

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления подготовки)  
Энергосбережение и энергоэффективность  
(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности  
Дата-центра»

Студент	<u>Н.Н. Лебедева</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>Ю.В. Черненко</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Руководитель программы	<u>к.т.н. А.Н. Черненко</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
« _____ »	_____	20 _____	г.

### Допустить к защите

Заведующий кафедрой	<u>д.т.н., профессор В.В. Вахнина</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
« _____ »	_____	20 _____	г.

Тольятти 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 Анализ текущего состояния объекта энергосистемы ЦОДа .....	7
1.1 Основные требования к структуре ЦОДа .....	7
1.2 Описание деятельности организации .....	10
1.3 Анализ текущих технических показателей ЦОДа .....	10
1.4 Выводы по первому разделу .....	26
2 Реализация мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа .....	28
2.1 Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет оптимизации IT-инфраструктуры .....	28
2.2 Расчет технических показателей мероприятия «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет оптимизации IT-инфраструктуры».....	41
2.3 Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет модернизации системы охлаждения и вентиляции .....	45
2.4 Расчет технических показателей мероприятия «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет модернизации системы охлаждения и вентиляции» .....	56
2.5 Выводы по второму разделу.....	67
3 Расчет экономических показателей проекта.....	69
3.1 Особенности оценки инвестиций в инфраструктуру ЦОДа .....	69
3.2 Расчет экономических показателей мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа .....	72
3.3 Выводы по третьему разделу .....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	84
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	92

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема энергоэффективности объекта энергосистемы у руководителей предприятия всегда занимает основное место в статье затрат и критериях модернизации производственных фондов, особенно, если основными потребителями на предприятии (объекте предприятия) расходуется до 90 % получаемой электроэнергии. К таким предприятиям относятся и Центры обработки данных (ЦОДы), в которых основная часть электроэнергии идет на поддержание работы машинного зала (серверов и инфраструктуры (система вентиляции, охлаждения, коммутационного оборудования, система сигнализации и оповещения, и пр.). В иностранной литературе понятие ЦОД, как правило, представлено выражением «Data center» (перевод с англ. «Дата-центр»). Основная функция ЦОДа - предоставление информационных услуг, связанных с арендой и размещением физических и виртуальных серверов сторонних организаций и предоставлению телекоммуникационных услуг, а также конвергентных услуг в режиме круглосуточного доступа в течение всего года (24 часа \*7 дней в неделю \*365 дней в году).

В настоящее время в связи с вступлением в силу Федерального закона от 21 июля 2014 г. N 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части уточнения порядка обработки персональных данных в информационно-телекоммуникационных сетях» [1] и пакета законов о противодействии терроризму (Федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 374-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О противодействии терроризму» и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности»[2] и Федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 375-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и Уголовно-процессуальный кодекс

Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности»[3]) называемый в средствах массовой информации (СМИ) как «пакет Яровой-Озерова» (примечание - по фамилиям авторов закона) прямо и косвенно дало импульс развитию ЦОДов и внешней инфраструктуры на территории Российской Федерации. До указанного периода подобные центры активно развивались только в нескольких крупных федеральных центрах (Москва, Санкт-Петербург, Казань и др.), и, по сути являлись инвестиционными проектами, реализованными «с нуля» по уже готовым европейским моделям. Однако на рынке в тот период также присутствовали и другие организации по предоставлению услуг ЦОДов с менее развитой инфраструктурой, но занимающие определенную нишу в сфере информационных услуг, имеющие конкурентный потенциал для развития в данном направлении (наличие необходимого помещения и свободных площадей для размещения вновь вводимого в эксплуатацию оборудования, гарантированное энергоснабжение электроэнергией, система бесперебойного электроснабжения внутренних потребителей услуг ЦОДов).

К таким объектам относится и центр обработки данных ООО «ГЛОНАСС-Центр», на базе которого произведен анализ инфраструктуры и разработаны мероприятия по ее модернизации для увеличения энергоэффективности с учетом вновь вводимых в эксплуатацию потребителей, не приводящие (мероприятия) к снижению функциональности предоставляемых услуг.

Разработка мероприятий по увеличению энергоэффективности осуществлена на базе принципа снижения удельного энергопотребления серверного оборудования в расчете на единицу оборудования (телекоммуникационную стойку или стойку IT-оборудования) за счет использования технологии виртуализации серверов, позволяющей повысить консолидацию IT-оборудования, т.е. реализовать более эффективное использование аппаратных характеристик сервера за счет размещения на

одном физическом сервере нескольких виртуальных серверов, обладающих производительностью и характеристиками уже используемых серверов, но работающих по сути, как один сервер; а также за счет модернизации системы охлаждения, калориферизации и вентиляции машинного зала, затрагивающей замену морально и физически устаревшего оборудования без интеллектуального управления, имеющее приемлемые показания КПД только при нагрузке 70% и более, на новое с интеллектуальным управлением и возможностью работы с несколькими контурами охлаждения (прецизионного типа) и в режимах неполной нагрузки с одинаковым КПД, а также изменения организации пространства машинного зала по принципу «горячего» и «холодного» коридора.

Направление диссертации носит прикладной характер. Анализ существующей инфраструктуры ЦОДа произведен на базе эксплуатационной документации и визуального осмотра объекта. Расчет технических и экономически показателей мероприятий произведен на базе типовых методик.

Целью данной диссертации является повышение энергоэффективности электрооборудования, используемого для функционирования ЦОДов и смежных объектов, входящих в его инфраструктуру.

Для достижения цели в данной диссертации сформированы следующие задачи:

- 1) Анализ текущего состояния энергосистемы ЦОДа;
- 2) Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа;
- 3) Расчет экономических показателей мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа.

Объектом исследования является - энергосистема и оборудование центра обработки данных (ЦОД), нуждающаяся в модернизации под новые требования в соответствии с законодательством РФ и возрастающим спросом на услуги ЦОДов.

Предметом исследования являются – мероприятия по повышению

энергоэффективности в условиях модернизации инфраструктуры.

Актуальность разрабатываемых мероприятий продиктована все более нарастающей тенденцией модернизации действующих ЦОДов в соответствии с современными требованиями разработки и функционирования IT-инфраструктуры. Востребованность в модернизации является следствием все большего спроса на услуги ЦОДов, а также косвенным результатом действия нескольких федеральных законов («Пакет Яровой-Озерова»).

Новизна проводимых мероприятий сводится к разработке модели инфраструктуры ЦОД, позволяющей определить необходимость в модернизации инфраструктуры, пути повышения энергоэффективности центра обработки данных в расчете на единицу оборудования (телекоммуникационную стойку оборудования) в результате применения программных, программно-аппаратных, а также аппаратных и организационных решений.

# **1 Анализ текущего состояния объекта энергосистемы ЦОДа**

## **1.1 Основные требования к структуре ЦОДа**

Центр обработки данных (ЦОД) – единая многокомпонентная система, обеспечивающая бесперебойную автоматизированную работу бизнес-процессов с высоким уровнем производительности и качеством оказываемых сервисов.

Понятие «Дата-центр» (DATA-Center, DC) и ЦОД являются синонимами, причем понятие «Дата-центр» преимущественно используется в иностранных ресурсах, а понятие «ЦОД» - в русскоязычных.

Центры обработки данных создаются в первую очередь для увеличения производительности компаний, активно использующих в своей деятельности информационные технологии, а также для повышения качества предоставляемых услуг.

Обязательные компоненты, входящие в состав ЦОД, и являющиеся активом, который можно использовать как техническую оснастку для реализуемых услуг, можно разделить на три основные группы:

1. Технические компоненты. На их базе создается основная инженерная инфраструктура ЦОД.

К данной категории относятся:

- серверный комплекс, включает серверы информационных ресурсов, приложений, представления информации, а также служебные серверы;
- система хранения данных и резервного копирования – ядро ЦОД. Она состоит из консолидирующих дисковых массивов, сети хранения данных, системы резервного копирования и аварийного восстановления данных;
- сетевая инфраструктура обеспечивает взаимодействие между серверами, объединяет логические уровни и организует каналы связи. Она включает магистрали для связи с операторами общего доступа,

телекоммуникации, обеспечивающие связь пользователей с ЦОД;

- инженерная система эксплуатации ЦОД поддерживает условия для нормального функционирования центра. В ее состав входят подсистемы энергообеспечения и заземления, климат-контроля, пожарной сигнализации и пожаротушения, передачи данных инженерных систем, а также автоматизированные системы диспетчеризации, управления информационными ресурсами;

- система безопасности (контроля доступа) предотвращает несанкционированное вторжение в зоны конфиденциальной информации. Она состоит из средств защиты, системы видеонаблюдения, системы оповещения и системы контроля доступа.

