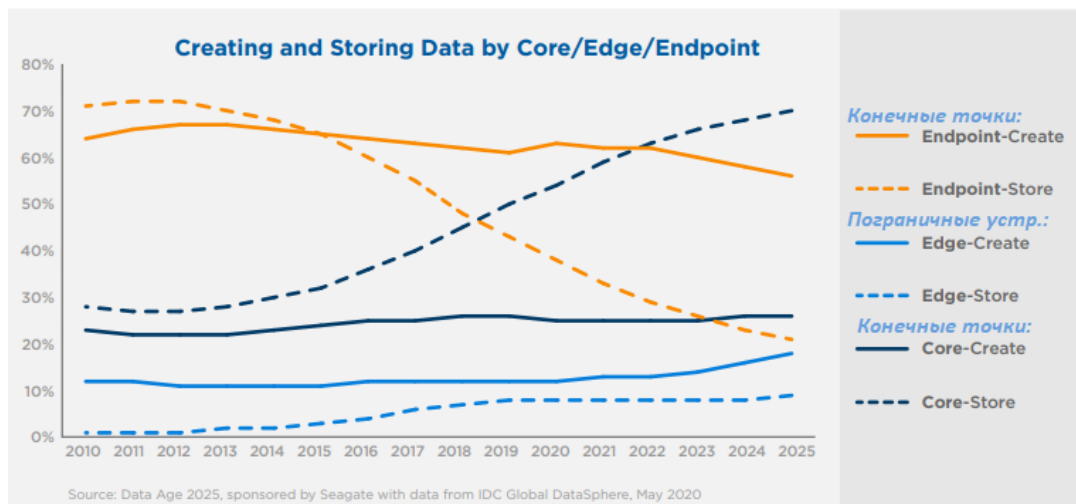


Рис. 1.1. Где данные будут создаваться (create) и где храниться (store) по мнению IDC

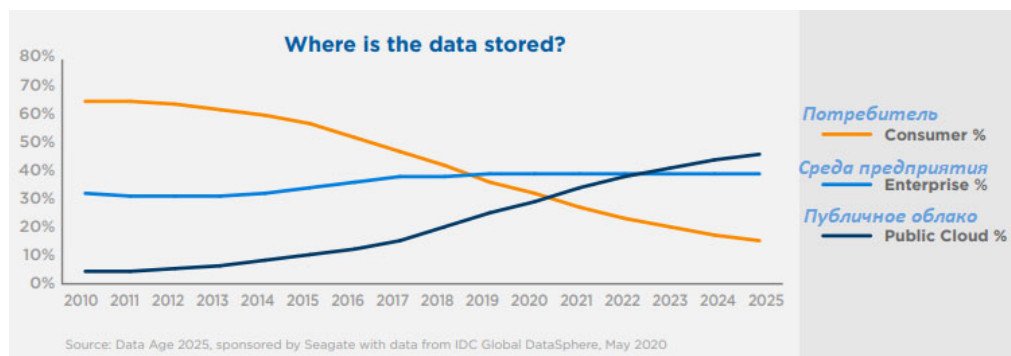


Рис. 1.2. Где данные будут храниться по мнению IDC

Пандемия COVID-19 выступила ускорителем уже сформировавшихся трендов: массовый переход на удалённую работу, онлайн-обучение и телемедицину кратно увеличил трафик и потребность в устойчивых вычислительных ресурсах и ёмкостях хранения, укрепив роль ЦОД как критической инфраструктуры цифровой экономики. [10][11]

1.1.2. Драйверы роста данных

Ключевыми драйверами выступают:

- тотальная цифровизация отраслей (от промышленности и транспорта до финансов и здравоохранения);
- распространение ИИ и машинного обучения (данные как «топливо» для моделей и как продукт их работы);
- рост IoT-платформ с непрерывной телеметрией;
- облачные сервисы, формирующие привычку «безграничного» вычислительного и дискового ресурса «по запросу».

Во всех случаях увеличивается не только объём данных, но и требования к скорости (latency), доступности (SLA) и надёжности (резервирование N/N+1/2N) инфраструктуры. Согласно выводам IDC, доля данных, хранимых и обрабатываемых в централизованных площадках (core-/cloud-store), продолжит расти, тогда как удельная доля на «периферии» (endpoint-store) будет постепенно снижаться — вследствие консолидации в облака и ЦОД. Это закрепляет роль ЦОД как «ядра» экосистемы, куда стягиваются потоки из распределённых

источников (пользовательские устройства, сенсоры, корпоративные системы).
[1]

Для российского контекста дополнительными факторами выступают внедрение 5G/FTTx, региональные программы цифровой трансформации и рост корпоративной аналитики/ИИ, что суммарно повышает нагрузку на локальные и облачные ЦОД-мощности. [10]

1.1.3. Роль ЦОД в цифровой экономике

ЦОДы обеспечивают непрерывную работу соцсетей и маркетплейсов, финансовых платформ, государственных сервисов, научных вычислений, мультимедийного стриминга, корпоративных ERP/CRM и т. д. На уровне инфраструктуры это означает:

- гарантированное электроснабжение и качественную фильтрацию электропитания ИТ-нагрузки (системы СГЭ/СБЭ);
- эффективное теплоотведение и микроклимат (ОВ, включая кондиционирование и увлажнение) под высокие удельные плотности стоек;
- масштабируемую сетевую связность и СКС для East-West/ North-South трафика;
- инженерную и физическую защиту (СБ) и мониторинг (АСМУ);
- операционную модель, соблюдающую целевые SLA и показатели эффективности (PUE/WUE/ERE). В условиях «информационного взрыва» именно способность ЦОД централизованно и предсказуемо обеспечивать эти свойства делает их основой устойчивости цифровых сервисов. [10]

С учётом прогнозируемого роста ИИ-нагрузок (обучение/инференс), растёт удельная доля высокоплотных стоек, увеличиваются требования к энергоснабжению (до десятков мегаватт на площадку) и к архитектурам охлаждения (вплоть до жидкостных/иммерсионных решений). Для крупных/гипермасштабных площадок типичные значения энергопотребления начинаются от 10 МВт и достигают 100 МВт и более; совокупная мощность

парка крупных ЦОД в мире оценивается десятками гигаватт. Эти порядки величин определяют особые требования к площадкам, присоединению к сетям, резервированию и эксплуатации.

1.1.4. Глобальное распределение мощностей и его значение для роли ЦОД

Мировая карта ЦОД характеризуется высокой концентрацией в технологически развитых странах. В 2024 г. насчитывается порядка нескольких тысяч крупных площадок, и США сохраняют доминирующую долю благодаря концентрации гипермасштабных провайдеров (Amazon, Google, Microsoft) и зрелости ИТ-рынка. [4] [5]

Россия также наращивает инфраструктуру ЦОД для укрепления цифрового суверенитета и локализации данных. По оценкам 2024 г., в стране порядка 110 крупных площадок (около 1,15 % мирового количества). Геополитические факторы и импортозамещение усиливают тренд на развитие собственных дата-центров, а также стимулируют изменения в структуре спроса (миграция критичных нагрузок в локальные ЦОД, развитие облаков отечественных провайдеров). [4] [6]

Ключевые закономерности:

- рост объёма данных → рост ёмкости и вычислительных мощностей;
- ИИ и IoT → необходимость высокоплотных кластеров и быстрой сетевой фабрики;
- COVID-19 и последующая «облачная инерция» → закрепление сервисной модели потребления ИТ-ресурсов;
- деглобализация/локализация → приоритет региональных/национальных ЦОД и требований по размещению данных.

В численном выражении это подтверждается и распределением суммарной мощности крупных ЦОД: на тройку лидеров (США, Китай, Великобритания) приходится основная доля мировых МВт, при этом в каждой из стран действуют

тысячи стоек и площади в десятках/сотнях тысяч м² на площадку. Для справки: совокупная установленная мощность по крупнейшим рынкам достигает десятков тысяч МВт; для одиночных гипермасштабных кампусов — 10–100 МВт и более. [16]

1.1.5. Экономические импликации: аналитика, облака, отраслевые эффекты

Вместе с ростом данных расширяется рынок их обработки и аналитики: прогнозы сулят двузначные темпы роста сегментам BI/ML/предиктивной аналитики, что поддерживает спрос на GPU-ресурсы, высокоплотные стойки и энергоэффективные системы охлаждения. Для России драйверами выступают отраслевые программы цифровизации (промышленность, транспорт, медицина), а также развитие национальных облачных платформ и сервисов. Это формирует структурный спрос на новые и модернизируемые ЦОД, включая региональные площадки для снижения латентности и выполнения требований по локализации данных. [1]

1.1.6. Выводы для последующих разделов работы

1. Рост мировых данных (до 175 ZB к 2025 г.) и усложнение цифровых сервисов гарантируют долгосрочный рост спроса на ЦОД, в первую очередь на энергоэффективные и масштабируемые площадки. [9] [10]
2. ИИ/IoT-нагрузки и «облачная инерция» усиливают переход к крупным и гипермасштабным ЦОД с высокими плотностями на стойку и мощностью 10–100 МВт+ на кампус. Это повышает значимость архитектур охлаждения и схем резервирования, что будет детализировано в разделах по CAPEX/OPEX/TCO. [9]
3. Геополитика и регуляторика смещают акцент к локализации и наращиванию национальных мощностей. Для РФ (≈ 110 крупных площадок, $\sim 1,15$ % мирового пула) это означает необходимость ускоренного ввода новых ЦОД и модернизации существующих, включая повышение эффективности (PUE/WUE) и надёжности. [4]

4. Консолидация данных в core/cloud-store усиливает ключевую роль ЦОД как центра притяжения потоков и «операционной системы» цифровой экономики. Это определяет требования к инженерным системам (ЭС, ЭОМ, СГЭ/СБЭ, ОВ, СКС, СБ, АСМУ), операционным моделям и показателям эффективности, которые будут последовательно разобраны далее. [9]

1.2. Типология ЦОД: стационарные, модульные (контейнерные), гибридные; архитектуры и топологии

1.2.1. Базовые типы и область применения

Стационарный ЦОД — центр обработки данных, размещённый в капитальном здании с традиционными строительными и инженерными системами. Типовые конструктивные признаки: серверные залы, фальшполы, гермозоны и изоляция коридоров, интеграция инженерных систем на уровне объекта (ЭС, ЭОМ, ОВ, ПТ, СКС, СБ, АСМУ). Подходит для крупных мощностей и долгого жизненного цикла объекта.

Модульный ЦОД (МЦОД, контейнерный/микромодульный) — ЦОД, выполненный в виде заводских модулей/контейнеров со встроенными инженерными системами, поставляемых и монтируемых укрупнёнными блоками на площадке. Отличительные элементы: контейнерная оболочка, готовые гермовводы и монтажные конструкции, внешние навесные площадки под наружные блоки ОВ и коммуникации. Ключевое преимущество — быстрый ввод и масштабирование «по мере роста нагрузки».

Гибридный ЦОД — комбинированная конфигурация, при которой стационарное здание дополняется модульными блоками (постоянно или временно) для прироста ИТ-мощности, отказоустойчивости или локального размещения специфичных кластеров (например, высокоплотных GPU-стоек).

Контекст мощности. Для крупных/гипермасштабных площадок ориентиры: подключённая мощность от 10 МВт до 100+ МВт, сотни/тысячи стоек и площади от $\geq 5\ 000\ \text{м}^2$ до $\geq 10^4\ \text{м}^2$ (вариативно по стандартам и

классификациям). Эти порядки величин характерны прежде всего для стационарных и гибридных кампусов.

1.2.2. Состав инженерных систем и архитектурные особенности Архитектурно-строительная часть (АС).

– *Стационарный ЦОД*: фальшполы, гермозоны, изоляция холодных/горячих коридоров, встроенные конструкции и помещения технических систем.

– *МЦОД*: контейнерная оболочка, гермовводы, наружные монтажные площадки, козырьки входной группы, регулируемые опоры, штатные узлы сопряжения с коммуникациями площадки.

Монтажные конструкции (МК).

Лотки, кабель-каналы, гермовводы и опорные конструкции как в стационарном, так и в модульном исполнении (в МЦОД — поставка унифицированных комплектов).

Охлаждение и вентиляция (ОВ).

Отопление, вентиляция, кондиционирование, пароувлажнение. Изоляция коридоров обязательна для управляемого воздушного контура; по мере роста плотностей возможен переход к межрядным решениям «in-row», дверям-теплообменникам или жидкостному съёму тепла.

Электроснабжение (ЭС/ЭОМ).

– *ЭС*: внешние вводы и присоединения к сетям.

– *ЭОМ*: внутренняя распределительная сеть, СГЭ (аварийный ввод/генерация), СБЭ (ИБП), распределение до PDU/БРП, заземление, освещение, АВР/ATS. Топологии резервирования N/N+1/2N задаются требованиями уровня отказоустойчивости.

Безопасность и мониторинг.

СБ (ОС, СКУД, СОТ), ПС и АУППТ (газовое пожаротушение), АСМУ/АК для мониторинга и управления инженерными системами.

Вывод. Стационарные объекты оптимальны под высокую мощность и многоуровневое резервирование; модульные — под быстрый развёртываемость и ступенчатую капиталоемкость. Гибриды позволяют управлять рисками и сроками при наращивании нагрузки

1.2.3. Топологии резервирования и охлаждения

Резервирование электроснабжения.

Целевой Tier/Rating определяется комбинациями N, N+1, 2N и схематикой разделения путей: трансформаторы/ДГУ — ИБП — распределение — PDU/БРП — стойка. Для объектов критичной категории (финансы, облака, ИИ-кластеры) преобладают схемы N+1 и 2N на ключевых ступенях.

Воздушные схемы с изоляцией коридоров.

Базовый подход — геометрическая изоляция холодных/горячих коридоров в серверных залах; в стационарных — чаще через фальшпол и/или верхнюю подачу, в МЦОД — через модульные короба и межрядные кондиционеры.

Высокоплотные кластеры.

Для GPU-стоек и обучающих ферм целесообразен поэтапный переход к межрядным и жидкостным решениям (in-row, rear-door HX, DLC/immersion) с приоритизацией энергосбережения и WUE.

1.2.4. Сетевые архитектуры (логика ЦОД-фабрики)

В современных ЦОД преобладают:
– трёхуровневые схемы (ядро — агрегация — доступ) как эволюция классических кампусов.

– spine-leaf-фабрики для East-West-трафика, масштабируемые линейным добавлением пар spine/leaf.

Выбор топологии коррелирует с требуемой латентностью, масштабируемостью «по портам» и моделями отказоустойчивости сети (ECMP, MLAG/EVPN, SR-MPLS/Segment Routing).

1.2.5. Сравнение типов по жизненному циклу (выжимка для последующих разделов)

Сроки ввода. МЦОД — месяцы (заводская готовность, параллельные работы на площадке), стационарный — как правило, дольше из-за стройки, экспертиз и ввода (обычно ≥ 12 –18 месяцев; проектно-зависимо).

Капитальные затраты (CAPEX). МЦОД распределяет CAPEX ступенчато (модульные очереди); стационарный требует крупного upfront, но лучше раскрывает эффект масштаба на мощностях ≥ 10 МВт.

Операционные расходы (OPEX). Зависимы от архитектуры охлаждения и резервирования (влияние на PUE/WUE), компоновки инженерных помещений и логистики эксплуатации.

Мощность и рост. Для мощностей 10–100 МВт (и более) и кампусных конфигураций предпочтение чаще отдают стационарным/гибридным решениям (площади, инженерные заделы, магистральные присоединения).

Управление рисками. Гибридный формат позволяет быстро «закрывать» пики спроса модульными блоками, не останавливая строительство/модернизацию главного корпуса.

1.2.6. Роль типологии в контексте «информационного взрыва»

Сдвиг хранения и обработки в сторону core/cloud-площадок усиливает спрос на масштабируемые (в том числе модульные/гибридные) решения. При этом высокие ИТ-плотности и требования к SLA подталкивают к архитектурам более высокого уровня резервирования. Это закрепляет ЦОД как «операционную систему» цифровой экономики и объясняет концентрацию инвестиций в крупные и гипермасштабные площадки. [9] [10]

1.3. Глобальные и российские тренды в развитии ЦОД

1.3.1. Макротренды: от роста данных к концентрации мощностей

Глобальный рынок ЦОД следует за экспоненциальным ростом цифровых данных, ИИ и облачных сервисов. Консолидация вычислений и хранения в core/cloud-площадках закрепляет доминирование стран с развитой ИТ-экосистемой и капиталоемкими инфраструктурными проектами, прежде всего США. Это проявляется как в числе объектов, так и в совокупной установленной мощности крупных площадок.

Ключевые драйверы тренда остаются стабильными:

— рост объёма данных (до ориентировочных 175 ZB к 2025 г.), «облачная инерция» после 2020–2021 гг.;

— ускоренное внедрение ИИ/ML и IoT/IIoT;

— курс на цифровой суверенитет (локализация данных, развитие национальных облаков).

Для инфраструктуры это означает приоритет крупных и гипермасштабных кампусов с мощностью 10–100+ МВт, многоуровневым резервированием и возрастающими плотностями стоек (GPU-кластеры).