2. Программные компоненты. Это фактически сервисы инфраструктуры ЦОД и программного обеспечения (ПО) для корректной работы бизнес-процессов, необходимых для конкретной организации.

К компонентам программной инфраструктуры относятся:

- операционные системы серверов;
- программное обеспечение систем управления баз данных(СУБД);
- операционные системы рабочих станций;
- средства кластеризации;
- средства резервного копирования;
- программы устройств хранения данных;
- средства администрирования серверов и рабочих станций;
- средства инвентаризации;
- офисное программное обеспечение;
- электронная почта, интернет-браузеры и прочие системы web-доступа

К программам, отвечающим за функционирование бизнес-процессов, относятся:

- деловые приложения;



- базовые корпоративные информационные сервисы;
- приложения для коллективной работы;
- отраслевые компоненты;
- программное обеспечение для решения задач конструкторско-технологического плана системы электронного архива и управления проектами;
- программы, обеспечивающие сервисы файлов, печати, службы каталогов и других прикладных задач.

3. Организационные компоненты. Позволяют решать вопросы, связанные с предоставлением ИТ-услуг. Она должна соответствовать требованиям по оказанию ИТ-услуг, таким как ISO/IEC 20000 [4].

К организационным компонентам относятся:

- процессы оказания услуг, то есть качество и доступность услуг;
- процессы взаимоотношений между поставщиком и клиентом, а также с подрядными организациями;
- процессы решения проблем, возникающих при функционировании любого из компонентов системы;
- процессы управления конфигурациями, мониторинг и контроль статуса ИТ-инфраструктуры, инвентаризация, верификация и регистрация конфигурационных единиц, сбор и управление документацией, предоставление информации об ИТ-инфраструктуре для всех других процессов;
- процессы управления изменениями, то есть определение необходимых изменений и способов их проведения с наименьшим риском для ИТ-услуг, а также проведение консультаций и координации действий с организацией в целом;
- процессы релиза, то есть совместного тестирования и введения в активную деятельность организации ряда конфигурационных единиц.

## 1.2 Описание деятельности организации

Организация «ГЛОНАСС-Центр» является оператором услуг по работе с телеметрическим оборудованием на базе систем глобального позиционирования ГЛОНАСС/GPS, а также IT-решений конвергентных услуг, включающих сочетания телекоммуникационных, информационных бизнес-решений для различных отраслей экономики и хозяйства. Для сопровождения своих проектов на начальных этапах работы использовались услуги сторонних ЦОД. На определенном этапе развития деятельности было принято решение о создании собственного ЦОД и развития его инфраструктуры. Свободные «мощности» использовались сторонними организациями, имеющими необходимость в услугах ЦОДа. На данном этапе компания в области предоставления услуг ЦОДа заняла определенную нишу, но по некоторым требованиям не соответствовала на тот момент международным европейским стандартам [4]. Начиная с 2016 года в связи с нарастающим спросом на услуги ЦОД принято решение о начале развития инфраструктуры в соответствии с международными стандартами. В работе технической службы ЦОД заняты программисты, специалисты технической поддержки, служба сервиса, специалисты по телекоммуникационным технологиям, а также специалисты по энергетике.

## 1.3 Анализ текущих технических показателей ЦОДа

Мониторинг потребления электроэнергии в ЦОД позволяет повысить его эффективность. Стандартным показателем эффективности ЦОД является коэффициент эффективности использования энергии (Power usage effectiveness (PUE)) [5].

$$PUE = \frac{\text{Общее энергопотребление ЦОД}}{\text{Энергопотребление IT-оборудования}} \quad (1.1)$$

Этот коэффициент представляет собой отношение общей мощности, потребляемой ЦОД к мощности, потребляемой ИТ-оборудованием.

PUE позволяет:

- Определить расчётные значения мощностей при проектировании нового ЦОД;
- Определить возможность повышения эффективности работы ЦОД;
- Сравнить рабочие характеристики одного ЦОД с другими;
- Определить возможность расширения и перекомпоновки ЦОД в перспективе;
- Определить возможность реорганизации электроснабжения для подключения дополнительного ИТ-оборудования.

Коэффициент эффективности использования электроэнергии является важным параметром, позволяющим оценить систему электроснабжения ЦОД и эффективно управлять ею.

Коэффициент DCIE (Data Center Infrastructure Expert) [5] показывает эффективность инфраструктуры ЦОД.

$$DCIE = \frac{1}{PUE} \times 100\% \quad (1.2)$$

При определении эффективности инфраструктуры ЦОД для ИТ-менеджеров и операторов важно знать значения общей мощности и мощности, потребляемой ИТ-оборудованием. Двумя категориями энергии в ЦОД являются энергия, потребляемая ИТ-оборудованием, и общая энергия, потребляемая ЦОД, включая питание систем охлаждения, освещения, охранной сигнализации и т. д. Оптимизируя всё энергопотребление ЦОД, мы можем добиться максимальной эффективности всей ИТ-инфраструктуры.

Определение энергоэффективности инфраструктуры ЦОД поможет сделать первый шаг в сторону сокращения общего энергопотребления и

расходов на электроэнергию. Оно позволяет оценить текущую компоновку вашего ЦОД и выработать оптимальную стратегию дальнейшего развития. Компания Green Grid предоставила методику [5], которая позволяет дать оценку организации энергопотребления ЦОД исходя из цифр, полученных при оценке параметров PUE и DCIE . Категории оценки PUE согласно указанной методике представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 - Оценка энергоэффективности по PUE

<b>Оценка</b>	<b>PUE</b>	<b>DCIE</b>
Platinum – идеальная организация ЦОД	<1,25	> 0,8
Gold – оптимальная организация ЦОД	1,25~1,43	0,7~0,8
Silver – хорошая организации ЦОД	1,43~1,67	0,6~0,7
Bronze – удовлетворительная организация ЦОД	1,67~2	0,5~0,6
Recognized – возможны улучшения	2~2,5	0,4~0,5
Not recognized – меры для повышения энергоэффективности не принимаются	> 2,5	<0,4

В настоящее время основными потребителями электроэнергии в ЦОДе являются следующие подсистемы:

- Освещение. В данную категорию входят все осветительные приборы организации. Режим работы осветительных приборов в разных помещениях может отличаться, реализуя в реальных условиях отличные, как правило меньшие по значению, от расчетных значения фактического потребления электроэнергии. Можно выделить следующие режимы работы осветительных приборов (постоянный (постоянная расчетная нагрузка 100 %); дежурный (постоянная пониженная нагрузка 5% ); по требованию (средняя нагрузка близкая к 0%)).
- Пожарная и охранная сигнализация и система ограничения доступа. В данную категорию входят все устройства, связанные с охранной и пожарной сигнализацией и видеонаблюдением. Режим работы данной

подсистемы постоянный.

- Кондиционирование и нагрев воздуха. В данную категорию входят все устройства, обеспечивающие как нагрев воздуха, так и охлаждение. Режим работы устройств кондиционирования и вентиляции постоянный, но реальная нагрузка меняется в зависимости от времени года: в летний период основную (постоянная расчетная нагрузка 100 %) нагрузку обеспечивают кондиционеры; в зимний период основную нагрузку обеспечивают нагреватели или калориферы (постоянная расчетная нагрузка 80%); в осенне-весенний период основную нагрузку обеспечивает вентиляция (постоянная расчетная нагрузка 40%), использование кондиционеров и калориферов преимущественно не требуется, микроклимат поддерживается за счет тепла, выделяемого электрооборудованием.

- IT-оборудование. В данную категорию входит все IT-оборудование. Вне зависимости от типа помещения (машинный зал или служебное помещение) используется один режим работы электрооборудования: постоянный (постоянная расчетная нагрузка 100%), обеспечивается оборудованием машинного зала и рабочими местами служебных помещений;

Высота потолков 2.7м. Внешние стены изготовлены из кирпича. Внутренние стены, не имеющие контакта с внешней окружающей средой, изготовлены из газ-бетонных блоков.