1.3.2. Глобальная картина: распределение по странам и мощностям

Мировая карта ЦОД характеризуется высокой концентрацией в технологических центрах. По сводным данным опубликованной научной статьи автора, где подробно рассмотрены доли распределения построенных ЦОД по всему миру, где автор показал, что США удерживают доминирующую долю по числу крупных площадок; на их долю приходится $\approx 56,25$ % мирового пула крупных ЦОД, далее — Германия ($\approx 5,46$ %), Великобритания ($\approx 5,41$ %), Китай ($\approx 4,69$ %) и др. [13] (см. Таблица 1.1)

Таблица 1.1

Количество крупных ЦОД и серверных помещений по странам мира

№ п/п	Страна	Кол-во крупных ЦОД ¹	Доля от мирового числа крупных ЦОДов	Доля крупных ЦОД от общего числа ЦОД страны	Оценочное кол-во всех ЦОД и серверных помещений ¹	Доля от мирового числа всех ЦОД и серверных помещений ³
1	2	3	4	5	6	7
2	США	5375	56,25%	0,11%	5 000 000 – 6 000 000	49,90%
3	Германия	522	5,46%	0,10%	500 000 – 600 000	0,15%
4	Великобритания	517	5,41%	0,13%	400 000 – 500 000	0,15%
5	Китай	448	4,69%	0,04%	1000000 – 1200000	0,20%
6	Канада	335	3,51%	0,11%	300 000 – 400 000	0,20%
7	Франция	314	3,29%	0,16%	200 000 – 300 000	0,20%
8	Австралия	306	3,20%	0,20%	150 000 – 250 000	0,30%
9	Япония	222	2,32%	0,11%	200000 – 300000	0,30%
10	Нидерланды	180	1,88%	0,09%	150 000 – 200 000	0,40%
11	Южная Корея	155	1,62%	0,10%	150 000 – 200 000	0,50%
12	Индия	130	1,36%	0,02%	500 000 – 700 000	0,70%
13	Бразилия	120	1,26%	0,05%	200 000 – 300 000	0,80%
14	Россия	110	1,15%	0,04%	300000 – 500000	0,80%
15	Испания	100	1,05%	0,07%	150 000 – 250 000	1,00%
16	Италия	95	0,99%	0,08%	150000 – 250000	1,00%
17	ЮАР	80	0,84%	0,05%	100 000 – 150 000	1,50%
18	Мексика	75	0,78%	0,07%	100 000 – 150 000	1,50%
19	ОАЭ	65	0,68%	0,06%	80 000 – 120 000	2,99%
20	Турция	60	0,63%	0,05%	80 000 – 120 000	2,00%

№ п/п	Страна	Кол-во крупных ЦОД ¹	Доля от мирового числа крупных ЦОДов	Доля крупных ЦОД от общего числа ЦОД страны	Оценочное кол-во всех ЦОД и серверных помещений ¹	Доля от мирового числа всех ЦОД и серверных помещений ³
21	Швеция	55	0,58%	0,07%	70 000 – 100 000	4,99%
22	Швейцария	50	0,52%	0,04%	50 000 – 80 000	1,50%
23	Сингапур	45	0,47%	0,06%	40 000 – 60 000	1,50%
24	Финляндия	40	0,42%	0,05%	30 000 – 50 000	2,00%
25	Польша	35	0,37%	0,07%	30 000 – 50 000	1,50%
26	Австрия	30	0,31%	0,04%	20 000 – 30 000	2,00%
27	Аргентина	28	0,29%	0,06%	20 000 – 30 000	2,99%
28	Норвегия	25	0,26%	0,05%	20 000 – 30 000	9,98%
29	Малайзия	20	0,21%	0,05%	15 000 – 25 000	3,99%
30	Колумбия	18	0,19%	0,05%	15 000 – 25 000	4,99%
	Итого	9555	100%		10 020 000 - 12 970 000	100%

Так что в этой работе автора показано, что если смотреть через призму установленной мощности, совокупная мощность крупных ЦОД в мире оценивается 18 228 МВт. Вклад стран-лидеров: США — 6 994 МВт (38,4 %), Китай — 2 524 МВт (13,9 %), Великобритания — 1 053 МВт (5,8 %). Россия — 460 МВт (2,52 %). Эти ориентиры подчёркивают концентрацию вычислительных ресурсов у технологических лидеров и растущие, но пока скромные доли у догоняющих рынков. (см. Таблица 1.2)

Таблица 1.2

Суммарная мощность крупных ЦОД по странам мира

№ п/п	Страна / Регион	Мощность крупных ЦОД, МВт	Доля от общей мощности
1	2	3	4
2	США	6994	38,37%
3	Китай	2524	13,85%
4	Великобритания	1053	5,78%
5	Сингапур	876	4,81%
6	Япония	865	4,75%
7	Германия	864	4,74%
8	Австралия	667	3,66%
9	Нидерланды	531	2,91%
10	Россия	460	2,52%
11	Гонконг	417	2,29%
12	Франция	391	2,14%
13	Южная Корея	345	1,89%
14	Индия	310	1,70%
15	Канада	267	1,46%
16	Бразилия	200	1,10%
17	Испания	180	0,99%
18	Италия	165	0,91%
19	ЮАР	150	0,82%
20	Швеция	140	0,77%
21	Швейцария	130	0,71%
22	Мексика	125	0,69%
23	Турция	110	0,60%
24	Финляндия	95	0,52%
25	ОАЭ	90	0,49%
26	Польша	85	0,47%
27	Норвегия	70	0,38%
28	Малайзия	65	0,36%
29	Колумбия	60	0,33%
	Итого:	18 228,63	100%

По географии распределения крупные ЦОД показаны в таблице и на рисунке ниже.(см. Рис. 1.3 и Таблица 1.3)



Рис. 1.3. География распределения крупных ЦОД по части стран

Таблица 1.3

Количество крупных ЦОД по странам мира

№ п/п	Страна	Кол-во крупных ЦОД ¹	Доля от мирового числа крупных ЦОДов	Доля крупных ЦОД от общего числа ЦОД страны	Оценочное кол-во всех ЦОД и серверных помещений ¹	Доля от мирового числа всех ЦОД и серверных помещений ³
1	1	2	3	4	5	6
2	США	5375	56,25%	0,11%	5 000 000 – 6 000 000	49,90%
3	Германия	522	5,46%	0,10%	500 000 – 600 000	0,15%
4	Великобритания	517	5,41%	0,13%	400 000 – 500 000	0,15%
5	Китай	448	4,69%	0,04%	1 000 000 – 1 200 000	0,20%
6	Канада	335	3,51%	0,11%	300 000 – 400 000	0,20%
7	Франция	314	3,29%	0,16%	200 000 – 300 000	0,20%
8	Австралия	306	3,20%	0,20%	150 000 – 250 000	0,30%
9	Япония	222	2,32%	0,11%	200 000 – 300 000	0,30%
10	Нидерланды	180	1,88%	0,09%	150 000 – 200 000	0,40%
11	Южная Корея	155	1,62%	0,10%	150 000 – 200 000	0,50%
12	Индия	130	1,36%	0,02%	500 000 – 700 000	0,70%
13	Бразилия	120	1,26%	0,05%	200 000 – 300 000	0,80%

№ п/п	Страна	Кол-во крупных ЦОД ¹	Доля от мирового числа крупных ЦОДов	Доля крупных ЦОД от общего числа ЦОД страны	Оценочное кол-во всех ЦОД и серверных помещений ¹	Доля от мирового числа всех ЦОД и серверных помещений ³
1	1	2	3	4	5	6
14	Россия	110	1,15%	0,04%	300 000 – 500 000	0,80%
15	Испания	100	1,05%	0,07%	150 000 – 250 000	1,00%
16	Италия	95	0,99%	0,08%	150 000 – 250 000	1,00%
17	ЮАР	80	0,84%	0,05%	100 000 – 150 000	1,50%
18	Мексика	75	0,78%	0,07%	100 000 – 150 000	1,50%
19	ОАЭ	65	0,68%	0,06%	80 000 – 120 000	2,99%
20	Турция	60	0,63%	0,05%	80 000 – 120 000	2,00%
21	Швеция	55	0,58%	0,07%	70 000 – 10 0000	4,99%
22	Швейцария	50	0,52%	0,04%	50 000 – 80 000	1,50%
23	Сингапур	45	0,47%	0,06%	40 000 – 60 000	1,50%
24	Финляндия	40	0,42%	0,05%	30 000 – 50 000	2,00%
25	Польша	35	0,37%	0,07%	30 000 – 50 000	1,50%
26	Австрия	30	0,31%	0,04%	20 000 – 30 000	2,00%
27	Аргентина	28	0,29%	0,06%	20 000 – 30 000	2,99%
28	Норвегия	25	0,26%	0,05%	20 000 – 30 000	9,98%
29	Малайзия	20	0,21%	0,05%	15 000 – 25 000	3,99%
30	Колумбия	18	0,19%	0,05%	15 000 – 25 000	4,99%
	Итого:	9555	100%		10 020 000 - 12 970 000	100%

При этом под мировым «зонтиком» (см. Рис. 1.4) крупных ЦОД сосуществует огромный и разнородный пласт малых ЦОД и серверных помещений (МСП-сегмент), количество которых трудно оценить из-за

методологических различий; в ряде стран их число на порядок превосходит число крупных площадок, оставаясь важным уровнем локальной ИТ-инфраструктуры и периферийной обработки. [12]

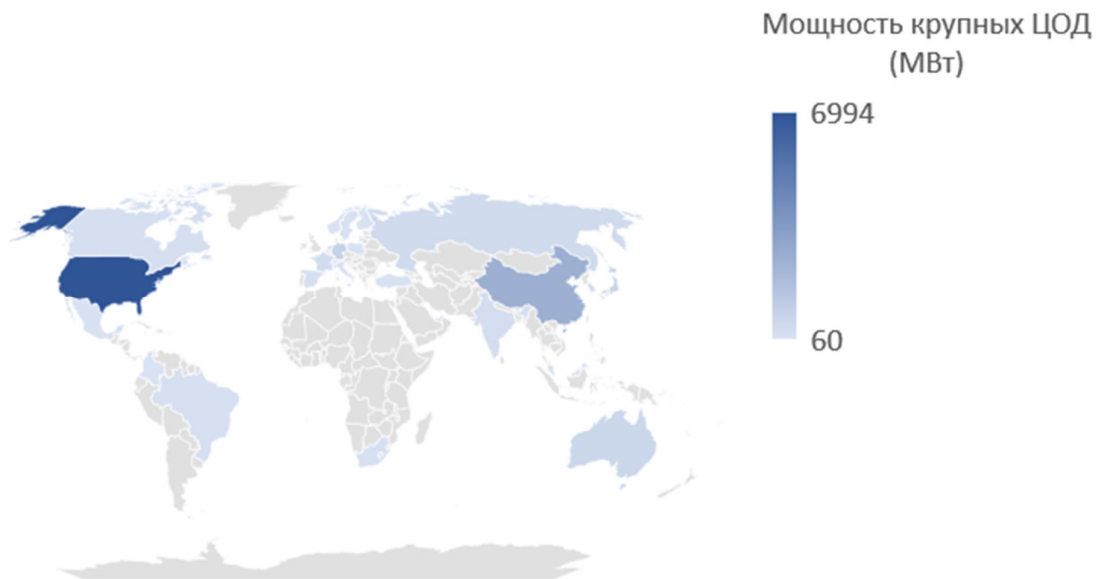


Рис. 1.4. География распределения крупных ЦОД по части стран

1.3.3. Что меняется внутри площадок: архитектуры, плотности, SLA

Внутри ЦОД усиливается тренд на высокоплотные стойки (кластеризация ИИ/GPU), что ведёт к пересборке охлаждения (переход от чисто воздушных схем с изоляцией коридоров к межрядным решениям и жидкостным контурам для «горячих» кластеров) и повышенным требованиям к электроснабжению и топологиям резервирования. Для крупных/гипермасштабных объектов «десятки мегаватт» становятся нормой, а SLA закрепляются через N/N+1/2N-резервирование на ключевых ступенях (ввод — ИБП — распределение — стойка). [17]

Параллельно продолжает расти значение сетевых фабрик (spine-leaf) и унифицированных архитектур, поддерживающих масштабируемый East-West-трафик для облаков и ИИ-кластеров (см. 1.2 и термины раздела 5–6; в 1.3 метрики эффективности и уровня отказоустойчивости будут связаны с архитектурными решениями).

1.3.4. Россия: динамика, структура, факторы роста

Россия последовательно наращивает парк ЦОД, ориентируясь на локализацию данных, развитие отечественных облачных сервисов и повышение цифрового суверенитета. По состоянию на 2024 г. — порядка 110 крупных ЦОД, что эквивалентно $\approx 1,15\%$ мирового числа подобных объектов; вклад в мировую мощность — ≈ 460 МВт ($\approx 2,52\%$). Наибольшая концентрация площадок — Москва и Санкт-Петербург (региональные центры тяготения трафика и бизнеса). [4]

На спрос в РФ одновременно влияют:

- рост ИИ-нагрузок в корпоративном секторе (финансы, логистика, промышленность) и государственные сервисы;
- ограничение поставок импорта и курс на импортнезависимость, стимулирующий собственные ЦОД и облачные платформы;
- проектная активность операторов и интеграторов, модернизация существующих площадок.

Следствия для архитектуры: при целевых мощностях в несколько мегаватт и выше уместны стационарные/гибридные кампусы с заделом по электроснабжению и охлаждению под высокоплотные кластеры; модульность применяется для ускорения ввода очередей и снижения рисков по срокам.

1.3.5. Экономические и отраслевые импликации

Глобально и в РФ спрос на аналитику/ML/генеративный ИИ усиливает потребность в GPU-ресурсах и энергоэффективной эксплуатации (снижение PUE, оптимизация контуров охлаждения), а также в магистральной связности и низкой латентности. В ближайшие годы ожидается ускоренная модернизация действующих площадок и запуск очередей/новых кампусов в ключевых локациях (деловые и сетевые узлы, доступность мощностей электросети). [17]

Для России дополнительным фактором является регуляторика локализации и приоритет внутреннего размещения критичных сервисов, что

укрепляет устойчивость спроса на новые ЦОД-мощности и реконструкции. К такому выводу приходит автор в опубликованной научной статье. [11]

1.3.6. Выводы для последующих разделов

1. Глобальный тренд — концентрация мощностей и «гипермасштабирование» под ИИ/облака; ядро рынков — США/ЕС/Азия, при растущей доле РФ в собственном сегменте. Числовые ориентиры: $\approx 56,25\%$ крупных ЦОД — США; мировая мощность — $\approx 18\,228$ МВт; РФ — ≈ 110 площадок ($\sim 1,15\%$) и ≈ 460 МВт ($\sim 2,52\%$).
2. Архитектурно усиливаются высокоплотные решения и резервирование N/N+1/2N; при мощностях 10–100+ МВт — фокус на кампусные стационарные/гибридные объекты с масштабируемым охлаждением и сетью.
3. Для РФ устойчивыми остаются драйверы суверенитета данных и импортонезависимости; спрос концентрируется в крупнейших агломерациях и усиливает требования к энергоприсоединению и операционной эффективности.

2. НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦОД

2.1. Российские нормативы: ГОСТы, СП, стандарты

В 2024 году введён новый свод правил СП 541.1325800.2024 «Здания и сооружения центров обработки данных. Правила проектирования», который устанавливает единые требования к проектированию ЦОД: систематизирует подходы к архитектуре и инженерной инфраструктуре, описывает классификацию по показателям мощности и размещения, состав обязательных технологических зон и требования к их взаимному расположению; цели — надёжность, энергоэффективность и оптимизация охлаждения.

Для объектов малой мощности документ вводит облегчённые требования: согласно п. 4.4 СП 541, здания или помещения ЦОД с требуемой ИТ-мощностью < 250 кВт и площадью до 24 м² могут проектироваться по упрощённой схеме, при обязательном соблюдении базовых норм по надёжности, пожарной безопасности, электроснабжению и т. д. Это снижает барьер для небольших/модульных решений.

Параллельно действует серия национальных стандартов (ТК 120 «ИКТ в строительстве»):

— ГОСТ Р 58811-2020 (стадии создания инженерной инфраструктуры ЦОД) и ГОСТ Р 58812-2020 (операционная модель эксплуатации);

— ГОСТ Р 70139-2022 «Инженерная инфраструктура. Классификация» — вводит перечень ключевых показателей надёжности/эффективности и их классы; фактически формирует отечественную систему классификации уровней надёжности, сопоставимую с Uptime Tier;

— ГОСТ Р 70627-2023 «Инженерная инфраструктура. Документация. Техническая концепция».

Эти документы задают рамки для проектирования, эксплуатации и документирования ЦОД в РФ.

Влияние норм на экономику проектов. Нормативы не регламентируют стоимость напрямую, но определяют минимально необходимые технические решения (резервирование, энергоэффективность), что опосредованно влияет на CAPEX/OPEX и формирует сопоставимую базу для сравнения стационарных и модульных решений.

2.2.Международные стандарты: ANSI/TIA-942, Uptime Institute, ISO/IEC 22237, и их сопоставление с российской системой ANSI/TIA-942

Комплексный стандарт телекоммуникационной и инженерной инфраструктуры ЦОД (сеть, электроснабжение, охлаждение, физическая безопасность и др.), включающий классификацию надёжности Rated 1–4 (по смыслу аналогичную уровню резервирования в подходе Tier) [9], [10]. Рост уровня резервирования повышает капитальные затраты: исторически (оценки Uptime/рынка) Tier I \approx \$10 тыс./кВт, Tier III \approx \$20 тыс./кВт, Tier IV \approx \$22 тыс./кВт (данные 2006 г.), в 2020-е — снижение за счёт масштаба/технологий (для > 20 МВт Tier III — \approx \$7–8 млн/МВт; 5–20 МВт — \approx \$8–9 тыс./кВт) [11]–[13]; российские ориентиры сопоставимы (например, \approx \$7,6 тыс./кВт; для типовых проектов — ещё ниже при унификации решений) .

Uptime Institute (Tier I–IV)

Методология рейтингования отказоустойчивости инфраструктуры ЦОД: от Tier I (минимальная резервированность, доступность \sim 99,67 %) до Tier IV (полная отказоустойчивость, \sim 99,995 %); повышение Tier означает дублирование источников питания/охлаждения и рост CAPEX. В практических проектах Tier используется как целевой уровень резервирования/доступности.

ISO/IEC 22237 (эквивалент EN 50600)

Международная серия стандартов, покрывающая весь жизненный цикл ЦОД: требования к зданию, инженерным системам, эксплуатации и энергоэффективности; соответствие подтверждается сертификацией.

Рекомендуется учитывать наличие/перспективу соответствия ISO/IEC 22237 при выборе решений/поставщиков.

Сопоставление с российской системой

Российские нормы СП 541 и ГОСТ Р 70139-2022 дают конструктивно-эксплуатационную базу и классификацию показателей надёжности/эффективности, сопоставимую по назначению с системами TIA-942/Uptime Tier (уровни резервирования/доступности), создавая общую методическую платформу для проектирования и сравнения типов ЦОД при равном нормативном уровне качества. В совокупности, соблюдение СП/ГОСТ и международных стандартов обеспечивает надёжность, безопасность и энергоэффективность ЦОД, а также формирует корректную основу для технико-экономических сопоставлений. [9]

2.3. ЦОД как объект капитального строительства. Специфика проведения работ по капитальному ремонту

ЦОД предъявляет одновременно крайне высокие требования к надёжности ИТ-инфраструктуры и строительных конструкций. СП 541.1325800.2024 прямо рассматривает здания и сооружения центров обработки данных как объекты капитального строительства (отдельные здания или встроенные/пристроенные помещения), к которым в полном объёме применяются строительные нормы по надёжности, долговечности и эксплуатации. Высокая плотность инженерных систем и ИТ-оборудования приводит к большим эксплуатационным нагрузкам на перекрытия: для серверных помещений и фальшполов характерны расчётные распределённые нагрузки порядка 10–20 кПа ($\approx 1000 - 2000 \text{ кг/м}^2$), а предельная сосредоточенная нагрузка в типовых рекомендациях достигает 4,4 кН на опорную плиту. Это существенно выше нагрузок обычных офисных и жилых зданий ($150-200 \text{ кг/м}^2$), что требует усиленных несущих перекрытий, тщательного расчёта прогибов и вибропрочности.

ЦОД является источником постоянного шума и вибраций (оборудование, вентиляторы, чиллеры, ДГУ), включая низкочастотные составляющие, что

предъявляет дополнительные требования к перекрытиям, стенам и узлам опирания с точки зрения виброизоляции. Ограждающие конструкции должны надёжно защищать внутренний объём от внешних климатических воздействий (температура, солнце, снег, ветер) и от воды: исключить протечки кровли и узлов ввода коммуникаций, подтопления в межсезонье, нарушение тепловлажностного режима. Для зданий ЦОД, как правило относящихся ко II–III степени огнестойкости, важны возможность осмотра несущего каркаса, контроль состояния огнезащитных покрытий и их периодическое восстановление в течение жизненного цикла в соответствии с общими правилами эксплуатации зданий и сооружений.

Стационарный ЦОД как объект капитального строительства подчиняется общему режиму капитального ремонта зданий. СП 255.1325800.2016 устанавливает рекомендуемый срок службы зданий массового строительства не менее 50 лет, при этом расчётные сроки службы элементов и систем могут уточняться проектом. Ведомственные строительные нормы ВСН 58-88(р) фиксируют, что эффективный срок эксплуатации основных конструктивных элементов в среднем не превышает 25–30 лет; на этой базе региональные программы капитального ремонта многоквартирных и общественных зданий принимаются с горизонтом 25–30 лет и предусматривают полное восстановление или замену выработавших ресурс элементов. В сочетании с требованиями СП 255.1325800.2016 это обосновывает необходимость капитального ремонта строительной части стационарного ЦОД не реже одного раза за расчётный срок службы здания, то есть ориентировочно с периодичностью порядка 25–30 лет, с предварительной оценкой технического состояния по ГОСТ 31937-2024.

Мобильные и контейнерные ЦОД относятся к мобильным (инвентарным) зданиям. Их параметры регламентируются ГОСТ Р 58760-2019 «Здания мобильные (инвентарные). Общие технические условия»: для контейнерных модулей с несъёмной ходовой частью расчётный срок службы должен быть не менее 10 лет, со съёмной ходовой частью — не менее 15 лет, для сборно-разборных модулей — не менее 20 лет. За этот срок нормативно предусмотрено

не менее 5 передислокаций для сборно-разборных зданий из блок-контейнеров и не менее 3 — для зданий из плоских и линейных элементов. В типовых технических условиях на модули для технологического оборудования (в том числе аппаратных и энергомодулей) закрепляется расчётный срок службы 15 лет при допустимом количестве передислокаций не более 5 раз, с обязательным выполнением регламентных работ после транспортировки и перед вводом в эксплуатацию.

При этом в НТД для мобильных зданий напрямую не задаётся периодичность капитального ремонта в годах и не ограничивается жёстко количество продлений срока службы сверх расчётного. ГОСТ 22853-86 задаёт нормативный срок и число передислокаций, а оценка остаточного ресурса и возможность продления эксплуатации выполняются по результатам технического обследования по ГОСТ 31937-2024 с оформлением заключения о безопасной эксплуатации на очередной интервал времени. На практике для оболочки мобильных ЦОД, имеющей расчётный срок службы 15 лет, крупные ремонтные мероприятия и восстановление защитных покрытий планируют как минимум один раз за этот период (примерно на 7–10-й год эксплуатации) и далее могут продлевать ресурс на 5–10 лет за счёт комплексного капремонта, при условии положительного заключения обследования; число таких продлений определяется не нормами, а фактическим техническим состоянием конструкций.

Жизненные циклы оборудования и строительной оболочки принципиально различаются. ИТ-оборудование в ЦОД обычно обновляют каждые 2–3 года, инженерные системы (холодоснабжение, электроснабжение, ИБП, вентиляция) — в среднем раз в 7–10 лет (по регламентам производителей и экономической целесообразности), тогда как оболочка стационарного здания рассчитана минимум на 50 лет, а оболочка мобильного модуля — на 10–20 лет с учётом допустимых передислокаций. Таким образом, строительная часть стационарных и мобильных ЦОД живёт значительно дольше, чем ИТ- и инженерное оборудование, для которого она создаётся, что требует продуманной стратегии капитальных ремонтов и создаёт потенциал последующего перепрофилирования

этих объектов под иной функционал. Это подчёркивает инженерно-строительную специфику и долгосрочную значимость ЦОД и МЦОД как особого типа промышленных зданий в современной практике строительства.

3. МЕТОДИКА СРАВНЕНИЯ ТИПОВ ЦОД: СТАЦИОНАРНЫЙ ЦОД И МЦОД

3.1. Сценарный анализ ТСО стационарного и модульного ЦОД

Цель. Определить, при каких диапазонах ИТ-мощности и горизонтах владения экономически целесообразнее модульный ЦОД (МЦОД), а когда — стационарный ЦОД, на основе сравнения совокупной стоимости владения (ТСО) по трём реперным уровням нагрузки: 100, 500 и 1000 кВт.

Метод

1. Формируем эталонные параметры по каждому типу объекта (стационарный/модульный): PUE, удельная плотность ИТ на 1 м², удельный CAPEX на 1 кВт ИТ, состав штата, сервисная доля, площадь и др.
2. Приводим показатели к сопоставимому виду (нормализация «на 1 кВт ИТ», «на 1 м²», «на 1 стойку») и рассчитываем сводные KPI:
 - PP_carex_it (цена строительства 1 кВт ИТ),
 - PP_it_S (кВт/м²),
 - PP_it_Rack (кВт/стойку).
3. Считаем годовой OPEX как сумму: электроэнергия, сервис/ремонт (доля от CAPEX), персонал (штат × средняя стоимость), прочее (аренда здания для стационара или земли для МЦОД, связь).
4. Рассчитываем ТСО на горизонтах 1, 5, 10, 15 и 20 лет и сравниваем варианты; дополнительно фиксируем разницу ТСО_Δ (стационарный минус модульный).
5. Интерпретируем результаты: отмечаем точку перелома (если есть), основные драйверы различий и чувствительности.

Сценарии

- **Сценарий №1 (100 кВт).** Низкая мощность, базовая инженерия; PUE задаётся одинаковым для обоих вариантов.
- **Сценарий №2 (500 кВт).** Переходная мощность, где в стационарном варианте становится оправданным более эффективное охлаждение; PUE и плотности берутся из «Входных значений».
- **Сценарий №3 (1000 кВт).** Крупная мощность; для стационарного ЦОД применяются продвинутое схемы охлаждения, обеспечивающие более низкий PUE по сравнению с модульной архитектурой.

Допущения и ограничения.

- Все суммы в USD; курс пересчёта в рубли задан в разделе «Параметры».
- Режим работы — 24/7/365, без суточной дифференциации тарифа; р_energy считается усреднённой ставкой с НДС.
- Аренда: для стационарного ЦОД — ставка за м² помещения; для МЦОД — ставка за м² земельного участка (при необходимости учитывается коэффициент фактического «footprint»).
- Штат: для МЦОД добавлена одна единица к сопоставимой мощности из-за обслуживания контейнерной оболочки и наружной инфраструктуры.
- Сервисная доля (serv) трактуется как ежегодный резерв на ЗиП, регламент и аварийно-восстановительные работы (для малых мощностей включает часть услуг подрядчиков).
- Показатели PUE, PP_capex_it, PP_it_S и n_staff фиксируются на весь период сценария согласно таблице «Входные значения»; деградация оборудования, поэтапная замена, рост тарифов и индексация не учитываются.
- Дисконтирование денежных потоков не применяется; сравнение проводится по недисконтированным TCO (при необходимости NPV-анализ добавляется отдельным подпунктом).

- Не учитываются косвенные издержки простоя и рисковые премии (страхование, штрафы SLA, потери выручки).
- Климатика и доступность free-cooling учтены опосредованно через выбранные значения PUE для каждого сценария.

Результат представления.

Для каждого сценария приводятся таблицы «Входные значения», «Расчётные значения» (CAPEX, структура OPEX, TCO на горизонтах), итоговая таблица для построения графика и диаграмма «Общая стоимость владения ЦОД и МЦОД». Итоги по сценариям суммируются в общих выводах раздела.

3.2.Применяемая методика расчета и формулы расчета

Для корректного сопоставления вариантов (стационарный ЦОД и МЦОД) рассчитывается приведённая совокупная стоимость владения (TCO_{NPV}) на горизонте N лет: учитываются разовые капитальные затраты в начале проекта, все годовые эксплуатационные платежи и плановые замены, дисконтированные по ставке r , а в конце горизонта вычитается приведённая ликвидационная стоимость:

$$TCO_{NPV} = CAPEX_0 + \sum_{t=1}^N \frac{OPEX_t + REPL_t + OTHER_t}{(1+r)^t} - \frac{SALVAGE_N}{(1+r)^N} \quad (3.1)$$

где $CAPEX_0$ - капитальные затраты (единовременно в начале проекта), руб;

$OPEX_t$ - эксплуатационные затраты в году t (электроэнергия, связь, персонал, аренда, ТО и пр.), руб;

$REPL_t$ - плановые замены/капремонты оборудования в году t (единовременные платежи), руб;

$OTHER_t$ - прочие расходы в году t (страхование, налоги, сервисные платы и т. п.);

r - реальная ставка дисконтирования (без инфляции; при использовании номинальной ставки затраты должны быть в текущих ценах)

$SALVAGE_N$ - ликвидационная/остаточная стоимость на конец N -го года, руб;

N - расчётный горизонт, лет.

Для быстрых ориентировочных сравнений, когда горизонт мал, ставка дисконтирования невелика, годовой ОРЕХ приблизительно постоянен, а ликвидационная стоимость и замены несущественны, применяют укрупнённую оценку ($TSCO_N$) без дисконтирования:

$$TSCO_N = CAPEX + OPEX_N \quad (3.2)$$

где $CAPEX$ - капитальные затраты (единовременно в начале проекта), руб;

$OPEX_N$ - суммарные эксплуатационные затраты за N лет

$$CAPEX = CAPEX_{build} + CAPEX_{field} \quad (3.3)$$

где $CAPEX_{build}$ - базовая стоимость строительства ЦОД или изготовления МЦОД, руб;

$CAPEX_{field}$ - стоимость подготовки площадки (для размещения МЦОД), руб.

Капитальные затраты ($CAPEX_{build}$) строительства рассчитаем по приведенным значениям как удельную стоимость на 1 кВт ИТ-мощности, умноженную на расчётную ИТ-мощность:

$$CAPEX_{build} = PP_{capex}^{(IT)} \cdot P_{IT} \quad (3.4)$$

где $PP_{capex}^{(IT)}$ - удельная цена строительства на 1 кВт ИТ-мощности, выведенная по методическим приложениям данной работы, руб/кВт;

P_{IT} - средняя ИТ-мощность, кВт.

При неизменности годовых расходов суммарные эксплуатационные затраты ($OPEX_N$) на горизонте NNN лет получаются умножением годового ($OPEX_{1y}$) на число лет:

$$OPEX_N = OPEX_{1y} \cdot N \quad (3.5)$$

где $OPEX_{1y}$ - годовой ОРЕХ, руб/год;

N - расчётный срок, лет.

Годовые эксплуатационные расходы ($OPEX_{1y}$) складывается из стоимости электроэнергии, сервисного обслуживания/ТО, затрат на эксплуатационный персонал и прочих расходов (аренда, каналы связи и т. п.):

$$OPEX_{1y} = C_{energy} + C_{serv} + C_{staff} + C_{other} \quad (3.6)$$

где C_{energy} - годовая стоимость электроэнергии, руб/год;

C_{serv} - сервис/ТО/расходники/подрядчики (как правило, процент от CAPEX либо сметой), руб/год;

C_{staff} - фонд оплаты труда эксплуатации (включая налоги/взносы), руб/год;

C_{other} - прочие ежегодные расходы (аренда помещений/земли, каналы связи, охрана, страхование, налоги на имущество и др.), руб/год.

Годовая стоимость электроэнергии (C_{energy}) определяется по средней суммарной мощности потребления и тарифу с учётом календарного времени работы:

$$C_{energy} = P_{all} \cdot p_{energy} \cdot 24 \cdot 365 \quad (3.7)$$

где P_{all} - средняя суммарная электрическая мощность ЦОД с учетом PUE, кВт;

p_{energy} - средневзвешенный тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч;

24 - число часов в сутках, ч/сут;

365 - число суток в году, сут/год.

Суммарная мощность объекта (P_{all}) определяется по мощности ИТ-оборудования объекта (P_{IT}) и с учетом прогнозируемого коэффициента энергоэффективности объекта (PUE), которой прямо зависит от применяемых технических решений:

$$P_{all} = P_{IT} \cdot PUE \quad (3.8)$$

где P_{IT} - средняя ИТ-мощность, кВт.

PUE - коэффициент энергоэффективности;

Сервис/ТО часто нормируется как доля от капитальных затрат (C_{serv}), включая регламенты, диагностику, расходные материалы:

$$C_{serv} = CAPEX \cdot serv \quad (3.9)$$

где $CAPEX$ - капитальные затраты (единовременно в начале проекта), руб;

$serv$ - норматив сервисных расходов, доля ед./год.

Годовые затраты на персонал (C_{staff}) — это численность эксплуатационной смены/штата, умноженная на средние полные затраты работодателя в месяц и на 12 месяце:

$$C_{staff} = n_{staff} \cdot p_{staff} \cdot 12 \quad (3.10)$$

где n_{staff} - численность эксплуатационного персонала, чел;

p_{staff} - средние затраты работодателя на одного штатного специалиста в месяц (оклад + налоги/взносы), руб/мес;

12 - месяцев в году, мес/год.

Прочие годовые затраты (C_{other}) выделяем минимум на две подгруппы: аренда и каналы связи (при необходимости добавляются охрана, страхование, налоги и др.):

$$C_{other} = C_{other}^{(rent)} + C_{other}^{(link)} \quad (3.11)$$

где $C_{other}^{(rent)}$ - аренда помещений/участка (с НДС), руб/год;

$C_{other}^{(link)}$ - каналы связи/интернет (включая резервирование), руб/год.

Годовая стоимость аренды рассчитывается как произведение арендуемой площади на месячную ставку аренды (с НДС) и число месяцев в году:

$$C_{\text{other}}^{(\text{rent})} = S \cdot p_{\text{rent}} \cdot 12 \quad (3.12)$$

где S - арендуемая площадь (помещение или земельный участок), м²;
 p_{rent} - ставка аренды, руб/(м²·мес) (указывать с НДС, если по методике все цены «с НДС»);
 12 - месяцев в году, мес/год.

3.3. Определение постоянных параметров и их значений для всех сценариев

Таблица ниже (см. Таблица 3.1) фиксирует постоянные параметры сценария, одинаково применяемые во всех расчётах CAPEX/OPEX/TCO для стационарного ЦОДа и МЦОДа. Значения заданы в USD; при необходимости пересчёта в рубли используется курс из раздела «Параметры». Параметры считаются неизменными на горизонте расчёта; влияние их вариаций оценивается в анализе чувствительности. Для аренды выделены разные ставки: $p_{\text{rent_ЦОД}}$ — для аренды площадей в здании (стационарный ЦОД), $p_{\text{rent_МЦОД}}$ — для аренды земельного участка (модульный ЦОД).

Таблица 3.1

Постоянных параметров и их значений для всех сценариев

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5		6	7
2	Тариф ээ, за 1кВтч	p_{energy}	USD	0,11			См.источник Глава4
3	Стоимость аренды под площадь размещения в месяц:	$p_{\text{rent_ЦОД}}$	USD	11,81			Аренда площади в здании (см.источник Глава4)
4		$p_{\text{rent_МЦОД}}$	USD	1,53			Аренда площади земли см.источник Глава4

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5		6	7
5	Ср. стоимость оплаты труда в месяц (с учетом всех сборов):	p_staff	USD	1 459			см.источник Глава4 и Приложение Б

Комментарии к таблице:

- **Тариф э/э за 1 кВт·ч — p_energy (USD/кВт·ч)**

Средневзвешенная цена электроэнергии для режима 24/7/365 с учётом НДС. Используется одинаково для стационарного ЦОДа и МЦОДа при расчёте годовых затрат на энергию: берём годовое потребление и умножаем на p_energy.

- **Аренда площади в здании — p_rent_ЦОД (USD/м²·мес)**

Месячная ставка аренды внутренней площади под размещение стационарного ЦОДа. Применяется к расчётной площади помещения. В большинстве случаев включает обслуживание строительной части здания со стороны арендодателя.

- **Аренда земельного участка — p_rent_МЦОД (USD/м²·мес)**

Месячная ставка аренды земли под МЦОД. Применяется к площади участка, необходимой для размещения модулей и наружной инфраструктуры. При необходимости используется коэффициент «k_footprint» — доля участка, реально занимаемая объектом с учётом проездов и технологических зон.

- **Средняя стоимость оплаты труда в месяц — p_staff (USD/чел·мес)**

Полная месячная стоимость одного сотрудника эксплуатации: оклад, надбавки, районные коэффициенты и страховые взносы. Для расчёта годовых затрат по персоналу p_staff умножается на численность смены

n_staff и на количество месяцев в году. Значение n_staff задаётся отдельно для каждого сценария мощности.

- **Колонка «Относит. отклонение МЦОД».**

Показывает, на сколько процентов значение для МЦОДа больше или меньше соответствующего значения для стационарного ЦОДа. Положительный знак — дороже/выше, отрицательный — дешевле/ниже.

Все значения заданы в USD и считаются постоянными на горизонте расчёта; пересчёт в рубли выполняется отдельным параметром курса.

3.4. Сценарий 1. ИТ мощность 100 кВт

3.4.1. Входные значения сценария №1

Таблица задаёт исходные параметры для расчётов CAPEX/OPEX/TCO в двух архитектурах (стационарный ЦОД и МЦОД). Эти величины вводятся пользователем перед моделированием и далее применяются во всех расчётных блоках (мощности, площади, удельные стоимости, штат, сервисная доля, горизонты N1–N5). Колонка «Относит. отклонение МЦОД» показывает процентное отличие соответствующего параметра МЦОДа от стационарного ЦОДа и служит для быстрого визуального сравнения. Источники и допущения по каждому значению приведены в правой колонке. (см. Таблица 3.2)

Таблица 3.2

Входные значения сценария

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Отн. откл. МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5		6	7
2	Мощность ИТ	P_it	кВт	100			
3	Период рассмотрения	N1	лет	1			
4		N2	лет	5			
5		N3	лет	10			
6		N4	лет	15			
7		N5	лет	20			
8	Коэф.инж.эф.	PUE		1,8	1,8	0%	(см.источники)

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Отн. откл. МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
							Приложение В)
9	Плотность ИТ на площ. объекта	PP_it_S	USD	0,9	2,1	-57%	(см.источник Приложение В)
10	Цена строительства за 1кВт ИТ:	PP_capex_it	USD	11 500,0	9 935,3	16%	
11	Кол-во инженеров, чел.	n_staff	чел.	2	3	-33%	
12	Доля ремонт.вост.расходов	serv	%	5	4		(см.источник Приложение В)

Комментарии к таблице:

- **Мощность ИТ — P_it (кВт)**

Расчётная установленная ИТ-нагрузка сценария. Определяет требуемые площади, состав инженерии и масштабы затрат. Для сравнения в таблице задана одна и та же величина для обеих архитектур.

- **Период рассмотрения — N1, N2, N3, N4, N5 (лет)**

Набор горизонтов анализа жизненного цикла. Используется для построения серии TCO по различной длительности владения (например, 1, 5, 10, 15, 20 лет).

- **Коэффициент инженерной энергоэффективности — PUE (безразмерный)**

Отражает долю накладных энергозатрат инженерной инфраструктуры относительно ИТ-нагрузки. Чем ниже PUE, тем выше энергоэффективность объекта.