Критичными и одновременно основными потребителями электроэнергии ЦОДа являются подсистемы электропитания машинного зала, кондиционирования и калориферизации воздуха машинного зала, которые потребляют до 90 % от общего объема электроэнергии.

Объемы потребления электроэнергии основными подсистемами ЦОДа представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Потребители электроэнергии ЦОДа

№ п/п	Подсистема	Краткое описание потребителей	Доля использования электроэнергии (*)	Абсолютная максимальная мощность потребляемой электроэнергии потребителем, Вт (**)
1	2	3	4	5
1	Освещение	Основное и дежурное освещение машинного зала и вспомогательных помещений	2,19%	1760
2	Пожарная и охранная сигнализация, система ограничения доступа	Конечные датчики и контроллеры системы сигнализации. Система видеонаблюдения	0,01%	100
3	Кондиционирование и нагрев воздуха	Калориферная установка для нагрева и кондиционная установка для охлаждения машинного зала	18,64%	15000
4		Калориферная установка для нагрева и кондиционная установка для охлаждения служебных помещений	12,42%	10000
5	IT-оборудование	Машинный зал (серверы, коммутационное оборудование, системы хранения данных)	62,14%	50000
6		Служебные помещения (персональные компьютеры (автоматизированные рабочие места), оргтехника)	4,47%	3600
	Итого		100,00%	80460 ( ***)

Примечания к таблице 1.2:

\* - Доли использования подсистем рассчитаны исходя из значений абсолютных показателей;

\*\* - Абсолютные значения потребления подсистем предоставлены экономическим отделом предприятия и частично являются суммарными показателями паспортных (максимальных) значений соответствующих групп потребителей;

\*\*\* - Итоговый объем потребляемой электроэнергии является эксплуатационным показателем, который равен сумме аналогичных показателей подсистем.

Текущая планировка организации пространства ЦОДа представлена на рисунке 1.1.

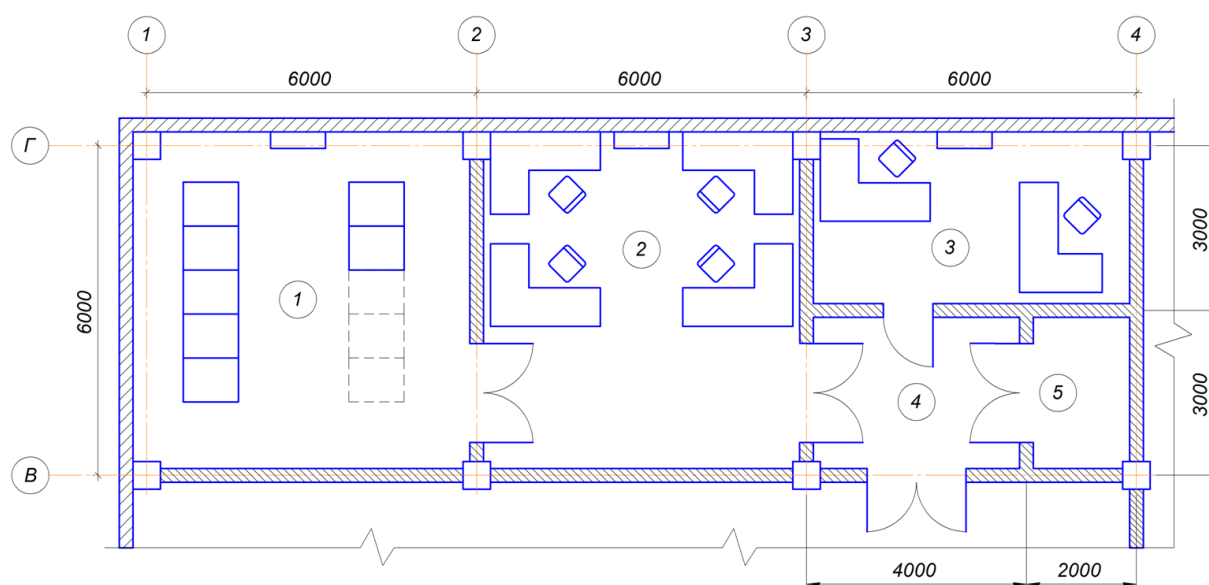


Рисунок 1.1 - Планировка ЦОДа до проведения мероприятий

На рисунке 1.1 цифрами обозначены следующие помещения:

1. Машинный зал, площадь  $36 \text{ м}^2$ ;
2. Офисное помещение (программисты, специалисты технической поддержки, отдел маркетинга), площадь  $36 \text{ м}^2$ ;
3. Офисное помещение (директор, секретарь), площадь  $18 \text{ м}^2$ ;
4. Коридор, площадь  $12 \text{ м}^2$ ;
5. Электрощитовая, площадь  $6 \text{ м}^2$ .

Согласно предоставленным данным маркетингового отдела предприятия реальное значение общего потребления электроэнергии составляет 70 % от указанного итогового в таблице 1.2. Для различных расчетов в данной диссертации будут использованы параметры из таблицы 1.2, т. к. на базе указанных параметров производятся все проектные изыскания, связанные с потреблением электроэнергии ЦОДа.

Согласно предоставленным данным маркетингового отдела предприятия вводная мощность энергосистемы дата центра составляет 0,4 кВ (3-х фазное).

Схематичное изображение схем резервирования питания представлено на рисунке 1.2. В настоящее время при существующей ИТ-нагрузке период бесперебойной работы составляет 30 минут, который ограничен временем работы комплекта батарей системы бесперебойного питания. Система бесперебойного питания имеет цифровой Ethernet интерфейс, через который все ИТ-оборудование, имеющее программное обеспечение для расшифровки оперативных уведомлений, оповещается о статусе питания и в случае необходимости инициирует автоматический запуск сценариев штатного завершения работы. Дизель-генератор в существующей конфигурации используется и имеет максимальную генерируемую мощность 50 кВт. Дизель-генератор расположен на крыше здания ЦОД.



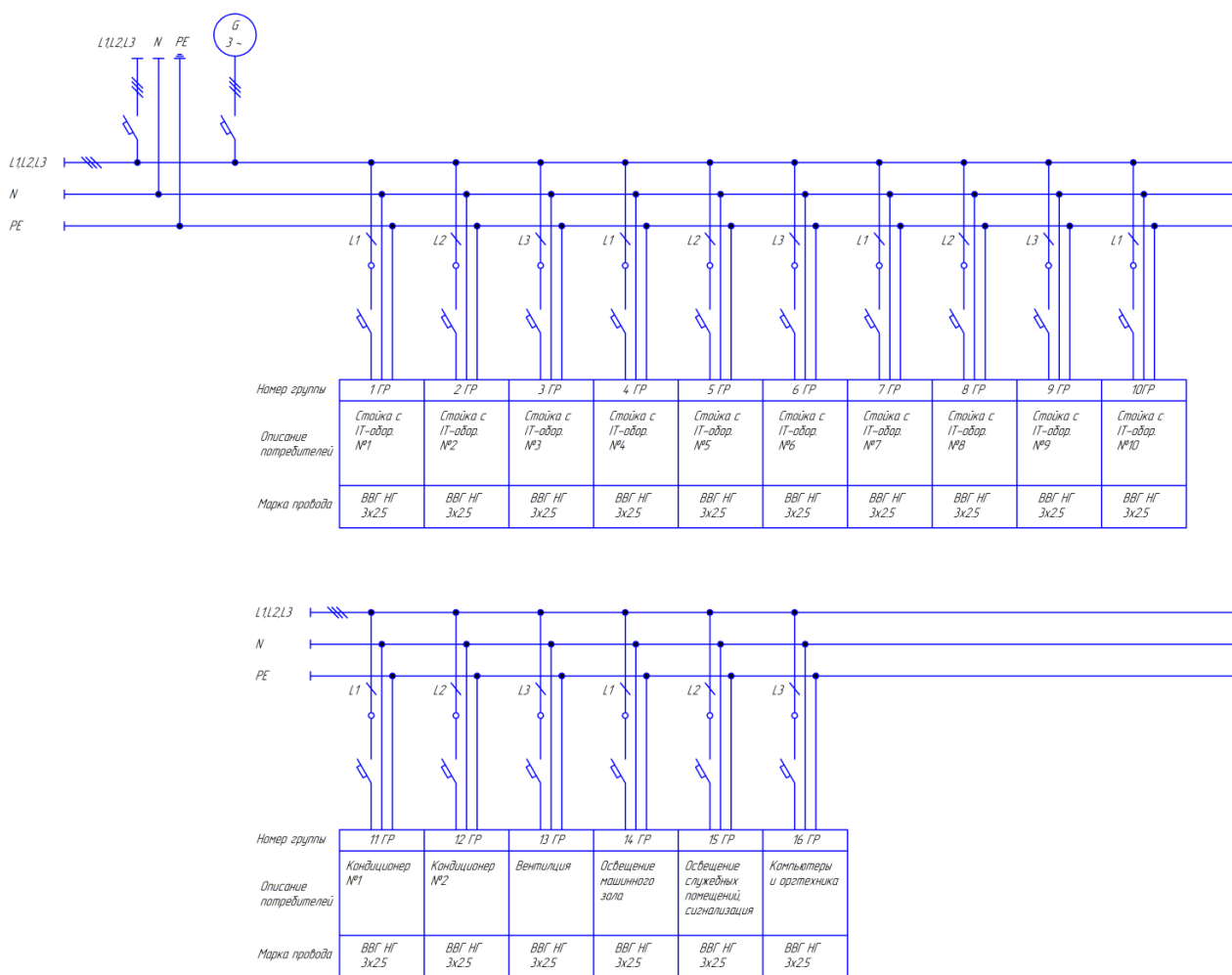


Рисунок 1.2 - Схема электропитания ЦОДа

Согласно рисунку 1.2 резервирование по электропитанию имеют только важные подсистемы ЦОДа, что на данный момент является наиболее оптимальным, но не удовлетворяет новым требованиям организации инфраструктуры ЦОДа [6].

Далее при анализе следует учитывать, что источники бесперебойного питания работают с КПД 75 %, т. е. Из всей потребляемой мощности только 75% идет во вторичный (защитный) контур электропитания. Данная особенность является неотъемлемой частью всех систем бесперебойного питания, но в зависимости от производителя оборудования может отличаться.

Характеристика электрооборудования (в частности максимальная потребляемая мощность) каждого помещения ЦОДа согласно нормативным

документам или техническим паспортам к оборудованию приведена в таблицах 1.3 – 1.7.

Таблица 1.3 - Описание потребителей машинного зала

Подсистема	Потребитель	Количество	Общее потребление электроэнергии, Вт	Примечание
Освещение	Люминисцентные лампы, 80 Вт	9	720	
Пожарная и охранная сигнализация	-	-	-	См. электрощитовая
Кондиционирование и калориферизация	Бытовой настенный кондиционер повышенной мощности, 5 кВт	1	5000	
	Приточная вентиляция, производительность 700 м <sup>3</sup> /час	1	10000	
IT-оборудование	Стойки с IT-оборудованием со средней мощностью нагрузки 5000 Вт	10	50000	
Итого			65720	

Машинный зал ЦОДа - это основное место, где сосредоточены наиболее мощные электропотребители. IT-оборудование представлено различным набором серверов, телекоммуникационных устройств, систем хранения данных, сгруппировано и расположено в стандартных 19-дюймовых стойках с расчетной максимальной потребляемой мощностью

5000 Вт. Реально этот показатель отличается в меньшую сторону, но для расчетов используется справочное значение. Существующее помещение рассчитано на 10 телекоммуникационных стоек. Дополнительное размещение стоек проблематично из-за отсутствия свободного пространства вокруг, и, как следствие, невозможности обслуживания установленного в него оборудования. Все мощное оборудование в помещении является источниками тепла, которое может увеличить окружающую температуру до критических (+60 °С) значений, что может вызвать проблемы в функционировании установленного в машинном зале оборудования - возникновение локальных перегревов дорогостоящего оборудования, повышению общей температуры помещения и возможному временному или постоянному выходу из строя оборудования в машинном зале. Для контроля температурного режима в машинном зале установлен обычный офисный кондиционер мощностью 5000 Вт. Контроль влажности данным кондиционером не производится. Соблюдение температурного режима осуществляется только по внутренним термодатчикам этого кондиционера, и, как следствие, детектированию температуры только в радиусе не более 2-х метров от расположения кондиционера, что может не соответствовать средней температуре помещения машинного зала ЦОДа. Нормальными рабочими диапазонами значений для оборудования ЦОД являются температура +18...+27 °С и влажность 40...55% без образования конденсата [7]. Источником повышенной влажности является приточный воздух, забираемый из внешней окружающей среды и не проходящий в случае необходимости процесс осушения и подогрева.

Пожарная, охранная сигнализация, система ограничения доступа и видеонаблюдение в помещении машинного зала фактически получает питание от контроллера, расположенного в другом помещении, поэтому в качестве подсистемы для машинного зала не анализируется.

Освещение в машинном зале работает в режиме по требованию и 99% времени не используется. Используется только при проведении сервисных

работ с оборудование, что в среднем составляет 7% от всего времени.

Таблица 1.4 - Описание потребителей офисного помещения (технический персонал)

Подсистема	Потребитель	Количество	Общее потребление электроэнергии, Вт	Примечание
Освещение	Люминисцентные лампы, 80 Вт	6	480	
Пожарная и охранная сигнализация	-	-	-	См. электрощитовая.
Кондиционирование и калориферизация	Бытовой настенный кондиционер повышенной мощности, 5 кВт	1	5000	
IT-оборудование	Рабочие места технических специалистов (Системный блок, монитор, принтер) , 600 Вт	4	2400	
Итого			7880	

Офисное помещение для технического персонала оборудовано четырьмя рабочими местами технических специалистов. Режим работы оборудования и освещения в данном помещении 24 часа, т. к. подразумевает дежурство персонала. Для создания комфортных для персонала условий работы в помещении используется обычный офисный кондиционер мощностью 5000 Вт .

Пожарная, охранная сигнализация, система ограничения доступа и видеонаблюдение в офисном помещении для работы технического персонала фактически получает питание от контроллера, расположенного в другом

помещении, поэтому в качестве подсистемы для машинного зала не анализируется.

Таблица 1.5 - Описание потребителей офисного помещения (директор)

Подсистема	Потребитель	Количество	Общее потребление электроэнергии, Вт	Примечание
Освещение	Люминисцентные лампы, 80 Вт	3	240	
Пожарная и охранная сигнализация	-	-	-	См. электрощитовая.
Кондиционирование и калориферизация	Бытовой настенный кондиционер повышенной мощности, 5 кВт	1	5000	
IT-оборудование	Рабочие места технических специалистов (Системный блок, монитор, принтер) , 600 Вт	2	1200	
Итого			6440	

Офисное помещение имеет основные потребители оборудования, представленные 2-мя рабочими местами. Создание комфортных условий работы обеспечивается офисным кондиционером мощностью 5000 Вт и освещением. Работа системы кондиционирования и освещения здесь используется только в дневное время (с 8-00 до 17-00).

Пожарная, охранная сигнализация, система ограничения доступа и видеонаблюдение в офисном помещении административного отдела фактически получает питание от контроллера, расположенного в другом помещении, поэтому в качестве подсистемы для машинного зала не

анализируется.

Таблица 1.6 - Описание потребителей коридора

Подсистема	Потребитель	Количество	Общее потребление электроэнергии, Вт	Примечание
Освещение	Люминисцентные лампы, 80 Вт	2	160	
Пожарная и охранная сигнализация	-	-	-	См. электрощитовая.
Кондиционирование и калориферизация	-	-	-	
IT-оборудование	-	-	-	
Итого			160	

Коридор не имеет в своем составе мощных потребителей электроэнергии. Основные потребители электроэнергии в коридоре – осветительные лампы. Пожарная, охранная сигнализация, система ограничения доступа и видеонаблюдение в коридоре фактически получает питание от контроллера, расположенного в другом помещении, поэтому в качестве подсистемы для машинного зала не анализируется.

Электрощитовая не имеет в своем составе мощных потребителей электроэнергии. По сути является коммутационным узлом для электрической подсистемы ЦОДа.

Информация о основных потребителях, расположенных в электрощитовой, представлена в таблице 1.7.