- **Плотность ИТ на площадь объекта — PP_it_S (кВт/м²)**

Целевая удельная мощность, допускаемая на 1 м² полезной площади. Определяет требуемую площадь под заданную ИТ-нагрузку и влияет на арендную составляющую.

- **Цена строительства за 1 кВт ИТ — PP_capex_it (USD/кВт)**

Удельные капитальные затраты на создание инфраструктуры под 1 кВт ИТ-мощности. Обеспечивает прямую масштабируемость CAPEX при изменении P_it.

- **Количество инженеров — n_staff (чел.)**

Среднесписочная численность эксплуатационной смены для режима 24/7/365, учитывая специфику архитектуры. Для МЦОДа значение, как правило, выше за счёт обслуживания контейнерной оболочки и наружной инфраструктуры.

- **Доля ремонтно-восстановительных расходов — serv (% в год)**

Годовой процент, резервируемый на ЗИП, расходные материалы и сервисные работы. В малых сценариях включает пакет услуг подрядчиков; по мере роста мощности доля внешних услуг обычно сокращается в пользу собственного ЗИПа.

- **Колонка «Относит. отклонение МЦОД»**

Процентное отличие значения параметра для МЦОДа от значения для стационарного ЦОДа: знак «плюс» означает больше/дороже, знак «минус» — меньше/дешевле. Используется только для визуального сравнения, сами расчёты идут по абсолютным значениям в соседних колонках.

3.4.2. Расчетные значения сценария №2

Таблица агрегирует результаты моделирования по двум архитектурам (стационарный ЦОД и МЦОД). Здесь собраны производные физические показатели (суммарная потребляемая мощность, требуемая площадь), декомпозиция CAPEX (изготовление/стройка и полевые работы), структура

годового ОРЕХ (энергия, сервис, персонал, прочее с разбиением на аренду и связь), а также накопленные ОРЕХ и ТСО на горизонтах 1/5/10/15/20 лет. Колонка «Относит. отклонение МЦОД от ЦОД» показывает процентное отличие значений МЦОДа от стационарного варианта и облегчает интерпретацию. (см. Таблица 3.3)

Таблица 3.3

Расчетные значения сценария

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Мощность суммарная	P_all	кВт	180	180	0%	:=P_it x PUE
3	Площадь объекта	S	квм	111	48	132%	:= P_it / PP_it_S
4	Капитальные вложения	CAPEX	USD	1 150 000	993 529	16%	:=CAPEX_build + CAPEX_field
5	Изготовление или стройка	CAPEX_build	USD	1 150 000	844 500		:=PP_capex_itx P_it
6	Строительство площадки	CAPEX_field	USD	-	149 029		для МЦОД: 85% от CAPEX - изготовление МЦОД, 15%от CAPEX - площадка для МЦОД
7	Операц.расходы за 1год	OPEX_1year	USD	306 764	291 624	5%	:=C_energy + C_serv + C_staf + C_other
8	Электроэнергия . Затраты	C_energy	USD	180 477	180 477	0%	:=P_all x p_energy x 24 x 365
9	Обслуживание затраты (ремонт)	C_serv	USD	57 500	39 741	45%	:=CAPEX x serv
10	Персонал затраты	C_staff	USD	35 019	52 528	-33%	:=n_staff x p_staff x 12
11	C_other. Прочее	C_other	USD	33 768	18 878	79%	:=C_other_rent + C_other_link

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5	6	7	8
12	Аренда	C_other_rent	USD	15 768	878	1695%	:=S * p_rent * 12
13	Связь	C_other_link	USD	18 000	18 000	0%	(см.источник Глава4)
14	Операц. расходы за 1год	OPEX_N (1year)	USD	306 764	291 624	5%	:=OPEX_1year x N
15	Операц. расходы за 5лет	OPEX_N (5year)	USD	1 533 818	1 458 121	5%	
16	Операц. расходы за 10лет	OPEX_N (10year)	USD	3 067 637	2 916 242	5%	
17	Операц. расходы за 15лет	OPEX_N (15year)	USD	4 601 455	4 374 363	5%	
18	Операц. расходы за 20лет	OPEX_N (20year)	USD	6 135 274	5 832 483	5%	
19	Стоимость владения за 1год	TCO_N (1year)	USD	1 456 764	1 285 154	13%	:=CAPEX + OPEX_N
20	Стоимость владения за 5лет	TCO_N (5year)	USD	2 683 818	2 451 650	9%	
21	Стоимость владения за 10лет	TCO_N (10year)	USD	4 217 637	3 909 771	8%	
22	Стоимость владения за 15лет	TCO_N (15year)	USD	5 751 455	5 367 892	7%	
23	Стоимость владения за 20лет	TCO_N (20year)	USD	7 285 274	6 826 013	7%	
24	TCO Период дельта	TCO_delta	USD				

Комментарии к таблице:

- **Мощность суммарная — P_all (кВт)**

Полная электрическая нагрузка объекта в эксплуатации. Рассчитывается на основе мощности ИТ (P_it) и коэффициента энергоэффективности (PUE). Используется для оценки годовых затрат на электроэнергию.

- **Площадь объекта — S (кв.м)**

Требуемая полезная площадь под ИТ-зону и инженерные подсистемы. Определяется исходя из целевой плотности мощности на квадратный метр (PP_{it_S}) и влияет на аренду.

- **Капитальные вложения — CAPEX (USD)**

Совокупные капитальные затраты проекта. Включают два компонента ниже — «Изготовление/стройка» и «Строительство площадки».

- **Изготовление или стройка — CAPEX_build (USD)**

Стоимость фабричного изготовления модулей и/или строительных работ по зданию и внутренним системам. Для МЦОД — заводская готовность блоков; для стационарного ЦОД — строительно-монтажные работы внутри здания.

- **Строительство площадки — CAPEX_field (USD)**

Полевые работы: подготовка территории, фундамент/основание, монтаж модулей/оборудования, наружные сети (кабельные линии, трубопроводы, воздухопроводы), пусконаладка на площадке.

- **Операц. расходы за 1 год — OPEX_1year (USD)**

Совокупные ежегодные расходы эксплуатации при штатном режиме. Суммирует статьи ниже: энергия, сервис/ремонт, персонал, прочие.

- **Электроэнергия. Затраты — C_{energy} (USD)**

Годовая стоимость потреблённой электроэнергии по тарифу p_{energy} , исходя из суммарной мощности P_{all} и непрерывного режима 24/7/365.

- **Обслуживание (ремонт) — C_{serv} (USD)**

Ежегодные сервисные расходы. Задают их долей $serv$ от капитальных вложений и наполняют работами по регламентному обслуживанию, ЗИП, инспекциям и аварийно-восстановительным мероприятиям.

- **Персонал — C_staff (USD)**

- Годовые затраты на штат эксплуатации: численность n_staff умножается на среднюю месячную стоимость p_staff и на количество месяцев. Включает оклады, надбавки и обязательные взносы.

- **C_other. Прочее — C_other (USD)**

Прочие регулярные расходы, не вошедшие в статьи выше. В таблице раскрыты двумя подстроками — аренда и связь.

- **Аренда — C_other_rent (USD)**

Годовая стоимость аренды: для стационарного ЦОД — ставка $p_rent_ЦОД$ на площадь S ; для МЦОД — ставка $p_rent_МЦОД$ на площадь участка с учётом фактического «footprint».

- **Связь — C_other_link (USD)**

Платежи за телеком-услуги: каналы связи, кроссы, резервные тракты, обслуживание оператором.

- **Операц. расходы за 1 год — OPEX_N(1year) (USD)**

Накопленные операционные расходы за период один год (идентичны $OPEX_1year$; вынесены для сопоставления с более длинными периодами).

- **Операц. расходы за 5/10/15/20 лет — OPEX_N(5/10/15/20year) (USD)**

Накопленные операционные расходы на соответствующих горизонтах анализа при фиксированных тарифах и ставках.

- **Стоимость владения за 1/5/10/15/20 лет — TCO_N(1/5/10/15/20year) (USD)**

Общая стоимость владения за указанный период: капитальные вложения плюс накопленные операционные расходы на этом горизонте.

- **TCO_период_дельта — TCO_delta (USD)**

Разница общей стоимости владения между стационарным ЦОД и МЦОД на выбранном периоде. Положительное значение означает преимущество МЦОД по совокупным затратам, отрицательное — преимущество стационарного решения.

- **Колонка «Относит. отклонение МЦОД от ЦОД»**

Процентное отличие значения для МЦОД от соответствующего значения для стационарного ЦОД. Помогает быстро увидеть, где модульная архитектура дороже/дешевле или эффективнее/хуже по конкретной статье.

3.4.3. Сравнительная динамика ТСО стационарного и модульного ЦОД на горизонте 1–20 лет в сценарии №2

Таблица содержит сводные расчётные значения общей стоимости владения для двух архитектур — стационарного ЦОДа (строка ТСО_ЦОД) и модульного ЦОДа (строка ТСО_МЦОД) — на фиксированных горизонтах 1, 5, 10, 15 и 20 лет. Все суммы представлены в USD и уже включают капитальные затраты и накопленные эксплуатационные расходы за соответствующий период. Строка ТСО_Δ показывает разницу между вариантами (ТСО_ЦОД минус ТСО_МЦОД): положительное значение означает преимущество МЦОД, отрицательное — преимущество стационарного ЦОДа. Эти данные используются для построения линейной диаграммы и определения периода смены лидера по совокупным затратам. (см. Таблица 3.4)

Таблица 3.4

Данные для построения диаграммы

		Периоды, лет				
Параметр	Ед. изм.	1	5	10	15	20
ТСО_ЦОД	USD	6 459 853,12	10 908 891,27	16 470 188,96	22 031 486,65	27 592 784,33
ТСО_МЦОД	USD	6 174 197,20	11 000 397,76	17 033 148,46	23 065 899,16	29 098 649,86
ТСО_Δ	USD	285 655,92	-91 506,49	-562 959,50	-1 034 412,52	-1 505 865,53

Таблица содержит сводные расчётные значения общей стоимости владения для двух архитектур — стационарного ЦОДа (строка ТСО_ЦОД) и

модульного ЦОДа (строка TCO_МЦОД) — на фиксированных горизонтах 1, 5, 10, 15 и 20 лет. Все суммы представлены в USD и уже включают капитальные затраты и накопленные эксплуатационные расходы за соответствующий период. Строка TCO_Δ показывает разницу между вариантами (TCO_ЦОД минус TCO_МЦОД): положительное значение означает преимущество МЦОД, отрицательное — преимущество стационарного ЦОДа. Эти данные используются для построения линейной диаграммы и определения периода смены лидера по совокупным затратам. По этим значениям построена диаграмма ниже. (см. Рис. 3.1)

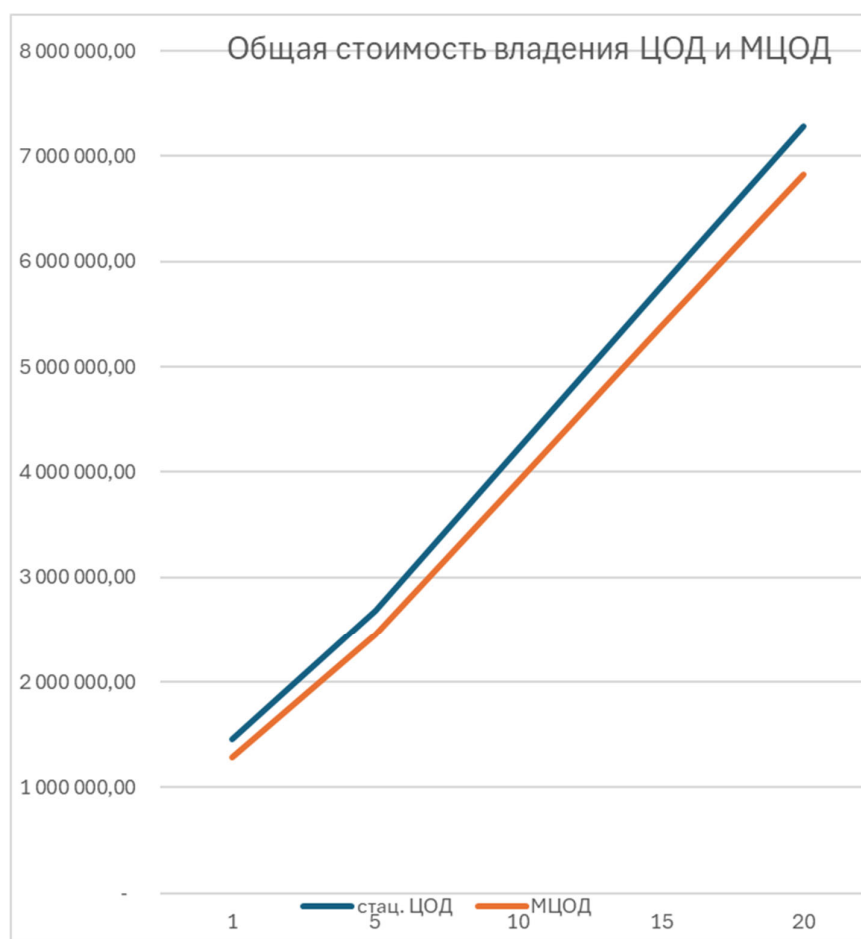


Рис. 3.1 Диаграмма общей стоимости владения ЦОД и МЦОД в сценарии ($P_{it} = 100$ кВт)

3.4.4. Вывод рассмотрения данного сценария №1

Короткий вывод по сценарию

- МЦОД выигрывает на всех горизонтах 1–20 лет

Точки перелома нет: модульный вариант дешевле сразу и остаётся дешевле далее.

- **Экономия по ТСО (ЦОД – МЦОД):**

- 1 год — $\approx 0,172$ млн \$ (~13%);
- 5 лет — $\approx 0,232$ млн \$ (~9–10%);
- 10 лет — $\approx 0,308$ млн \$ (~8%);
- 15 лет — $\approx 0,384$ млн \$ (~7%);
- 20 лет — $\approx 0,459$ млн \$ (~6–7%).

Абсолютный разрыв растёт, относительный — плавно уменьшается (энергия начинает доминировать в OPEX).

Почему выигрывает МЦОД

1. **Ниже CAPEX на 1 кВт:**

9 935 \$/кВт против 11 500 \$/кВт (-16%). Итоговый CAPEX: 0,994 млн \$ у МЦОД против 1,150 млн \$ у стационара.

2. **Меньше требуемая площадь:**

48 м² у МЦОД против 111 м² (большая плотность 2,1 кВт/м² против 0,9 кВт/м²) ⇒ ниже аренда и «прочие» расходы.

3. **Ниже сервисная доля:**

4% против 5% ⇒ меньше ежегодных затрат на обслуживание и ЗИП.

4. **Штат больше**

у МЦОД (обслуживание контейнерной оболочки), но этот рост затрат перекрывается экономией по CAPEX/аренде/сервису.

5. **Энергия одинакова**

Значение PUE = 1,8 у обеих архитектур, поэтому энергетика не искажает сравнение в пользу одной из сторон.

Практический вывод для ВКР

- На мощности ~100 кВт при равном PUE и заданных ставках аренды/персонала модульный ЦОД экономичнее как в краткосрочном, так и в долгосрочном горизонте.
- Сценарий устойчив к умеренным изменениям входных данных; сместить вывод могут разве что: рост стоимости персонала в 2–3 раза, резкое удорожание земли относительно помещений или повышение PUE у МЦОД (тогда энергетика начнёт «съедать» эффект).

3.5. Сценарий 2. ИТ мощность 500кВт

3.5.1. Входные значения сценария №2 (P_it = 500 кВт)

Таблица задаёт исходные параметры для расчётов CAPEX/OPEX/ТСО в двух архитектурах (стационарный ЦОД и МЦОД). Эти величины вводятся пользователем перед моделированием и далее применяются во всех расчётных блоках (мощности, площади, удельные стоимости, штат, сервисная доля, горизонты N1–N5). Колонка «Относит. отклонение МЦОД» показывает процентное отличие соответствующего параметра МЦОДа от стационарного ЦОДа и служит для быстрого визуального сравнения. Источники и допущения по каждому значению приведены в правой колонке. (см. Таблица 3.5)

Таблица 3.5

Входные значения сценария

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Отн. откл. МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5		6	7
2	Мощность ИТ	P_it	кВт	500			
3	Период рассмотрения	N1	лет	1			
4		N2	лет	5			
5		N3	лет	10			
6		N4	лет	15			
7		N5	лет	20			

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Отн. откл. МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
8	Коэф.инж.эф.	PUE		1,4	1,8	-22%	(см.источник Приложение В)
9	Плотность ИТ на площ. объекта	PP_it_S	USD	1,1	2,1	-48%	(см.источник Приложение В)
10	Цена строительства за 1кВт ИТ:	PP_capex_it	USD	10 695,2	9 935,3	8%	
11	Кол-во инженеров, чел.	n_staff	чел.	8	9	-11%	
12	Доля ремонт.вост.расходов	serv	%	4	3		(см.источник Приложение В)

Примечание — обозначения как в Таблица 3.2

3.5.2. Расчетные значения сценария №2

Таблица агрегирует результаты моделирования по двум архитектурам (стационарный ЦОД и МЦОД). Здесь собраны производные физические показатели (суммарная потребляемая мощность, требуемая площадь), декомпозиция CAPEX (изготовление/стройка и полевые работы), структура годового OPEX (энергия, сервис, персонал, прочее с разбиением на аренду и связь), а также накопленные OPEX и TCO на горизонтах 1/5/10/15/20 лет. Колонка «Относит. отклонение МЦОД от ЦОД» показывает процентное отличие значений МЦОДа от стационарного варианта и облегчает интерпретацию. (см. Таблица 3.6)

Таблица 3.6

Расчетные значения сценария

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Мощность суммарная	P_all	кВт	700	900	-22%	:=P_it x PUE

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5	6	7	8
3	Площадь объекта	S	квм	460	240	92%	$:= P_it / PP_it_S$
4	Капитальные вложения	CAPEX	USD	5 347 594	4 967 647	8%	$:= CAPEX_build + CAPEX_field$
5	Изготовление или стройка	CAPEX_build	USD	5 347 594	4 222 500		$:= PP_capex_itx P_it$
6	Строительство площадки	CAPEX_field	USD	-	745 147		для МЦОД: 85% от CAPEX - изготовление МЦОД, 15% от CAPEX - площадка для МЦОД
7	Операц.расходы за 1год	OPEX_1year	USD	1 112 260	1 206 550	-8%	$:= C_energy + C_serv + C_staf + C_other$
8	Электроэнергия . Затраты	C_energy	USD	701 853	902 383	-22%	$:= P_all x p_energy x 24 x 365$
9	Обслуживание затраты (ремонт)	C_serv	USD	187 166	124 191	51%	$:= CAPEX x serv$
10	Персонал затраты	C_staff	USD	140 075	157 584	-11%	$:= n_staff x p_staff x 12$
11	C_other. Прочее	C_other	USD	83 166	22 392	271%	$:= C_other_rent + C_other_link$
12	Аренда	C_other_rent	USD	65 166	4 392	1384%	$:= S * p_rent * 12$
13	Связь	C_other_link	USD	18 000	18 000	0%	(см.источник Глава4)
14	Операц. расходы за 1год	OPEX_N (1year)	USD	1 112 260	1 206 550	-8%	$:= OPEX_1year x N$
15	Операц. расходы за 5лет	OPEX_N (5year)	USD	5 561 298	6 032 751	-8%	
16	Операц. расходы за 10лет	OPEX_N (10year)	USD	11 122 595	12 065 501	-8%	
17	Операц. расходы за 15лет	OPEX_N (15year)	USD	16 683 893	18 098 252	-8%	

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5	6	7	8
18	Операц. расходы за 20лет	OPEX_N (20year)	USD	22 245 191	24 131 003	-8%	
19	Стоимость владения за 1год	TCO_N (1year)	USD	6 459 853	6 174 197	5%	:=CAPEX + OPEX_N
20	Стоимость владения за 5лет	TCO_N (5year)	USD	10 908 891	11 000 398	-1%	
21	Стоимость владения за 10лет	TCO_N (10year)	USD	16 470 189	17 033 148	-3%	
22	Стоимость владения за 15лет	TCO_N (15year)	USD	22 031 487	23 065 899	-4%	
23	Стоимость владения за 20лет	TCO_N (20year)	USD	27 592 784	29 098 650	-5%	
24	TCO Период дельта	TCO_delta	USD				

Примечание — обозначения как в Таблица 3.3

3.5.3. Сравнительная динамика ТСО стационарного и модульного ЦОД на горизонте 1–20 лет в сценарии №2

Таблица содержит сводные расчётные значения общей стоимости владения для двух архитектур — стационарного ЦОДа (строка ТСО_ЦОД) и модульного ЦОДа (строка ТСО_МЦОД) — на фиксированных горизонтах 1, 5, 10, 15 и 20 лет. Все суммы представлены в USD и уже включают капитальные затраты и накопленные эксплуатационные расходы за соответствующий период. Строка ТСО_Δ показывает разницу между вариантами (ТСО_ЦОД минус ТСО_МЦОД): положительное значение означает преимущество МЦОД, отрицательное — преимущество стационарного ЦОДа. Эти данные используются для построения линейной диаграммы и определения периода смены лидера по совокупным затратам. (см. Таблица 3.4)

Данные для построения диаграммы

		Периоды, лет				
Параметр	Ед. изм.	1	5	10	15	20
ТСО ЦОД	USD	6 459 853,12	10 908 891,27	16 470 188,96	22 031 486,65	27 592 784,33
ТСО МЦОД	USD	6 174 197,20	11 000 397,76	17 033 148,46	23 065 899,16	29 098 649,86
ТСО Δ	USD	285 655,92	-91 506,49	-562 959,50	-1 034 412,52	-1 505 865,53

Примечание — обозначения как в Таблица 3.10

По этим значениям построена диаграмма ниже. (см. Рис. 3.2)

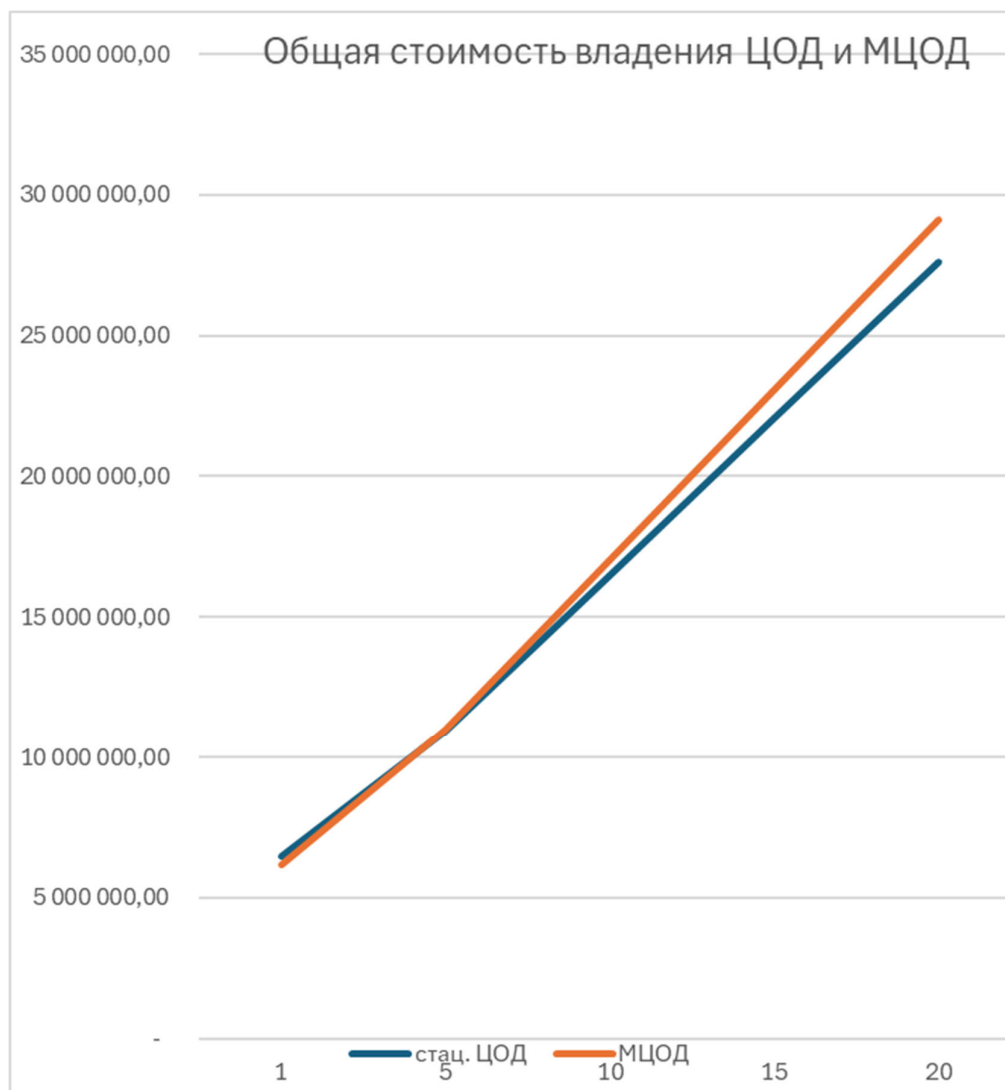


Рис. 3.2 Диаграмма общей стоимости владения ЦОД и МЦОД в сценарии
($P_{it} = 500$ кВт)

3.5.4. Вывод рассмотрения данного сценария №2

Короткий вывод по сценарию

- **На коротком горизонте МЦОД выгоднее.** На 1-м году TCO_МЦОД ниже TCO стационарного на **≈286 тыс. USD (~4–5 %)** за счёт меньшего CAPEX (-16 %) и немного меньшего годового OPEX (~5 %).
- **Точка перелома — около 4 лет.** Между 1-м и 5-м годом кривые пересекаются (интерполяционно ≈ **4-й год**).
- **Далее выигрывает стационарный ЦОД, и разрыв растёт**
 - на 5 лет: преимущество стационара ≈92 тыс. USD (~0,8 %);
 - на 10 лет: ≈563 тыс. USD (~3,4 %);
 - на 15 лет: ≈1,03 млн USD (~4,7 %);
 - на 20 лет: ≈1,51 млн USD (~5–6 %).

Причины тренда

1. На мощностях 500–1000 кВт в стационарном варианте применяются более эффективные системы охлаждения (чиллер + free-cooling, водяной/адиабатический экономайзер, RDHx, D2C и др.), что снижает PUE и «тянет вниз» долгосрочный OPEX.
2. В МЦОД сохраняется «модульный» PUE, а также требуется дополнительного сотрудника на обслуживание контейнерной оболочки — это повышает операционные издержки при длительной эксплуатации.
3. Разница в аренде (здание или земля) и в сервисной доле частично компенсирует ситуацию, но не перекрывает эффект энергии на длинных горизонтах.

Практический вывод для ВКР

- Если горизонт владения ≤ 3 –4 лет, нужен быстрый ввод и есть неопределённость спроса — рационален МЦОД.

- Если горизонт ≥ 5 лет и нагрузка $\geq 500\text{--}1000$ кВт — экономически целесообразнее стационарный ЦОД с продвинутым охлаждением (низкий PUE).
- Ключевые чувствительности: тариф на электроэнергию, PUE обеих архитектур, штат (p_staff и n_staff). Изменение любого из них способно сместить точку перелома.

3.6.Сценарий 3. IT мощность 1000 кВт

3.6.1. Входные значения сценария №3 (P_it = 1000 кВт)

Таблица задаёт исходные параметры для расчётов CAPEX/OPEX/TCO в двух архитектурах (стационарный ЦОД и МЦОД). Эти величины вводятся пользователем перед моделированием и далее применяются во всех расчётных блоках (мощности, площади, удельные стоимости, штат, сервисная доля, горизонты N1–N5). Колонка «Относит. отклонение МЦОД» показывает процентное отличие соответствующего параметра МЦОДа от стационарного ЦОДа и служит для быстрого визуального сравнения. Источники и допущения по каждому значению приведены в правой колонке. (см. Таблица 3.2)

Таблица 3.8

Входные значения сценария

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Отн. откл. МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5		6	7
2	Мощность IT	P_it	кВт	1000			
3	Период рассмотрения	N1	лет	1			
4		N2	лет	5			
5		N3	лет	10			
6		N4	лет	15			
7		N5	лет	20			
8	Коэф.инж.эф.	PUE		1,1	1,8	-39%	(см.источники Приложение В)
9	Плотность IT на площ. объекта	PP_it_S	USD	1,4	2,1	-31%	(см.источники Приложение В)

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Отн. откл. МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
10	Цена строительства за 1кВт ИТ:	PP_capex_it	USD	8 000,0	9 935,3	-19%	
11	Кол-во инженеров, чел.	n_staff	чел.	12	13	-8%	
12	Доля ремонт.вост.расходов	serv	%	3	2		(см.источник Приложение В)

Примечание — обозначения как в Таблица 3.2

3.6.2. Расчетные значения сценария №3 ($P_{it} = 1000$ кВт)

Таблица агрегирует результаты моделирования по двум архитектурам (стационарный ЦОД и МЦОД). Здесь собраны производные физические показатели (суммарная потребляемая мощность, требуемая площадь), декомпозиция CAPEX (изготовление/стройка и полевые работы), структура годового OPEX (энергия, сервис, персонал, прочее с разбиением на аренду и связь), а также накопленные OPEX и TCO на горизонтах 1/5/10/15/20 лет. Колонка «Относит. отклонение МЦОД от ЦОД» показывает процентное отличие значений МЦОДа от стационарного варианта и облегчает интерпретацию. (см. Таблица 3.3)

Таблица 3.9

Расчетные значения сценария №3 ($P_{it} = 1000$ кВт)

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Мощность суммарная	P_all	кВт	1 100	1 800	-39%	:=P_it x PUE
3	Площадь объекта	S	квм	700	480	46%	:= P_it / PP_it_S
4	Капитальные вложения	CAPEX	USD	8 000 000	9 935 294	-19%	:=CAPEX_build + CAPEX_field

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5	6	7	8
5	Изготовление или стройка	CAPEX_build	USD	8 000 000	8 445 000		:=PP_capex_itx P_it
6	Строительство площадки	CAPEX_field	USD	-	1 490 294		для МЦОД: 85% от CAPEX - изготовление МЦОД, 15%от CAPEX - площадка для МЦОД
7	Операц.расходы за 1год	OPEX_1year	USD	1 630 242	2 257 877	-28%	:=C_energy + C_serv + C_staf + C_other
8	Электроэнергия. Затраты	C_energy	USD	1 102 912	1 804 766	-39%	:=P_all x p_energy x 24 x 365
9	Обслуживание затраты (ремонт)	C_serv	USD	200 000	198 706	1%	:=CAPEX x serv
10	Персонал затраты	C_staff	USD	210 112	227 621	-8%	:=n_staff x p_staff x 12
11	C_other. Прочее	C_other	USD	117 217	26 784	338%	:=C_other_rent + C_other_link
12	Аренда	C_other_rent	USD	99 217	8 784	1029%	:=S * p_rent * 12
13	Связь	C_other_link	USD	18 000	18 000	0%	(см.источник Глава4)
14	Операц. расходы за 1год	OPEX_N (1year)	USD	1 630 242	2 257 877	-28%	:=OPEX_1year x N
15	Операц. расходы за 5лет	OPEX_N (5year)	USD	8 151 208	11 289 386	-28%	
16	Операц. расходы за 10лет	OPEX_N (10year)	USD	16 302 416	22 578 771	-28%	
17	Операц. расходы за 15лет	OPEX_N (15year)	USD	24 453 624	33 868 157	-28%	
18	Операц. расходы за 20лет	OPEX_N (20year)	USD	32 604 831	45 157 543	-28%	
19	Стоимость владения за 1год	TCO_N (1year)	USD	9 630 242	12 193 171	-21%	:=CAPEX + OPEX_N

№ п/п	Параметр	Переменная	Ед. изм.	Значение		Относит. Отклонение МЦОД от ЦОД	Пояснение
				ЦОД	МЦОД		
1	2	3	4	5	6	7	8
20	Стоимость владения за 5лет	TCO_N (5year)	USD	16 151 208	21 224 680	-24%	
21	Стоимость владения за 10лет	TCO_N (10year)	USD	24 302 416	32 514 065	-25%	
22	Стоимость владения за 15лет	TCO_N (15year)	USD	32 453 624	43 803 451	-26%	
23	Стоимость владения за 20лет	TCO_N (20year)	USD	40 604 831	55 092 837	-26%	
24	TCO Период дельта	TCO_delta	USD				:=TCO_N_DD - TCO N MDD

Примечание — обозначения как в Таблица 3.3

3.6.3. Сравнительная динамика ТСО стационарного и модульного ЦОД на горизонте 1–20 лет в сценарии №3

Таблица содержит сводные расчётные значения общей стоимости владения для двух архитектур — стационарного ЦОДа (строка TCO_ЦОД) и модульного ЦОДа (строка TCO_МЦОД) — на фиксированных горизонтах 1, 5, 10, 15 и 20 лет. Все суммы представлены в USD и уже включают капитальные затраты и накопленные эксплуатационные расходы за соответствующий период. Строка TCO_Δ показывает разницу между вариантами (TCO_ЦОД минус TCO_МЦОД): положительное значение означает преимущество МЦОД, отрицательное — преимущество стационарного ЦОДа. Эти данные используются для построения линейной диаграммы и определения периода смены лидера по совокупным затратам. (см. Таблица 3.4)

Таблица 3.10

Данные для построения диаграммы

		Периоды, лет				
Параметр	Ед. изм.	1	5	10	15	20
TCO ЦОД	USD	9 630 241,57	16 151 207,86	24 302 415,71	32 453 623,57	40 604 831,43

ТСО МЦОД	USD	12 193 171,24	21 224 679,75	32 514 065,39	43 803 451,02	55 092 836,66
ТСО Δ	USD	-2 562 929,67	-5 073 471,90	-8 211 649,67	-11 349 827,45	-14 488 005,23

Примечание — обозначения как в Таблица 3.4

По этим значениям построена диаграмма ниже. (см. Рис. 3.3)

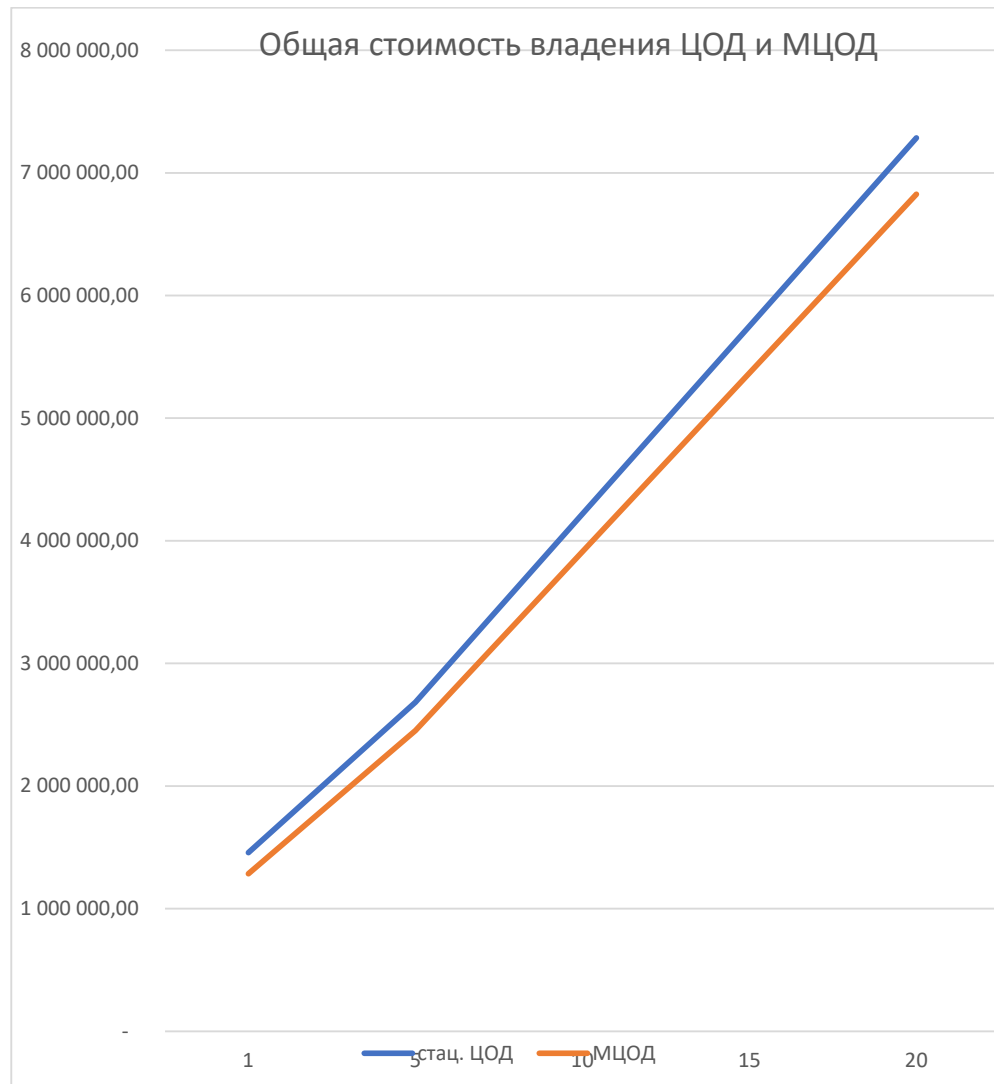


Рис. 3.3 Диаграмма общей стоимости владения ЦОД и МЦОД в сценарии №3 ($P_{it} = 1000$ кВт)

3.6.4. Вывод рассмотрения данного сценария №3 ($P_{it} = 1000$ кВт)

Короткий вывод

- **Стационарный ЦОД выигрывает на всех горизонтах.**

Разница в пользу стационара:

- 1 год — 2,56 млн USD (~21% от TCO_МЦОД);
- 5 лет — 5,07 млн USD (~24%);
- 10 лет — 8,21 млн USD (~25%);
- 15 лет — 11,35 млн USD (~26%);
- 20 лет — 14,49 млн USD (~26%).