Таблица 1.7 - Описание потребителей электропитания

Подсистема	Потребитель	Количество	Общее потребление электроэнергии, Вт	Примечание
Освещение	Люминисцентные лампы, 80 Вт	2	160	
Пожарная и охранная сигнализация	Контроллер, концевые датчики	1	100	Все конечные датчики потребляют энергию через контроллер
Кондиционирование и калориферизация	-	-	-	
IT-оборудование	-	-	-	
Итого			260	

По предоставленным данным отдела маркетинга рассматриваемого ЦОДа в период с текущего времени до 2023г. ожидается ввод в эксплуатацию значительного объема IT-оборудования. Прогноз ввода оборудования представлен в таблице 1.8

Таблица 1.8 - План ввода потребителей электроэнергии ЦОДа в период 2017-2023 гг. (включительно)

№ п/п	Подсистема	Краткое описание потребителей	2017-2018, кВт	2019-2020, кВт	2021-2023, кВт	Итого по критерию, кВт
1	2	3	4	5	6	7
1	Освещение	Основное и дежурное освещение машинного зала и вспомогательных помещений	0	0	0	0

Продолжение таблицы 1.8

1	2	3	4	5	6	7
2	Пожарная и охранная сигнализация	Конечные датчики и контроллеры системы сигнализации	0	0	0	0
3	Кондиционирование и калориферизация	Калориферная установка для нагрева и кондиционная установка для охлаждения машинного зала	20 *	20 *	10	50
		Калориферная установка для нагрева и кондиционная установка для охлаждения служебных помещений	0	0	0	0
4	Электропитание машинного зала	Стоки (Серверы, коммутационное оборудование)	20	40	40	100
5	Электропитание служебных помещений	Персональные компьютеры (автоматизированные рабочие места), оргтехника	0	5	0	5
		Итого	40	65	50	155

Примечание к таблице 1.8

\* - Показатель 20 кВт получен следующим образом: выводится из эксплуатации устаревшая установка системы кондиционирования номиналом 10 кВт, вместо нее вводится 2 новые установки номиналом 10 кВт. Данное



увеличение рассчитано на увеличение парка IT-оборудования в будущем.

Согласно комментариям службы маркетинга, указанный в таблице 1.8 план в целом зависит от требования законодательства [1,2,3] конечная дата реализации которого установлена на 2023 г.

Как видно из таблицы 1.8 планируется значительный ввод потребителей электроэнергии в основном для подсистем кондиционирования и электропитания машинного зала, а также нового IT-оборудования. Это является основанием для разработки мероприятий именно по этим направлениям.

На основании сводных данных в таблицах 1.2 – 1.7 и формул 1.1 и 1.2 имеем следующие показатели для расчета коэффициента PUE для текущей инфраструктуры ЦОДа.

$$PUE = \frac{80460}{50000} = 1,61 \quad (1.3)$$

$$DCIE = \frac{1}{PUE} * 100\% = \frac{1}{1,61} \approx 62\% \quad (1.4)$$

Данное значение PUE согласно таблице 1.1 находится на пограничном состоянии между «Silver – хорошая организации ЦОД» и «Bronze – удовлетворительная организация ЦОД», что не предполагает принимать кардинальное решение о начале аппаратной модернизации.

Однако, согласно таблице 1.8 планируется ввод в эксплуатацию значительно объема IT-оборудования, для которого будет недостаточно существующих инфраструктурных ресурсов (площади для размещения IT-оборудования, производительности системы охлаждения и сбережения энергоресурсов для основных потребителей), что явно указывает на требование проведения модернизации инфраструктуры.

Вариант простого масштабирования существующих решений на моменте обсуждения был исключен на этапе обсуждения, т.к. для его реализации потребовалось бы приобретение морально устаревшего

оборудования (в основном элементов системы кондиционирования и вентиляции) за тот же или незначительно меньший объем денежных средств, а также расчетное количество элементов вновь вводимых подсистем на базе этого решения потребовало бы больше площади для его размещения. Ввиду ограниченности площади помещения ЦОД потребовалось бы использование полезной площади за счет уменьшения количества основного оборудования (стоек с IT-оборудованием) для установки вновь вводимого оборудования.

В качестве основных направления модернизации инфраструктуры выбраны мероприятия по ревизии и переводу части аппаратных серверов в виртуальные для более эффективного использования имеющегося оборудования в части энергоэффективности, также модернизацию системы кондиционирования и вентиляции для приведения данной подсистемы в соответствие с международными требованиями по энергоэффективности и резервированию. Развитие услуг ЦОДа выбран вариант на увеличение парка IT-оборудования за счет масштабирования разработанного решения.

#### **1.4 Выводы по первому разделу**

В связи с планом развития существующей IT-инфраструктуры рассматриваемого ЦОДа, составленного по результатам маркетинговых исследований перспектив увеличения спроса на IT-услуги, нормативного законодательства (пакет законов «Яровой-Озерова») и развитием информационных технологий, было принято решение о расширении вычислительных мощностей.

Для определения направлений развития подсистем ЦОДа и максимальной емкости его IT-инфраструктуры был проведен аудит существующих параметров на основании исследования материалов и технической документации, предоставленной отделом маркетинга, а также техническими решениями для каждой основной подсистемы ЦОДа (IT-инфраструктура, электроснабжение и бесперебойной питание,

кондиционирование и вентиляция).

Результатом аудита стало следующие решения: на первом этапе произвести мероприятия по увеличению максимальной емкости ИТ-инфраструктуры, оптимизацию существующей ИТ-инфраструктуры; модернизацию системы электроснабжения, модернизацию системы кондиционирования и вентиляции; на последующих этапах масштабирование разработанной модели до ввода в эксплуатацию всего резерва ИТ-инфраструктуры.

## **2 Реализация мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа**

### **2.1 Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет оптимизации IT-инфраструктуры**

Повышение энергоэффективности хозяйственного объекта за счет числа активных потребителей электроэнергии является по сути в самом простом исполнении мероприятием, связанным с отключением от энергосистемы нерентабельного оборудования и его замены на энергоэффективное оборудование. В случае с ЦОД, рассматриваемом в настоящей диссертации, речь идет в реализации энергоэффективных решений по уменьшению расхода электроэнергии в расчете на единицу активного оборудования (на единицу стойки оборудования), т.е. использование решений, приводящих к уменьшению расхода электроэнергии без ухудшения функционала. Также особым фактором в этой модернизации является то, что планируется ввод в течение ограниченного времени (см. таблица 1.8) дополнительных вычислительных мощностей по аналогичной энергоэффективной схеме.

Отдельным моментом в реализации решения по уменьшению расхода электроэнергии на единицу оборудования является замена активных потребителей подсистемы кондиционирования и калориферизации, где основным потребителем электроэнергии является калориферная установка и установка кондиционирования, а также проведение организационных мероприятий (модификации планировки помещения), направленных на уменьшение времени работ подсистемы кондиционирования. Данное решение из-за объемности технической части рассмотрено в третьей главе.

Увеличение числа IT-оборудования, и как следствие, расходов электроэнергии на подсистему IT-оборудования, в совокупности со снижением расходов электроэнергии на подсистемы, не связанные с IT-оборудованием, ведет к понижению коэффициента PUE (см. формулу 1.1), по

которому оценивается энергоэффективность ЦОДа в целом по объекту, а это является ключевой задачей технического задания.

Реализации мероприятия (энергоэффективной схемы) по снижению числа активных потребителей электроэнергии включает в себя несколько этапов:

1 этап – увеличение площади машинного зала;

2 этап – размещение (или резервирование места для будущего размещения) максимально возможного числа стоек в машинном зале.

3 этап – ревизии физических серверов для возможности использования их в инфраструктуре виртуализации. Перевод используемых серверных ресурсов в инфраструктуру виртуализации. Данный этап является одним из основным и самым ответственным в процессе реализации решения.

4 этап – модернизация инфраструктуры подсистем сигнализации, пожаротушения, электроснабжения и пр.

На рисунке 2.1 представлена планировка после увеличения площади машинного зала.

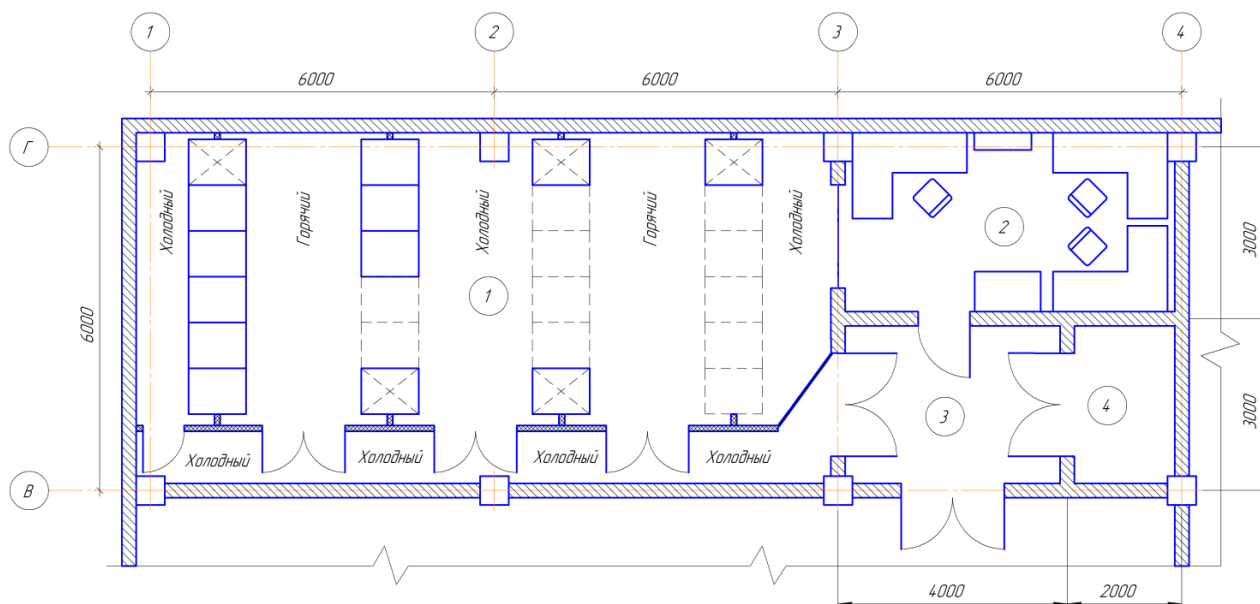


Рисунок 2.1 - Планировка ЦОДа после проведения мероприятий

На рисунке 2.1 цифрами обозначены следующие помещения:

1. Машинный зал, площадь 72 м<sup>2</sup>;
2. Офисное помещение (программисты, специалисты технической поддержки), площадь 18 м<sup>2</sup>;
3. Коридор, площадь 12 м<sup>2</sup>;
4. Электрощитовая, площадь 6 м<sup>2</sup>.

На рисунке 2.3 пунктиром выделены места расположения телекоммуникационных стоек, которые планируется ввести в эксплуатацию (оснастить оборудованием и включить в общую инфраструктуру) согласно плану развития ЦОД (см. таблица 1.8).

Также крестовой штриховкой выделены полимерные легкие жесткие конструкции, выполняющие роль перегородок, выделяя пространственные зоны в ограниченном объеме помещения и организующие «горячий-холодный» коридор. Для перемещения между зонами организованы входные двери из аналогичного материала. В крайнем правом ряду стоек из-за особенностей планировки машинного зала (недостаточного пространства машинного зала и особого расположения входной дверной группы) нельзя оптимально разместить полноценную жесткую перегородку. Для решения данной проблемы использованы гибкие полимерные шторы, выполняющие функцию термобарьера между выделенными пространствами. При необходимости нужная термозона (как «холодного», так и «горячего» коридора) может быть объединена в единое пространство путем открытия соответствующих входных дверей.

Расположение прецизионных кондиционеров в линии стоек выбрано таким образом, чтобы не создавать локализаций холодных масс в одной области, что дополнительно обеспечивает равномерность распределения холодных воздушных масс.

Рассмотрим детально проводимые этапы мероприятия.

1 этап. Увеличение площади машинного зала. В условиях ограниченности полезной площади ЦОДа увеличение площади машинного

зала может быть произведено только за счет сокращения количества рабочих мест на территории ЦОДа, не входящие в «полезную» площадь. Под «полезной» площадью понимается та площадь производственной площадки, на которой расположены ресурсы, работа которых непосредственно обеспечивает выполнение бизнес-процессов организации. Такими рабочими местами (не входящие в «полезную» площадь), являются рабочие места директора, бухгалтера и маркетолога. Эти сотрудники вместе со своими рабочими местами переведены в территориально отделенный офис совместно с их оборудованием (компьютеры пр. устройства).

В результате высвобождается помещение 18 м<sup>2</sup>, где размещаются программист и специалисты технической поддержки со своими рабочими местами. Также в кабинете специалистов располагается ящик соответствующего размера с функциями ограничения доступа, выполняющего функции складского ресурса, для хранения запасных частей для серверного оборудования (запасные блоки подсистем ИТ-оборудования, запасные блоки питания для систем бесперебойного питания и пр.). Дополнительно устроено окно из кабинета технических специалистов в машинный зал для визуального наблюдения обслуживаемого оборудования. Изменение геометрии смежных помещений производится путем демонтажа существующих горизонтальных перекрытий. Т.к. по предоставленной отделом маркетинга техпаспорта и документации на помещение демонтируемые перегородки не являются капитальными, то не требуется дополнительного согласования с контролирующими органами изменение планировки. Новые вертикальные межкомнатные перегородки возведены в виде некапитальных стен.

Таким образом при сравнении планировок до проведения мероприятий (см. рисунок 1.1) и после (см. рисунок 2.1) произведено увеличение площади машинного зала, где располагается ИТ-оборудование, элементы системы кондиционирования и вентиляции; уменьшение площади служебных помещения для размещения персонала, обслуживающего машинный зал

ЦОДа; площади коридоров и электрощитовой не изменились.

2 этап. Размещение или резервирование места для серверных стоек осуществляется на основании требования стандарта ANSI/NECA/BICSI 568-2001 [7]. На планировке (см. рисунок 2.1) ЦОДа после проведения мероприятий изображено уже значительно меньше рабочих мест, а зона машинного зала увеличена в 2 раза до 72 м<sup>2</sup>. При этом существующие кондиционеры не были демонтированы, а теперь используются как резервное оборудование для охлаждения дата центра в случае выхода из строя новых прецизионных кондиционеров. Режим работы кондиционеров по требованию (режим холодного резервирования (оборудование полностью отключено, но готово к использованию в случае необходимости), т.к. основную задачу подсистемы кондиционирования и вентиляции после проведения мероприятий по увеличению энергоэффективности будут выполнять вновь вводимые в эксплуатацию прецизионные кондиционеры (см. раздел 2.3 настоящей диссертации). Демонтаж старых кондиционеров будет произведен во время работ одного из следующих этапов, связанных с оснащением дополнительных элементов системы кондиционирования и серверных стоек в том случае, если их использование в качестве резервных не требуется.

Стандарт ANSI/NECA/BICSI 568-2001 [7] определяет минимальное свободное расстояние перед передней и задней частями шкафа или стойки равным 914 мм при минимальной ширине бокового прохода 762 мм. Это требование напрямую влияет на максимальное возможное число 19-дюймовых телекоммуникационных стоек в помещении машинного зала. Резервирование места под телекоммуникационные стойки подразумевает не только выделение площади для размещения, а также подведение в место установки питающих и телекоммуникационных кабелей, а также резервирование мощность входной подсистемы электропитания и охлаждающей мощности системы кондиционирования и вентиляции. Ввиду особенностей помещения машинного зала ЦОДа подвод электропитания и телекоммуникационных линий производится сверху (от потолка).