Точки перелома нет: разрыв устойчиво растёт.

1. Причины тренда

2. Энергия — главный драйвер

У стационара PUE = 1,1, у МЦОД — 1,8, поэтому годовые затраты на электроэнергию у МЦОД выше примерно на 39% (около 1,80 млн против 1,10 млн USD в год).

3. CAPEX-премия МЦОД

Удельная цена за 1 кВт ИТ: 9 935 USD/кВт у МЦОД против 8 000 USD/кВт у стационара (+~24%), что даёт стартовый разрыв по капитальным вложениям.

4. Штат

У МЦОД на одного сотрудника больше (обслуживание контейнерной оболочки и площадки), что повышает ежегодные расходы на персонал.

5. Что компенсирует частично.

Аренда земли под МЦОД значительно ниже аренды площадей в здании, а доля сервисных расходов у МЦОД немного меньше. Однако этого недостаточно, чтобы перекрыть энергоёмкость и CAPEX-премию.

Практический вывод для ВКР

- Для нагрузок ≈ 1 МВт и выше при горизонте владения от 1 года и далее экономически предпочтителен стационарный ЦОД с продвинутым охлаждением (низкий PUE).
- МЦОД на такой мощности оправдан не экономикой, а нефинансовыми факторами: быстрый ввод, ограничения по строительству, удалённая площадка, временная потребность или поэтапное наращивание мощности.

Чувствительности (что может поменять картину)

- Снижение PUE у МЦОД до $\sim 1,3-1,4$ (IEC/адиабатика, заднедверные теплообменники, direct-to-chip/иммерсия).
- Сближение удельного CAPEX МЦОД к $\approx 8\,000$ USD/кВт.
- Существенный рост ставок аренды помещений для стационара или падение тарифов на электроэнергию/льготы для МЦОД.

3.7.Общий вывод по сценариям

Ниже — сводный вывод по трём сценариям (100/500/1000 кВт), опираясь на ранее выполненные расчёты TCO.

Общий вывод

- **Малая мощность (~100 кВт)**

МЦОД экономичнее на любом горизонте (1–20 лет): выигрыш по TCO держится в диапазоне $\approx 6-13$ %. Причины — ниже CAPEX на 1 кВт, меньше требуемая площадь (ниже аренда), чуть меньшая сервисная доля. Дополнительный сотрудник у МЦОД эффект не перекрывает. PUE одинаковый, поэтому энергетика нейтральна.

- **Средняя мощность (~500 кВт)**

Короткий горизонт — выигрывает МЦОД; после ≈ 4 лет лидирует стационарный ЦОД.

Преимущество МЦОД на 1-м году ~4–5 %, далее стационар становится дешевле и разрыв растёт к 20-му году до ~5–6 %. Причина — у стационарного варианта включаются более эффективные схемы охлаждения (ниже PUE), что «тянет вниз» долгосрочный OPEX.

- **Крупная мощность (≥ 1000 кВт)**

Стационарный ЦОД устойчиво лучше на всех горизонтах: экономия по TCO ~21–26 % и растёт с сроком владения. Драйверы — низкий PUE за счёт продвинутых систем охлаждения и отсутствие «премии» МЦОД по CAPEX/кВт; и дополнительный сотрудник у МЦОД дополнительно увеличивает OPEX.

Правило выбора (decision rule)

- ≤ 100 – 200 кВт или горизонт ≤ 3 – 4 лет, нужен быстрый ввод/гибкость — МЦОД.
- ~ 500 кВт и горизонт ≥ 5 лет, стабильная нагрузка — стационарный ЦОД начинает быть выгоднее.
- ≥ 1 МВт на любом горизонте — стационарный ЦОД (экономика энергии и CAPEX решает).

Что сильнее всего сдвигает границы усТСО

Тариф на электроэнергию, PUE обоих вариантов, удельный CAPEX (USD/кВт), стоимость персонала и разница «здание vs земля» по аренде. Снижение PUE МЦОД до ~1,3–1,4 или выравнивание его CAPEX до уровня стационара может поднять порог, при котором МЦОД остаётся выгодным.

4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ

4.1. Профиль энергопотребления и PUE

Электроэнергия является ключевой статьёй ОРЕХ ЦОД (до значимой доли в структуре эксплуатационных расходов при непрерывной работе 24/7/365). В зависимости от региона размещения и выбранного режима энергоснабжения стоимость 1 кВт·ч для промышленных потребителей (с учётом НДС) варьируется, что напрямую влияет на ТСО и экономику проекта в горизонте 10–15 лет. Для корректной оценки сценариев (стационарный ЦОД против МЦОД) в работе сформирована единая тарифная база по крупным городам РФ (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Казань, Пермь, Тюмень, Дальний Восток) с переводом в \$/кВт·ч по усреднённому годовому курсу. Дополнительно выполнено бенчмаркинг-сравнение с международными рынками (США, Германия, Китай, Индия, Сингапур) и анализ тенденций 2019–2025 гг.

Полученные значения используются:

- для расчёта годовых энергозатрат при заданном профиле PUE и коэффициенте загрузки ИТ-мощности;
- для чувствительности ТСО к изменению тарифа (эластичность ТСО по цене энергии);
- для обоснования выбора региона/типа ЦОД в сценариях ~100 кВт, 300–500 кВт и ~1 МВт.

4.1.1. Региональные тарифы на электроэнергию для ЦОД в РФ

Актуальные тарифы на электроэнергию для промышленных потребителей (в частности, ЦОД) существенно различаются по регионам России. В таблице ниже (см. Таблица 4.1) приведены данные по выбранным регионам на 2025 год – ставка за 1 кВт·ч с учетом НДС (20%) в рублях и эквивалент в долларах США (по среднему курсу ~80–85 руб./\$). Данные отражают тарифы гарантирующих поставщиков для предприятий средней мощности, подключенных на среднем напряжении. [10]

Таблица 4.1

Средняя стоимость тарифа электроэнергии в городах и регионах России

№ п/п	Регион	Тариф, руб/кВт·ч (с НДС)	Эквивалент, \$/кВт·ч (≈ 2025)
1	2	3	4
2	Москва	~8,3 руб [10]	~\$0.10
3	Санкт-Петербург	~10,9 руб [10]	~\$0.13
4	Екатеринбург (Свердловская обл.)	~10,5 руб [10]	~\$0.12–0.13
5	Казань (Респ. Татарстан)	~10,0 руб [10]	~\$0.12
6	Пермь (Пермский край)	~9,1 руб [10]	~\$0.11
7	Тюмень (Тюменская обл.)	~10,7 руб [10]	~\$0.13
8	Дальний Восток (Приморский край)	~9,2 руб [10]	~\$0.11

Примечания: Московский тариф – один из самых низких, тогда как Санкт-Петербург демонстрирует более высокий уровень цены за электричество. Разброс внутри крупных регионов (например, в Тюменской области с учетом ХМАО и ЯНАО) может достигать 8,6–9,2 руб. без НДС [10], но в таблице показано усредненное значение. Для Дальнего Востока в расчет взят Приморский край (Владивосток); в других субъектах ДФО тарифы сопоставимые либо выше (например, в Якутии – около 8,84 руб. без НДС, т.е. ~10,6 руб. с НДС [10]). Самым низким среди указанных является тариф Москвы (~8,3 руб), а самым высоким – в Санкт-Петербурге (~10,9 руб), что подтверждается и данными по соответствующим гарантирующим поставщикам [10].

4.1.2. Концентрация центров обработки данных по регионам РФ

Распределение дата-центров по территории России неравномерно. Наиболее высокая концентрация ЦОД – в столичных регионах. По оценкам, на Москву и область приходится порядка 75% совокупной мощности коммерческих ЦОД страны, на Санкт-Петербург и Ленобласть – еще около 9–10% [11]. Это означает, что ~85% всех мощностей сосредоточены в двух столичных агломерациях. Даже по числу объектов наблюдается перекося: около 76% всех ЦОД размещалось в Москве (данные по рынку на 2024 г.). [12] [11]

Тем не менее, в последние годы начинает расти региональный сегмент ЦОД. Появляются локальные узлы в крупнейших городах-миллионниках:

Екатеринбург, Новосибирск, Казань и др. постепенно формируют собственные облачные хабы [11]. В частности, доля регионов (вне столицы) в коммерческих стойко-местах к концу 2024 года достигла ~24% и росла быстрыми темпами (+27% за 2024 год против +17% в Москве) [11]. Екатеринбург сейчас является крупнейшим после Москвы и Петербурга центром размещения ЦОД вне столиц (по данным на 2023 г. там действовало порядка 8 коммерческих дата-центров) [13]. В Казани сосредоточено несколько крупных площадок (включая технопарк «ИТ-парк» и объекты Ростелекома), хотя по количеству она уступает Екатеринбургу (около 3 ЦОД) [13].

Другие регионы, упомянутые в запросе, не являются ведущими по числу ЦОД: в Перми присутствуют отдельные корпоративные и ведомственные дата-центры, но регион не выделяется на общероссийской карте ЦОД. Тюменская область (включая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий АО) имеет значительные энергоресурсы и промышленность, однако крупных коммерческих ЦОД там немного; инфраструктура в основном корпоративная (например, у нефтегазовых компаний) и распределена. Что касается Дальнего Востока, то на огромную территорию приходится лишь небольшое число дата-центров. Например, во Владивостоке и Хабаровске действует лишь по 1–2 коммерческих ЦОД. Регион ДФО пока не стал магнитом для крупных ЦОД из-за дороговизны строительства и ограниченного локального спроса, хотя предпринимаются шаги к развитию – например, КРДВ (Корпорация развития Дальнего Востока) заявляла о мерах поддержки, а некоторые операторы рассматривают Дальний Восток для размещения модульных ЦОД (благодаря прохладному климату и возможности экспорта услуг в Азию). В целом же, центрами концентрации ЦОД в 2025 году среди перечисленных регионов являются прежде всего Москва и Санкт-Петербург, а также в меньшей степени Екатеринбург и Казань – по совокупному количеству объектов и установленной мощности (включая стационарные и модульные ЦОД). На эти регионы приходится львиная доля стойко-мест и мегаватт мощности ЦОД-инфраструктуры России.

4.1.3. Сравнение стоимости электроэнергии для ЦОД в мире

Стоимость электроэнергии для дата-центров за рубежом тоже варьируется, обычно отражая уровень тарифов для промышленного/коммерческого сектора в каждой стране. Ниже приведены ориентировочные средние цены электроэнергии для ЦОД (промышленных потребителей) в ряде стран, в долларах США за кВт·ч. (см. Таблица 4.2)

Таблица 4.2.

Средняя стоимость тарифа электроэнергии по странам

№ п/п	Страна	Средняя стоимость электроэнергии, \$/кВт·ч
1	2	3
2	США	~\$0.08–0.10 [14]
3	Германия	~\$0.20–0.30 [14]
4	Сингапур	~\$0.20–0.27 [14]
5	Китай	~\$0.09–0.11 [14]
6	Индия	~\$0.12–0.13 [14]

Источник: средние коммерческие/промышленные тарифы 2023–2025 гг. по данным GlobalPetrolPrices, Statista, Arizton и др.

США: Электроэнергия для бизнеса в США стоит в среднем около 10–15 центов за кВт·ч, при этом крупные промышленные потребители (такие как гиперскейл ЦОД) часто платят ближе к \$0.08–0.10 за кВт·ч [14]. Тарифы различаются по штатам (например, в тexasском регионе – дешевле, в Калифорнии – дороже), но в целом американские дата-центры исторически пользовались сравнительно низкими и стабильными ценами на электроэнергию. Однако за последние годы и в США наблюдался рост: по данным EIA, в 2021–2022 гг. цены поднялись на 7–17% в зависимости от категории потребителя [15].

Германия: Из-за высокой налоговой нагрузки и энергоносителей в Европе, стоимость электроэнергии для промышленных предприятий Германии одна из самых высоких. В 2024 году средняя цена для индустрии в Германии оценивалась в €0.17–0.23 за кВт·ч без НДС, что эквивалентно примерно \$0.20–0.25. С учетом недавнего энергетического кризиса, отдельные предприятия платили и больше. По оценкам Eurostat, во 2-й половине 2024 года средняя цена (с налогами) достигала €0.215/кВт·ч. В пересчете на доллары бизнес-расценки

2023–2025 гг. в Германии составляют около \$0.28–0.30 за кВт·ч [14] – одни из самых высоких в мире (для сравнения, бытовые тарифы там ~\$0.40/кВт·ч).

Сингапур: Электроэнергия в Сингапуре дорогая из-за ограниченных собственных генерационных мощностей (в основном газовых). Для промышленных потребителей тарифы находятся на уровне \$0.20–0.27 за кВт·ч [14]. По данным Arizton, в 2024 году промышленный тариф ~20 центов USD/кВт·ч. Операторы ЦОД отмечали резкий скачок цен в 2022 году: так, Equinix сообщил, что регулируемый тариф вырос на 20,8% (с ~22,1 до 26,7 центов США за кВт·ч в 2020–2022 гг.) [15], и ожидался дальнейший рост в 2023-м. Это делает Сингапур одним из самых затратных регионов по электроэнергии для ЦОД в Азии, что стимулирует поиск решений – от повышения энергоэффективности до покупки энергии из возобновляемых источников.

Китай: В Китае электроэнергия для крупных промышленников субсидируется и стоит заметно дешевле мировых уровней. Средняя ставка для промышленности в 2024 году составляла около ¥0.63 за кВт·ч (для высокого напряжения) [16], то есть примерно \$0.085–0.09. По оценке China Briefing, средний промышленный тариф в Китае вырос незначительно – с \$0.084 в 2019 г. до ~\$0.088 в 2024 г. Таким образом, дата-центры в материковом Китае в среднем платят \$0.09–0.10 за кВт·ч, а с учетом новых господдержек для AI-центров – местами даже ~\$0.056 (при выделении льгот по 0,4 юаня/кВт·ч). Например, средняя «коммерческая» цена по стране на март 2025: CNY 0.794 или ~\$0.11 [14]. Внутри Китая есть вариации: регионы с профицитом гидроресурсов (Гуйчжоу, Сычуань) имеют тарифы ниже (¥0.58/кВт·ч в Гуйчжоу, то есть <\$0.08), тогда как в крупных городах вроде Пекина – выше (¥0.77, ~\$0.11).

Индия: Индийские дата-центры обычно покупают энергию по тарифам для коммерческих/промышленных потребителей, которые составляют ₹8–10 за кВт·ч, что эквивалентно примерно \$0.11–0.13. По данным на март 2025 г., средняя цена электроэнергии для бизнеса в Индии – около ₹10.72 за кВт·ч (~\$0.121) [14]. В разных штатах тарифы разнятся (где-то промышленность

субсидирует население): например, в Махараштре и Карнатаке ставки могут достигать до ₹12–14, тогда как в некоторых регионах (с дешевым углем или ГЭС) – ниже ₹7–8. В целом же для крупных ЦОД в Индии средняя стоимость оценивается ~\$0.12/кВт·ч [14]. Относительно Китая и ряда развивающихся стран это несколько выше (например, Мексика – около \$0.108), но все еще значительно ниже, чем в Европе.

4.1.4. Глобальные тенденции тарифов на электроэнергию для ЦОД (2019–2025)

За последние 3–5 лет прослеживается общий рост стоимости электроэнергии для дата-центров по всему миру. После длительного периода стабильности в 2010-х, ситуация изменилась в начале 2020-х:

- **Пандемия и постпандемийный спрос:** Во время COVID-локдаунов 2020 г. цены на энергоносители просели, но к 2021-му начался отскок. С возобновлением экономической активности глобальные цены на электричество пошли вверх. Например, в 2021 г. многие рынки фиксировали двузначный рост тарифов: в США +7–17% за год [15], в Азии также наблюдалось удорожание.
- **Энергетический кризис 2022:** Ключевым фактором стал рост цен на газ и уголь. После начала конфликта на Украине и сокращения экспорта российского газа, Европа испытала беспрецедентный скачок тарифов: в 2022 году оптовая цена электроэнергии в ряде стран ЕС увеличилась в разы, что отразилось и на конечных тарифах для ЦОД. Германия, Великобритания, Италия и др. столкнулись с рекордными ценами (в пиковые месяцы 2022 г. промышленный тариф в Германии превышал €0.40, или ~\$0.45 [17]). В результате затраты дата-центров в Европе резко возросли, и операторам пришлось повышать цены услуг либо принимать на себя эти расходы. К 2023 г. ситуация несколько стабилизировалась: благодаря мерам поддержки и снижению цен на газ средние промышленные тарифы в Европе начали откатываться. По данным

Eurostat, во второй половине 2024 г. средняя цена электроэнергии для промышленности в ЕС составила €0.18/кВт·ч без НДС, что все же выше допандемийного уровня (~€0.12–0.15).

- **Азиатско-Тихоокеанский регион:** В АТР тенденции разнились. В Китае государственное регулирование сдерживало рост тарифов – за 5 лет повышение всего несколько процентов. Индия также удерживала цены: в 2019–2024 гг. рост ~9% (с \$0.11 до \$0.12). А вот Сингапур и некоторые островные рынки испытали значительное подорожание из-за удорожания газа. Как отмечалось, в Сингапуре +20% к тарифу за 2020–2022. В Японии и Южной Корее – умеренный рост, частично сглаженный субсидиями. В целом, страны с высокой зависимостью от импорта топлива показали больший рост цен, тогда как в государствах с преобладанием дешевой генерации (например, Норвегия, Швеция, Канада – за счет гидроэнергии) электроэнергия для ЦОД осталась относительно недорогой (~\$0.05–0.10).
- **Северная Америка:** В США и Канаде рост тарифов был более плавным. До 2020 г. цены в США почти не менялись, а в 2021–2022 пошли вверх. По словам операторов, расходы американских ЦОД на электроэнергию выросли суммарно на ~10–15% за эти два года [15]. В 2023–2024 гг. в США наметилась стабилизация: оптовые цены даже снизились (~–20% в 2024 г. по сравнению с 2022), что должно облегчить давление на дата-центры. В то же время локальные факторы (засухи влияли на гидрогенерацию на Западе, зимние шторма – на Техас) вызывали кратковременные скачки цен в отдельных регионах. Однако по состоянию на 2025 г. средняя стоимость энергии в США все еще ниже, чем была до энергетического кризиса, в отличие от Европы.
- **Россия:** Тарифы на электроэнергию для промышленных потребителей в РФ регулируются и индексируются ежегодно (обычно раз в год, с 1 июля). В период 2019–2021 индексация была относительно умеренной (~4–5% в год). Но в 2022–2023 наблюдалось ускорение роста из-за инфляционного

давления и необходимости сокращать перекрестное субсидирование. В ряде регионов к 2025 году накопились значительные повышения. Например, с 1 июля 2025 г. тарифы выросли сразу на 12–15% в большинстве областей (Москва +15%, Санкт-Петербург +14,6%)rbc.ru. В некоторых регионах скачок еще выше: Пермский край +21% за 2025 г., Челябинская обл. +18% и т.д. [18]. Это связано с приведением низких ранее цен к среднероссийскому уровню и новыми тарифными зонами (в частности, Дальний Восток получил господдержку для снижения цены, тогда как в отдельных субъектах Европы/Урала тарифы, напротив, догоняли средние значения) [18]. Таким образом, в РФ средняя цена электроэнергии для ЦОД также увеличилась за 5 лет – ориентировочно с ~5 руб/кВт·ч (2019, без НДС) до ~7–9 руб (2025, без НДС) в зависимости от региона.