Схема резервирования электропитания после проведения мероприятий представлена на рисунке 2.2

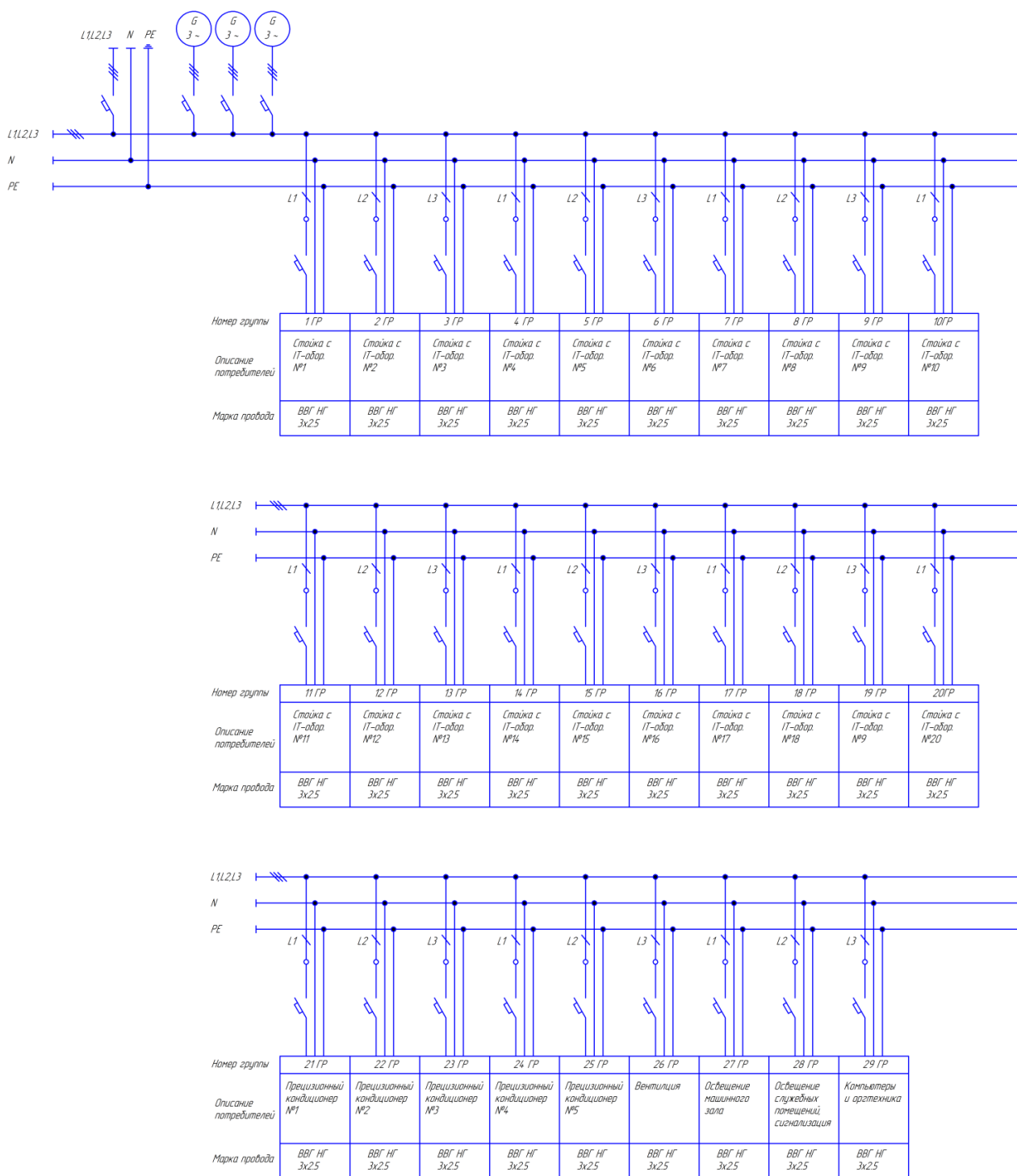


Рисунок 2.2 – Схема электропитания ЦОДа после проведения мероприятий

Расчет необходимости модернизации входной электрической подсистемы произведён в разделе 2.2 «Расчет технических показателей»

мероприятия «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет оптимизации IT-инфраструктуры»). Определение необходимости модернизации системы кондиционирования и вентиляции и расчет ее технических параметров произведены соответственно в разделе 2.3 «Описание мероприятия «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет модернизации системы охлаждения и вентиляции» и разделе 2.4 «Расчет технических показателей мероприятия «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет модернизации системы охлаждения и вентиляции» .

3 этап. Перевод физических серверов на инфраструктуру с использованием виртуализации. Технология виртуализации серверов представляет размещение на одном физическом сервере в одной операционной системе нескольких виртуальных машин [17]. Схематичное изображение IT-инфраструктуры с использованием виртуализации изображено на рисунке 2.3 [17].

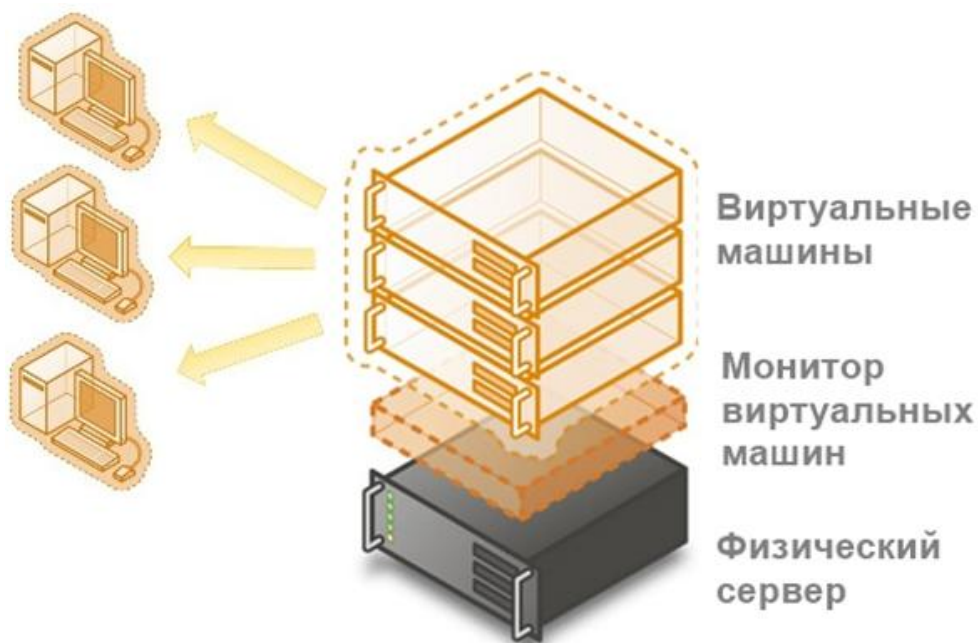


Рисунок 2.3 - Типовая логическая схема инфраструктуры с использованием виртуализации

Программное обеспечение для виртуализации представлено на рынке множеством производителей (Microsoft, IBM, Oracle, VM Ware, Citrix, KVM и

др.) и требованиями к его использованию. В рамках настоящей диссертации эти особенности не рассмотрены.

Согласно технологии виртуализации каждая виртуальная машина представляет собой программно-изолированный модуль, резервирующий под себя определенный ресурс аппаратных ресурсов физического сервера, на котором она размещена. Каждой виртуальной машине может быть зарезервировано определенный оперативной памяти, логических ядер процессора и доля машинного времени, определенный объем дискового хранилища, число и ширина канала связи в конкретных сетевых интерфейсах и прочих аппаратных ресурсов. Все виртуальные машины могут быть запущены одновременно и тем самым загрузить аппаратные ресурсы физического сервера, где они развернуты на 90 и более процентов. Виртуальные машины, расположенные на разных физических серверах, могут организовывать каналы связи через один или несколько физических интерфейсов аппаратного сервера. Такие ситуации требуют использования либо более скоростных сетевых интерфейсов и каналов связи либо использование нескольких сетевых физически интерфейсов (агрегация каналов связи) на одном аппаратном сервере. Для всех операционных систем, запущенных на виртуальных машинах, физический сервер, на котором они развернуты, и его интерфейсы является «прозрачными» для инфокоммуникационной сети, т.е. все виртуальные серверы видны в инфокоммуникационной сети ЦОДа как отдельные сетевые устройства, идентично, как при использовании нескольких аппаратных серверов до проведения мероприятий. Таким образом обеспечивается эквивалентность логической сетевой структуры для всех элементов ИТ-инфраструктуры.

Данная технология позволяет реорганизовать вычислительную нагрузку на уже имеющихся аппаратных серверах без изменения логической структуры вычислительной сети. На пример, если имеется 3 физических сервера, не использующих виртуализацию, вычислительная нагрузка на каждый из которых не достигает 40 процентов в пиковый период от

имеющихся аппаратных ресурсов, а в межпиковый период нагрузка не достигает 15-20 %, то можно развернуть на одном из этих физических серверов три виртуальные машины. Тогда суммарная пиковая загрузка сервера будет не более 90 процентов, функциональность такой структуры будет идентичная первоначальной, а 2 других физических сервера можно будет вывести из эксплуатации, уменьшив в 3 раза общий расход электроэнергии, что является желаемым результатом с точки зрения энергоэффективности.