Глобальный итог: Тенденция последних лет – рост операционных затрат ЦОД на энергопотребление. По оценкам Uptime Institute, затраты на электроэнергию составляют до 20–30% OPEX типового дата-центра, и этот показатель увеличился из-за тарифных скачков 2021–2022 гг. Операторы адаптируются путем повышения энергоэффективности (снижение PUE), заключения долгосрочных контрактов и инвестиций в собственную генерацию (солнечные, ветряные установки) чтобы застраховаться от волатильности цен [15]. В некоторых странах введены тарифные льготы и специальные программы для ЦОД: например, в США десятки штатов предлагают tax abatement и скидки на электроэнергию при строительстве нового дата-центра. В России также обсуждаются меры поддержки для инфраструктуры ЦОД вне Москвы – дешевое подключение к электросетям, специальные тарифы на Дальнем Востоке и т.п. В целом, можно ожидать, что стоимость электроэнергии для дата-центров в мире останется на повышенном уровне, хотя в 2024–2025 гг. самый резкий рост сменился относительной стабилизацией (особенно при нормализации цен на газ и нефть). Тем не менее, долгосрочный тренд смещения к «зеленой» энергии и географической децентрализации ЦОД отчасти продиктован именно

стремлением к снижению энергозатрат, ведь доступ к более дешевому электричеству стал весомым фактором при выборе локации для новых дата-центров.

4.2. Обслуживающий персонал ЦОД

Сводная таблица (см. Таблица 4.3) фиксирует ориентиры рыночных заработных плат (к получению на руки) и совокупных затрат работодателя по ключевым ролям инженерной эксплуатации ЦОД (ОВ, ЭС, СБ и ПТ, АСМУ) в разрезе выбранных городов РФ за 2025 г. Эти значения используются для расчета стоимости владения ЦОД и МЦОД как:

— входные данные для расчёта затрат предэксплуатационного периода (часть затрат на ввод/пусконаладку и комплектацию персоналом, относимых к составу затрат на реализацию проекта);

— основа для сценариев масштабируемости (варианты численности и графиков смен при мощностях ~100 кВт, 300–500 кВт, ~1 мВт), которые влияют на сроки ввода и организационные риски;

— опорные референсы для стыковки CAPEX и OPEX в модели TCO (переход от единовременных расходов к постоянным эксплуатационным платежам по персоналу после ввода объекта.

Таблица 4.3

Средняя стоимость привлечения обслуживающего персонала по регионам

№ п/п	Регион	Чистая заработная плата, руб./мес	Совокупные затраты работодателя, руб./мес	Чистая заработная плата, \$/мес	Совокупные затраты работодателя, \$/мес
1	2	3	4	5	6
2	Москва	115 000	160 000	\$1 352,94	\$1 882,35
3	Санкт-Петербург	100 000	140 000	\$1 176,47	\$1 647,06
4	Екатеринбург	90 000	125 000	\$1 058,82	\$1 470,59
5	Казань	75 000	105 000	\$882,35	\$1 235,29
6	Пермь	75 000	105 000	\$882,35	\$1 235,29
7	Тюмень	90 000	125 000	\$1 058,82	\$1 470,59
8	Дальний Восток (Приморский край)	90 000	125 000	\$1 058,82	\$1 470,59
Средняя показатель:		88 950,28 Р	124 024,47 Р	1 046,47 Р	\$ 1 459,11

4.3. Доля ремонтно-восстановительных расходов в CAPEX ЦОД

Непосредственные данные по годовому объёму ремонтно-восстановительных расходов (части OPEX) относительно затрат на строительство ЦОДа (CAPEX) в открытых российских источниках практически отсутствуют. Однако на основе типовых оценок можно сделать приблизительные выводы. В мировой практике эксплуатационные расходы (OPEX) на ЦОД часто составляют порядка 10–20% от первоначального CAPEX в год, а на техническое обслуживание/ремонт — значительная часть OPEX. Например, в расчётах экспертов расходы на сервисное обслуживание и ремонт составляют порядка 15% от совокупных затрат ЦОДа (или ~40% от OPEX) [19]. Из этого следует, что ежегодные ремонтно-восстановительные расходы обычно измеряются единицами процентов от CAPEX. Модульные (контейнерные) ЦОДы при прочих равных требуют меньше обслуживания, чем стационарные, поэтому их доля расходов несколько ниже. Также с ростом мощности ЦОДа доля ежегодных ремонтных затрат уменьшается (эффект масштаба): крупные объекты экономически более эффективны с точки зрения обслуживания.

Методика и допущения. Оценки долей построены на известных приближённых соотношениях CAPEX и OPEX для ЦОД. Предполагаем, что ежегодные операционные затраты (электроэнергия, персонал, техобслуживание и т.д.) составляют порядка 10–15% от CAPEX (например, для 1 МВт CAPEX \approx \$10–15 млн, годовой OPEX \approx \$1–2 млн). Из них на ремонт и восстановление инфраструктуры обычно приходится несколько десятков процентов (разные источники приводят 15–40% OPEX) [20]. Это даёт величину порядка 2–5% от CAPEX в год. В качестве примера: если CAPEX ЦОДа 1000 кВт принять \approx \$10 млн, и OPEX \approx \$1,5 млн/год, то при доле ремонтов ~40% от OPEX получим \approx \$0,6 млн/год, т.е. 6% от CAPEX. Увеличение мощности снижает эту долю (так как часть расходов не растёт линейно с мощностью). Модульные ЦОДы обычно стандартизованы и быстро монтируются, что уменьшает затраты на

обслуживание [19]; мы условно взяли для них на ~20–30% меньшие значения. Итоговые цифры приведены в таблице как ориентировочные оценки.

Выводы. Доля ремонтно-восстановительных расходов от стоимости строительства ЦОДа составляет лишь единицы процентов в год. По нашим оценкам, для небольших (100 кВт) стационарных ЦОД доля $\approx 4\text{--}6\%$, а для больших (1 МВт) – примерно 2–3%. Для модульных ЦОД эти цифры обычно несколько ниже. Таким образом, зависимость налицо: более мощный ЦОД и модульный формат предполагают меньшую долю ремонтных расходов по сравнению с CAPEX. Все данные сведены в таблицу ниже (см. Таблица 4.4).

Таблица 4.4

Доля ремонтно-восстановительных расходов в CAPEX ЦОД

№ п/п	Тип ЦОД	Мощность (ИТ), кВт	Ремонтно-восстановительные расходы (год), % от CAPEX
1	2	3	4
2	Стационарный	100	$\approx 5\%$
3	Стационарный	500	$\approx 3\text{--}4\%$
4	Стационарный	1 000	$\approx 2\text{--}3\%$
5	Модульный	100	$\approx 4\%$
6	Модульный	500	$\approx 2\text{--}3\%$
7	Модульный	1 000	$\approx 2\%$

Источники данных: Оценки базируются на анализе отраслевых публикаций и экспертных данных. Так, в зарубежной практике расходы на техническое обслуживание и ремонт называют $\sim 15\%$ от совокупных затрат ЦОДа [20] (или $\sim 40\%$ от операционных расходов). Важно, что конкретные показатели сильно зависят от конструктивных решений и условий эксплуатации. Приведённые оценки служат иллюстрацией порядка величин и основаны на обобщённых данных.

4.4. Стоимость аренды волоконно-оптических каналов

В настоящей главе агрегируем ориентировочные месячные ставки аренды волоконно-оптических каналов (ВОЛС/FOCL) для связи между площадками ЦОД в пилотных регионах РФ, релевантных для проекта ЦОД ИТ-мощностью ~ 100 кВт (≈ 10 стоек) при требовании резервирования не менее чем от трёх независимых операторов. В выборку включены публично доступные тарифы и

примеры предложений операторов связи и дата-центров (включая «тёмное волокно» и/или L2-каналы под включение на 10 Гбит/с и выше). Все значения приведены в руб/мес с учётом НДС и предназначены для последующей интеграции в компонент ОРЕХ: “Телеком (ВОЛС/каналы связи)” при расчётах ТСО проекта. По составу инженерных систем затраты относятся к блоку СКС (магистральная/оптическая), что обеспечивает корректную увязку с архитектурой инженерной части ЦОДа. (см. Таблица 4.5)

Таблица 4.5

Стоимость аренды волоконно-оптических каналов

№ п/п	Регион	Цена аренды (руб/мес, с НДС)	Провайдеры (пример)	Тип канала	Источники
1	2	3	4	5	6
2	Москва	~30 600	Selectel (между собственными ЦОДами)	ВОЛС (темное волокно)	
3	Санкт-Петербург	7 140–81 600	Selectel (между ЦОДами Миран, Радуга и др.)	ВОЛС	
4	Екатеринбург	≈ 6 000+	«Эрланг», GalaxyData (ЦОД GalaxyData)	ВОЛС	
5	Казань	–	–	–	–
6	Пермь	–	–	–	–
7	Тюмень	–	–	–	–
8	Дальний Восток (Приморье)	–	РТК «Транзит» («Группа Телеком»)	ВОЛС	

- **Москва:** В Москве FOCL-канал (волоконно-оптическая линия связи) между ЦОДами Selectel («Берзарина – ММТС-9») стоит около **30 600 Р/мес** (с НДС) [21]. Это примерная цена на выделенный оптический канал. Тип канала – линейная ВОЛС (без конкретного протокола, «прозрачная»), обычно на 10 Гбит/с. Другие провайдеры (Ростелеком, CityTelecom, DataPro и др.) предлагают аналогичные каналы, но их актуальные публичные тарифы не найдены.
- **Санкт-Петербург:** В СПб зафиксированы значительные колебания цен. Так, например, Selectel арендует ВОЛС между своими ЦОДами (Миран, Радуга, Цветочная, Дубровка и др.) по ценам от **7 140 до 81 600 Р/мес** (все – с НДС) [21]. Минимальные цены (~7 тыс.) характерны для коротких

внутригородских линий, максимальные (~82 тыс.) – для более протяженных соединений между удаленными площадками. Каналы также без протокола (темное волокно) с пропускной способностью до 10 Гбит/с. Таким образом, в СПб аренда FOCL-каналов – одна из самых дорогих среди регионов (есть каналы более 80 тыс. Р/мес [21]).

- **Екатеринбург:** Известные предложения показывают относительно невысокие цены. Провайдер «Эрланг» указывает **5 566 Р/км без НДС** за пару волокон, т.е. примерно **~6 700 Р/км с НДС** Cerlang.ru. Колокационный оператор GalaxyData предлагает аренду оптоволокна «от 6 000 Р/мес» [22] (вероятно, за короткие внутригородские линии). При обязательном резервировании от 3 операторов канал может стоить, грубо, от **~6–8 тыс. Р/мес за каждый канал** (на 10 Гбит), что существенно ниже цен Москвы/СПб. Тип канала – темное волокно для высокоскоростного соединения (L2/L3-прозрачный).
- **Казань, Пермь, Тюмень, Приморский край:** Открытых опубликованных тарифов на аренду FOCL в этих регионах не найдено. Вероятно, провайдеры (например, Ростелеком, Таттелеком, ТрансТелеКом и др.) устанавливают тарифы сопоставимые с общерыночными, но конкретных цифр нет. Известно лишь, что в Приморском крае услуги аренды ВОЛС оказывает оператор РТК «Транзит» (коммерческое название «Группа Телеком»), однако публичных прайсов нет.

Сравнение регионов: Самые дорогие арендуемые каналы наблюдаются в Санкт-Петербурге (до **~82 000 Р/мес**) [21], а самые дешёвые – в Екатеринбурге (от **~6 000 Р/мес** за канал) [22]. Москва находится между ними (примерно 30–40 тыс. Р/мес по данным Selectel [21]). Для остальных регионов точных данных нет, но ожидается, что цены будут ближе к уральским (т.е. не выше столичных на порядок).

Границы применимости и допущения. Поскольку тарифы зависят от протяжённости трассы, топологии (точка-точка/через узлы), SLA и стоимости

кросс-подключений/оптических модулей, приведённые диапазоны носят ориентировочный характер и подлежат уточнению коммерческими предложениями операторов в целевых адресах прокладки. Для регионов/маршрутов без публичных прайсов в таблице проставлена помета об отсутствии открытых данных — такие позиции требуют запроса котировок. При учёте резервирования трёх операторов в расчётах ОРЕХ следует умножать базовую ставку на фактическое число независимых каналов (с учётом географической разнесённости). Эти предпосылки фиксируются в пояснительной записке к разделу ОРЕХ/ТСО.

5. ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (ЦОДОВ) НА СОВРЕМЕННЫЙ МИР: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Ниже представлен обзор пользы и негативных эффектов от ЦОДов, ресурсов, которые они потребляют, экологических последствий, их незаменимой роли в жизни общества, а также влияние развития ИИ на индустрию ЦОДов – с глобальной перспективой и отдельным фокусом на ситуацию в России.

5.1. Польза и роль ЦОДов в современном мире

5.1.1. Цифровая экономика и связь

ЦОДы играют ключевую положительную роль в мировой экономике и социальной жизни. Они служат фундаментом для работы интернета, облачных сервисов, электронной коммерции, банковских операций, систем государственного управления и средств коммуникации. По сути, дата-центры обеспечивают функционирование современной цифровой экосистемы, храня и обрабатывая данные для миллиардов пользователей. Эксперты отмечают, что ЦОДы уже сегодня лежат в основе работы интернета и являются неотъемлемыми для современной жизни. Без них были бы невозможны привычные услуги – от поисковых систем и социальных сетей до дистанционного обучения и телемедицины.

5.1.2. Наука и инновации

Высокопроизводительные вычислительные центры помогают решать сложнейшие научные задачи – от моделирования климата до разработки новых лекарств. Хранение и анализ больших данных (Big Data) в ЦОДах способствует развитию искусственного интеллекта, машинного обучения и других передовых технологий. Генеративный ИИ, например, требует колоссальных ресурсов для обучения моделей – получить доступ к таким мощностям можно только в крупных дата-центрах с высокоплотным размещением графических процессоров и эффективным охлаждением [12]. Таким образом, ЦОДы стали катализатором научно-технического прогресса, обеспечивая платформу для инноваций.

5.1.3. Экономическое развитие

Индустрия ЦОДов стимулирует инвестиции и создание новых рабочих мест в смежных отраслях – строительстве, электроэнергетике, ИТ-секторе. Только за прошлый год крупнейшие технологические корпорации США (Alphabet, Amazon, Microsoft) вложили около \$180 млрд в развитие своих дата-центров [23]. Развитая инфраструктура ЦОД способствует росту цифровой экономики: компании могут арендовать вычислительные мощности и хранилища данных (модель cloud computing) вместо содержания дорогих собственных серверных, что снижает издержки и повышает эффективность бизнеса. Цифровизация бизнес-процессов и государственного управления напрямую зависит от наличия достаточного количества мощных ЦОДов – без них переход к экономике знаний и электронным услугам попросту невозможен [23]. Не случайно правительства ставят задачи развития сети дата-центров как условие технологического суверенитета и конкурентоспособности страны на мировой арене [23].

5.1.4. Социальные аспекты

В социальном плане ЦОДы обеспечивают глобальную связанность и доступ к информации. Благодаря им люди по всему миру могут мгновенно общаться, получать образование онлайн, пользоваться облачными хранилищами для личных данных и пр. Кроме того, дата-центры повышают устойчивость критически важных сервисов – банковских систем, электросетей, транспорта – за счёт резервирования данных и вычислений. В то же время, создание новых ЦОДов нередко сопровождается дискуссиями на местном уровне: крупные центры обработки данных обычно не требуют больших штатов персонала после ввода в эксплуатацию, поэтому прямой вклад в занятость населения ограничен. Однако косвенный социальный эффект значителен – от повышения качества цифровых госуслуг до возможности удалённой работы и развития ИТ-экосистемы в регионе.

5.2. Негативные стороны

Вместе с тем существует и обратная сторона стремительного роста ЦОДов. Главный негативный эффект – это существенная нагрузка на окружающую среду (об этом подробнее в следующих разделах). Дата-центры потребляют огромные объёмы электроэнергии, зачастую получаемой от сжигания ископаемого топлива, и тем самым вносят вклад в выбросы парниковых газов. Кроме того, крупные ЦОДы могут создавать инфраструктурные проблемы: в ряде регионов уже ощущается дефицит доступной электроэнергии для их подключения. Например, в Нидерландах и некоторых других странах Евросоюза операторы вынуждены ждать годами для получения разрешения на присоединение новых дата-центров к электросетям [23]. В Ирландии доля потребления электричества дата-центрами достигла 18% в 2022 году, и прогнозируется рост до 28% к 2031 г., что вынудило национальную энергокомпанию ввести мораторий на подключение новых ЦОДов [24]. Подобные ситуации вызывают озабоченность местных властей и населения, особенно если ЦОДы конкурируют с жильём и предприятиями за электроэнергию или воду. Тем не менее эксперты подчёркивают, что значение дата-центров для цифрового общества настолько велико, что эти проблемы предстоит решать, а не отказываться от развития ЦОДов [23]. В целом, польза от дата-центров в виде продвижения цифрового прогресса и экономического роста значительно перевешивает социальные издержки, при условии грамотного планирования инфраструктуры.

5.3. Ресурсы, потребляемые дата-центрами

ЦОДы относятся к числу наиболее ресурсоёмких объектов современной инфраструктуры. Для обеспечения работы тысяч серверов и сопутствующих систем требуются огромные объёмы электроэнергии, воды, разнообразных материалов, а также площадей для размещения. Рассмотрим основные категории потребляемых ресурсов и масштаб их использования.

- **Электричество.** Электричество – главный ресурс, необходимый для питания ИТ-оборудования (серверов, систем хранения данных), а также для работы систем охлаждения, вентиляции, резервного питания и прочей

инженерной инфраструктуры дата-центра. Мировое энергопотребление ЦОДов непрерывно растёт. По оценкам Международного энергетического агентства (МЭА), в 2022 году суммарное энергопотребление центров обработки данных (включая связанные с ними нагрузки ИИ и криптомайнинга) составило примерно 460 тераватт-часов (ТВт·ч), что эквивалентно ~2% глобального спроса на электроэнергию [24]. К 2026 году эта цифра может более чем удвоиться – до 1000+ ТВт·ч, что сопоставимо с годовым потреблением электроэнергии всей Японии. В денежном выражении электроэнергия составляет одну из крупнейших статей операционных расходов дата-центров. В среднем, на ЦОДы приходится около 1–1,5% мирового электропотребления (оценка на 2022 г.), и эта доля неуклонно растёт по мере расширения цифровой инфраструктуры. В глобальном масштабе порядка 11 тысяч дата-центров потребляют совокупно ~55 гигаватт мощности, что сопоставимо с всей электрогенерацией такой страны, как Нидерланды [23]. Для понимания масштаба: средний крупный коммерческий ЦОД (т. н. гипермасштабируемый) имеет мощность 20–50 МВт [23], а новые ЦОДы для нужд ИИ проектируются на 100–300+ МВт каждый. Энергия требуется не только на сами серверы, но и на их охлаждение, кондиционирование, ИБП и прочие системы обеспечения – эти накладные траты могут составлять до половины от энергии, потребляемой ИТ-оборудованием. В итоге энергия, потребляемая современным дата-центром, в значительной мере уходит на отвод выделяемого тепла и поддержание надёжности. Многие центры имеют дублирующие резервные мощности, вследствие чего часть оборудования в обычном режиме работает вхолостую, лишь нагревая воздух.

- **Вода.** Для охлаждения серверного оборудования широко используется вода – в составе систем кондиционирования и испарительного охлаждения. Крупный дата-центр может потреблять миллионы литров воды в день на охлаждение. В частности, некоторые гипермасштабные ЦОДы используют

до 5 миллионов галлонов в сутки (≈ 19 млн литров), что эквивалентно водоснабжению города с десятками тысяч жителей. Средний дата-центр Google, по данным самой компании, расходовал в 2021 году около 450 тысяч галлонов воды в день ($\approx 1,7$ млн л). Вода применяется в градирнях и чиллерах для повышения эффективности охлаждения: испарение воды отбирает тепло у воздуха, снижая нагрузку на компрессоры. Однако такая интенсивная эксплуатация водных ресурсов может создавать нагрузку на локальные источники водоснабжения, особенно в регионах с засухой или ограниченными водными ресурсами. Уже сейчас отмечаются случаи, когда жители выступают против строительства новых ЦОДов из-за угрозы исчерпания местных запасов воды. Например, в материале Российской газеты приведён показательный факт: охлаждение одной из передовых моделей ИИ (GPT-3) за определённый период может потребовать сотни тысяч литров воды [23]. Поэтому в отрасли возрастает внимание к водозффективности: используются замкнутые системы охлаждения, переработка (очистка и повторное применение) технической воды, а в холодном климате – прямое воздушное охлаждение без испарителей. Тем не менее водопотребление остаётся существенным фактором экологического следа ЦОДов.

- **Земля и пространство.** Несмотря на виртуальный характер предоставляемых услуг, дата-центры занимают вполне осязаемые площади. Глобально все ЦОДы занимают площадь более 4500 футбольных полей [23]. Каждый крупный центр требует земельного участка для здания, подъездных путей, систем электроснабжения (подстанции) и охлаждения (градирни, резервуары). Для обеспечения безопасности часто выделяются буферные зоны вокруг дата-центра. Кроме того, ЦОДы зачастую строят вблизи крупных городов или узлов связи, где земля дорогая и дефицитна. Это ставит задачу рационального использования пространства: современные дата-центры стремятся к более высокой плотности размещения стойко-мест и этажного строительства (многоэтажные ЦОДы)

для экономии земли. Тем не менее, по мере роста спроса на новые ЦОДы, потребность в площадях продолжает увеличиваться.

- **Материалы и оборудование.** Создание и эксплуатация ЦОДов требует множества материальных ресурсов. Строительство центра – это тысячи тонн *бетона* и *стали* для возведения здания и серверных залов. По оценкам, на долю железобетонных конструкций может приходиться до 80% “встроенного” углеродного следа при строительстве ЦОД (эмиссии при производстве этих материалов). Поэтому ведущие компании экспериментируют с использованием более экологичных материалов – например, низкоуглеродного цемента, стали с электроплавильных печей или даже древесины вместо части конструкций – чтобы снизить «первоначальные» выбросы CO₂ при строительстве крупных дата-центров. Для начинки ЦОДа требуются огромные количества электронного оборудования: серверы, накопители, сетевые коммутаторы, ИБП, системы охлаждения и т.д. В их производстве используются редкоземельные металлы, литий, кобальт, медь, золото, пластики, и добыча/обработка этих ресурсов также сопряжена с экологическими издержками. Эксперты обращают внимание, что широкое применение в ИТ-сфере лития, кобальта и редкоземельных элементов усугубляет нагрузку на экосистемы в местах их добычи [23]. Например, в каждом современном сервере имеются неодимовые магниты (в жестких дисках), платы с медными дорожками и золотыми контактами, аккумуляторы ИБП используют литий – всё это требует ответственного подхода к ресурсам. Электронные отходы (e-waste) – ещё один аспект: оборудование в ЦОДах обновляется каждые несколько лет, и списанные устройства образуют тонны электронного лома. Неправильная утилизация e-waste грозит загрязнением тяжёлыми металлами и токсичными веществами. Поэтому многие операторы внедряют программы переработки: например, крупные компании (Microsoft, Google) извлекают из старых серверов редкоземельные материалы и другие компоненты для повторного использования [23].

Таким образом, цепочка снабжения ЦОДов затрагивает множество отраслей, и устойчивое управление материалами – важная задача индустрии.

Ниже сводная таблица иллюстрирует основные показатели, характеризующие масштаб ресурсов, потребляемых ЦОДами глобально и в России. (см. Таблица 5.1)

Таблица 5.1

Количество Дата центров

№ п/п	Показатель (2024)	Глобально	Россия
1	2	3	4
2	Количество дата-центров (ЦОД и МЦОД)	≈ 11 000 центров по всему миру [23]	194 центра (оценка на начало 2025 г.) [12]
3	Суммарная мощность	≈ 55 ГВт потребляемой мощности ЦОДов [23]	1,2–1,7 ГВт (мощность российского рынка ЦОД) [12]
4	Доля в потреблении э/э	~1–2% мирового электропотребления	до 2% потребления э/э в РФ (ЦОДы + майнинг)
5	Энергопотребление (год)	≈ 460 ТВт·ч (2022) [24], >600 ТВт·ч (2024)	~10 ТВт·ч <i>оц.</i> (2024), прогноз ~20 ТВт·ч к 2030 [12]
6	Прогноз роста	Увеличение в два раза к 2026 (до ~1000 ТВт·ч); +~8% глобального роста спроса эл-ва к 2030	Увеличение в два раза к 2030 (мощность до 2,5 ГВт) потребление до 1,5% от общего [12]
7	Ключевые локации	50% мощности – США, ~30% – Азия, 20% – Европа/Ближ. Восток/Африка [23]	>85% мощностей – Москва и Петербург (76% и 9% соответственно) [12]

Примечание: в показателях для России доля потребления учтена совместно с фермами криптомайнинга (из-за схожего характера нагрузки). Оценки на 2024 год приблизительны. Глобальные тенденции свидетельствуют о быстром росте нагрузки: например, только одно подразделение ИИ в большой технологической компании уже может требовать сотни мегаватт новой мощности. Российские показатели отражают меньший масштаб индустрии ЦОД по сравнению с мировыми лидерами, но также стремительный рост за счёт цифровизации экономики и политики импортозамещения ИТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центры обработки данных в современной экономике выступают базовым элементом цифровой инфраструктуры. В отличие от большинства объектов капитального строительства, их ценность для собственника и пользователей определяется не только площадью, архитектурой или местоположением, но прежде всего способностью обеспечивать заданную ИТ-мощность с требуемыми параметрами надёжности, доступности и энергоэффективности. ЦОД представляет собой здание в сочетании с комплексом инженерных систем и ИТ-оборудования, а объектом управления становится не столько сам строительный объект, сколько совокупная стоимость его создания и эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла.

Объектом исследования в работе стали стационарные и модульные (мобильные) центры обработки данных как разновидности таких специализированных объектов. Предметом исследования явилась совокупная стоимость владения этими объектами (CAPEX, OPEX, TCO) в привязке к архитектуре инженерных систем и диапазонам ИТ-мощности. Поставленная цель – разработать методику сравнительной оценки стоимости владения стационарных и модульных ЦОД по ключевым технико-экономическим показателям и на её основе определить области рационального применения каждого типа ЦОД в проектах различного масштаба – достигнута.

Для её достижения в работе:

- обобщены теоретические представления о ЦОД как об объектах капитального строительства, уточнена типология стационарных и модульных решений;
- проанализирована нормативно-техническая база, регламентирующая требования к надёжности, энергоэффективности и инженерным системам ЦОД;

– разработана и апробирована методика разложения совокупной стоимости владения на CAPEX и OPEX с учётом структуры инженерных систем и диапазонов ИТ-мощности;

– выполнено сценарное сравнение стационарных и модульных ЦОД по ТСО на различных горизонтах владения.

Научная новизна работы заключается в развитии методики расчёта стоимости жизненного цикла объектов капитального строительства применительно к центрам обработки данных и в интеграции в эту методику сравнительного анализа стационарных и модульных решений. Предложенный подход рассматривает ЦОД как единый объект, где строительная часть и инженерные системы образуют общую структуру затрат, и позволяет в единой системе координат сопоставлять варианты по мощности, уровню резервирования и горизонту владения, ориентируясь на совокупную стоимость владения, а не только на первоначальный бюджет проекта.

Проведённый сценарный анализ показал:

– для малых мощностей (ИТ-мощность 100кВт) модульные ЦОД, как правило, обеспечивают более низкий удельный CAPEX и меньший ТСО на ограниченном горизонте владения за счёт высокой заводской готовности и отказа от отдельного здания;

– для средних мощностей (ИТ-мощность 500кВт) модульный формат экономически привлекателен при краткосрочных или поэтапных проектах, однако при увеличении срока эксплуатации и ужесточении требований к энергоэффективности преимущество по совокупной стоимости владения переходит к стационарным решениям.

- В диапазоне крупных мощностей (ИТ-мощность 1000кВт и более) стационарные ЦОД демонстрируют более выгодное соотношение CAPEX и OPEX благодаря эффекту масштаба и возможности применения более сложных, но эффективных архитектур инженерных систем.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что разработанная методика и предложенные структурные модели CAPEX и OPEX могут использоваться заказчиками, проектировщиками и эксплуатирующими организациями для технико-экономического обоснования выбора типа ЦОД и конфигурации инженерных систем на предпроектной и проектной стадиях. Методика позволяет сравнивать альтернативные решения не только по капитальным затратам, но и по совокупной стоимости владения с учётом эксплуатационных рисков, что снижает вероятность неэффективных капитальных вложений.

Исследование имеет ограничения, связанные с использованием усреднённых рыночных ориентиров и допущений по профилю нагрузки. Дальнейшее развитие работы может быть связано с уточнением параметров модели TCO для конкретных регионов и типов проектов, включением дисконтирования и экологических показателей в оценку эффективности, а также распространением методики на гибридные архитектуры, сочетающие стационарные и модульные решения, а также в возможности применения энергоэффективных решений (с низким показателем PUE) и в мобильных (модульных) ЦОД.

В целом выполненная работа решает поставленные задачи, подтверждает сформулированные положения и вносит вклад в развитие методического инструментария технико-экономического обоснования выбора типа центров обработки данных в строительной отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Нормативные материалы

1. ГОСТ 7.32–2017. СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Электронный ресурс]. — Доступ: docs.cntd.ru (дата обращения: 09.11.2025).
2. ГОСТ Р 7.0.12–2011. СИБИД. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила [Электронный ресурс]. — Доступ: docs.cntd.ru (дата обращения: 09.11.2025).
3. ГОСТ Р 7.0.5–2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила оформления [Электронный ресурс]. — Доступ: docs.cntd.ru (дата обращения: 09.11.2025).
4. ГОСТ Р 7.0.99–2018. СИБИД. Реферат и аннотация. Общие требования [Электронный ресурс]. — Доступ: docs.cntd.ru (дата обращения: 09.11.2025).
5. ГОСТ Р 70139–2022. Инженерная инфраструктура. Классификация [Электронный ресурс]. — Доступ: docs.cntd.ru (дата обращения: 09.11.2025).
6. ГОСТ Р 70627–2023. Инженерная инфраструктура. Документация. Техническая концепция [Электронный ресурс]. — Доступ: docs.cntd.ru (дата обращения: 09.11.2025).
7. СП 541.1325800.2024. Здания и сооружения центров обработки данных. Правила проектирования [Электронный ресурс]. — Доступ: docs.cntd.ru (дата обращения: 09.11.2025).
8. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс]. — Доступ: pravo.gov.ru; rg.ru (дата обращения: 09.11.2025).

Научные, технические и учебно-методические издания

9. Reinsel, D.; Gantz, J.; Rydning, J. The Digitization of the World: From Edge to Core. — IDC, 2020 [Электронный ресурс]. — Доступ: [idc.com](https://www.idc.com) (дата обращения: 07.11.2025).

10. Напалков, С. В. Тенденции роста цифровых данных и роль центров обработки данных в эпоху информационного взрыва // Исследования. Инновации. Практика. — 2024. — Декабрь.

11. Напалков, С. В. Центры обработки данных в мире. Глобальное распределение и тренды развития // Тенденции развития науки и образования. — 2024. — Декабрь.

Ресурсы сети Интернет

12. Arcserve. Data Centers — What are the Costs of Ownership? [Электронный ресурс]. — Доступ: <https://www.arcserve.com/blog/data-centers-what-are-costs-ownership> (дата обращения: 07.11.2025).

13. CEIC Data. China Usage Price: 36 City Avg: Electricity for Industry: 35 kV and Above [Электронный ресурс]. — Доступ: <https://www.ceicdata.com> (дата обращения: 06.11.2025).

14. Datanami (Woodie, A.). Big Growth Forecasted for Big Data. 11.01.2022. [Электронный ресурс]. — Доступ: <https://www.datanami.com> (дата обращения: 07.11.2025).

15. GalaxyData. Колокейшн: дополнительная гарантированная полоса 100 Гбит/с [Электронный ресурс]. — Доступ: <https://galaxydata.ru/colocation/> (дата обращения: 04.11.2025).

16. GlobalPetrolPrices.com. Electricity prices by country, 2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/ (дата обращения: 06.11.2025).

17. Nabr. Искусственный интеллект в России и мире: эволюция, тенденции, будущее. 02.06.2023. [Электронный ресурс]. — Доступ:

<https://habr.com/ru/companies/inferit/articles/739514/> (дата обращения: 07.11.2025).

18. HeadHunter (hh.ru) [Электронный ресурс]. — Доступ: <https://hh.ru> (дата обращения: 07.11.2025).

19. KIO Data Centers (Blog). Costs of a Data Center [Электронный ресурс]. — Доступ: <https://kiodatacenters.com/en/blog-data-center/costs-of-a-data-center> (дата обращения: 07.11.2025).

20. «Континент Сибирь Online». Новосибирск и Красноярск вошли в десятку региональных центров России по количеству ЦОД. 21.05.2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: <https://ksonline.ru/573680/> (дата обращения: 06.11.2025).

21. РБК Маркетинг. Российский рынок ЦОД: концентрация в столицах и рост региональной децентрализации. 29.08.2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: marketing.rbc.ru/articles/16023/ (дата обращения: 09.11.2025).

22. РБК. 113 млрд рублей составил рынок центров обработки данных в России в 2024 году. 20.05.2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: rbc.ru/industries/ (дата обращения: 09.11.2025).

23. РБК. Что стимулирует рынок дата-центров в России. 01.10.2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: rbc.ru/industries/ (дата обращения: 09.11.2025).

24. Retail.ru. Общая емкость рынка ЦОД в 2024 году превысит 84 000 стойко-мест. 22.04.2024. [Электронный ресурс]. — Доступ: retail.ru/rbc/pressreleases/obshchaya-emkost-rynka-tsod-v-2024-godu-prevysit-84-000-stoyko-mest/ (дата обращения: 09.11.2025).

25. Selectel. Рынок дата-центров в России: ожидания и реальность. 2024. [Электронный ресурс]. — Доступ: selectel.ru/about/newsroom/press/rynok-data-centrov-v-rossii-ozhidaniya-i-realnost/ (дата обращения: 09.11.2025).

26. Selectel. Что такое дата-центр (ЦОД) — как устроен и для чего нужен. 18.07.2024. [Электронный ресурс]. — Доступ: selectel.ru/blog/data-center/ (дата обращения: 09.11.2025).

27. Selectel. Российский бизнес уходит в облака. 21.04.2023. [Электронный ресурс]. — Доступ: selectel.ru/about/newsroom/press/rossijskij-biznes-uhodit-v-oblaka/ (дата обращения: 09.11.2025).

28. Selectel. «Рынок растёт на 20% ежегодно, Selectel растёт в 2 раза быстрее». 2021. [Электронный ресурс]. — Доступ: selectel.ru/about/newsroom/press/rynok-rastet-na-20-ezhegodno-selectel-rastet-v-2-raza-bystree/ (дата обращения: 09.11.2025).

29. TIM. Статистика и перспективы строительства ЦОД в России. 12.08.2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: pro-tim.ru/blog/stroitelstvo-tsod-statistika-i-perspektivy/ (дата обращения: 09.11.2025).

30. Omdia. Data Center Building Report – 2023. 04.04.2023. [Электронный ресурс]. — Доступ: omdia.tech.informa.com/om029200/data-center-building-report-2023 (дата обращения: 09.11.2025).

31. Omdia. Prefabricated Modular Data Center Report – 2023. 20.12.2023. [Электронный ресурс]. — Доступ: omdia.tech.informa.com/om032922/prefabricated-modular-data-center-report--2023 (дата обращения: 09.11.2025).

32. Omdia. Cloud and Data Center Market Snapshot – November 2023. 2023. [Электронный ресурс]. — Доступ: omdia.tech.informa.com/om033574/cloud-and-data-center-market-snapshot---november-2023 (дата обращения: 09.11.2025).

33. Omdia. Data Center Storage Market Analysis – 2023. 17.05.2023. [Электронный ресурс]. — Доступ: omdia.tech.informa.com/collections/afcei006/data-center-storage-market-insights-and-forecast (дата обращения: 09.11.2025).

34. Uptime Institute. Annual Outage Analysis 2023. 2023. [Электронный ресурс]. — Доступ: uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/annual-outage-analysis-2023 (дата обращения: 09.11.2025).

35. Uptime Institute. Global Data Center Survey Results 2023. 2023. [Электронный ресурс]. — Доступ: uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/uptime-institute-global-data-center-survey-results-2023 (дата обращения: 09.11.2025).

36. Uptime Institute. Global Data Center Survey Results 2024. 2024. [Электронный ресурс]. — Доступ: uptimeinstitute.com (дата обращения: 09.11.2025).

37. Росконгресс. Цифровизация финансовых рынков: регулятор — партнёр, а не оппонент. 2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: roscongress.org/materials/tsifrovizatsiya-finansovykh-rynkov-regulyator-partnyer-a-ne-opponent/ (дата обращения: 09.11.2025).

38. Intelligent CIO North America. Omdia research predicts data center cooling market to reach \$16.87 billion in 2028. 19.06.2024. [Электронный ресурс]. — Доступ: intelligentcio.com/north-america/ (дата обращения: 09.11.2025).

39. TechRadar Pro. Amazon's data center spend tops \$100bn – more than the GDP of most countries. 15.08.2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: techradar.com/pro/ (дата обращения: 09.11.2025).

40. Business Insider. The AI boom is straining the power grid, and data center operators are getting nervous. 04.08.2025. [Электронный ресурс]. — Доступ: businessinsider.com (дата обращения: 09.11.2025)