Для мониторинга параметров виртуальных серверов применяется соответствующее системное программное обеспечение [14], получающее оперативные оповещения от каждого наблюдаемого сервера (как аппаратного, так и виртуального) необходимый набор параметров (нагрузка на используемые процессоры, использование оперативной памяти, использование дискового пространства, использование сетевых интерфейсов, наличие системных и информационных сообщений от ядра операционной системы и пр.). Получаемая оперативная статистика интерпретируется в различных зависимостях и позволяет оперативно отслеживать многие рабочие параметры, в том числе и имеющие близкие к предельным или предельные значения, что позволяет оперативно применять превентивные меры для устранения инцидентов.

Также в качестве дополнительных функциональных возможностей система контроля работы и управления виртуальными машинами (супервизор) позволяет производить резервное копирование информации из системы хранения данных, а также текущее состояние операционной системы виртуальной машины в различные промежутки времени и со значительно более высокой скоростью подобных операций по сравнению с использованием обычной архитектуры вычислительной среды.

Для специалистов технической поддержки и администраторов инфраструктура с использованием виртуализации дает ряд преимуществ:

- Снижение затрат на оборудование и электроэнергию;

- Мобильность и универсальность;
- Небольшой уровень затрат при развёртывании;
- Удобство обслуживания парка оборудования;
- Повышение надежности, отказоустойчивости и гибкости инфраструктуры.

На рисунке 2.4 представлена схема компоновки оборудования в телекоммуникационной стойке до и после проведения мероприятия, создающее среднее нагрузку оборудования мощностью 5000 Вт. В реальности постоянная расчетная и оперативная нагрузки на конкретную стойку может отличаться незначительно как в большую, так и в меньшую сторону, при этом такие корректировки в плановых расчетах не применяются, и, для нивелирования таких воздействий на электросистему обычно вводят поправочные коэффициенты, с описанием их назначения и правила выбора значения.

После проведение мероприятий общее число серверов в стойке уменьшается в среднем до 3 единиц, обеспечивая идентичный функционал. Тем самым высвобождается место и резерв в ИБП для подключения аналогичного оборудования и «загрузки» той же стойки по мощности до максимального расчетного значения.

Использование инфраструктуры для виртуализации предъявляет ряд требований к IT-инфраструктуре [18]: использование серверных платформ, поддерживающих виртуализацию; использование коммутационного оборудования и высокоскоростных каналов (минимум 1 Гбит/с) связи между серверами, системами хранения данных и центральным коммутатором, что также потребует приобретение дополнительного коммутационного оборудования.

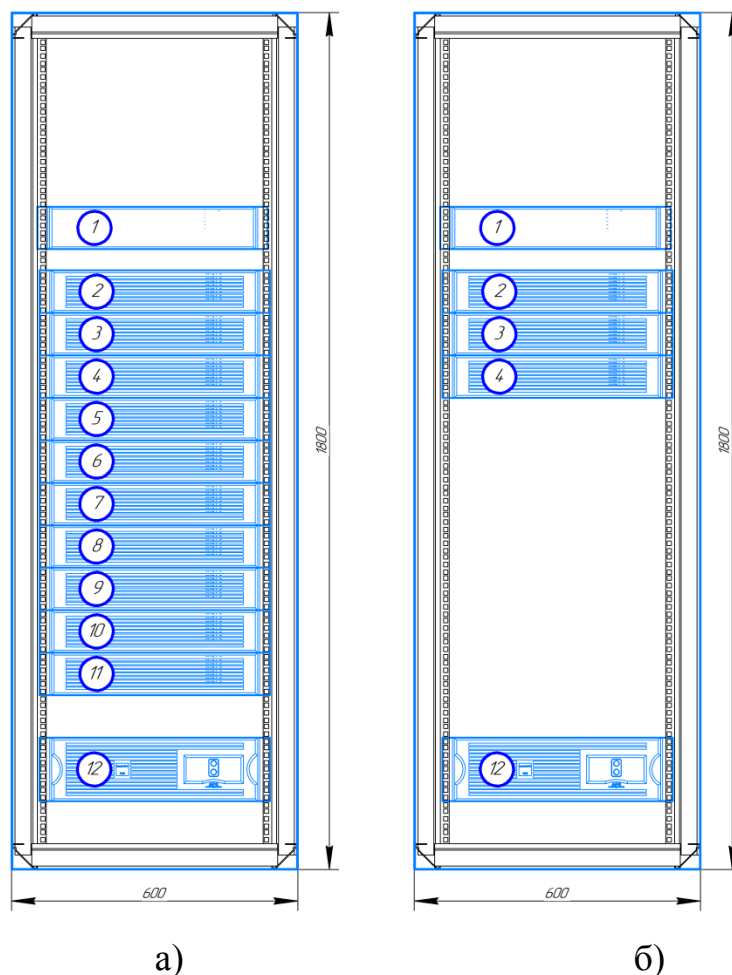


Рисунок 2.4 - Компоновка оборудования в телекоммуникационной стойке до (а) и после (б) проведения мероприятия

Цифрами на рисунке 2.4 обозначены: 1 – коммутационная панель (патч-панель) для сигнальных линий связи; 2 и 11 – типовой сервер со средней мощностью потребления 480 Вт; 12 – Источник бесперебойного питания (ИБП) 5000 Вт . Все серверы получают питание от ИБП. Высота оборудования кратна 1U (один юнит = 1,75 дюйма). Суммарная емкость типовой (1800 мм высотой) телекоммуникационной стойки в высоту 38 U. В случае обеспечения отсутствия превышения максимальной расчетной мощности оборудования в 5000 Вт в одной стойке можно занять все юниты, но на практике такое встречается редко.

Вновь вводимое IT-оборудование, как правило, будет представлено

устройствами одного или двух вендоров [19]. Данное условие рекомендовано многими производителями оборудования и является справедливым на основании следующих замечаний:

- Существующее на рынке серверное оборудование в 99 % случаев имеет соответствие стандарту организации ЦОД, что позволяет производить реализацию типовых решений на базе разных вендоров; 1% случаев представлен уникальным, разрабатываем под конкретного заказчика оборудованием со специфическими характеристиками, не удовлетворяющие стандартам работы ЦОД (это могут быть случаи по внедрению перспективного оборудования, еще не прошедшего соответствующие сертификации или находящиеся в стадии утверждения сертификации)
- Используемое оборудование в основном является комплементарным (взаимозаменяемым) для конкретных элементов инфраструктуры ЦОД, но многие вендоры для повышения своей конкурентоспособности внедряют уникальные технологии, характерные только для «своего» парка устройств. Это подталкивает разработчиков инфраструктуры реализовывать решения, адаптированные под конкретного вендора.
- В случае, если уникальные технологические наработки одного вендора имеют высокий процент интеграции в существующую инфраструктуру ЦОДа (например, в ЦОДе используется более 50 % оборудования и программного обеспечения одного производителя (вендора) , в том числе и в ответственных подсистемах) , то ввод в эксплуатацию оборудования сторонних вендоров, не поддерживающих уже используемые уникальные технологии , может привести к возникновению сбоев разной степени значимости в тех сегментах ЦОДа, где они будут эксплуатироваться.

Основная цель данного этапа заключается в подготовке модели организации единицы стойки IT-оборудования для дальнейшего масштабирования данного решения в случае ввода вновь вводимого в работу

IT-оборудования.

4 этап. Модернизация инфраструктуры подсистем сигнализации, пожаротушения, электроснабжения и видеонаблюдения также затрагиваются при модернизации помещения.

В новой зоне размещения серверных стоек необходимо развертывание инженерной инфраструктуры: датчиков охранной и пожарной сигнализации, системы пожаротушения (автоматизированные порошковые системы пожаротушения), подведение линий подсистемы электроснабжения к месту размещения стоек. Операция с подведением системы электроснабжения в этом случае является наиболее трудоемкой и затратной на этом этапе.

Модернизация системы электроснабжения ЦОДа направлена на увеличение количества и длины шинопроводов и кабельных систем, от которых производится ввод электроэнергии непосредственно в стойки с IT-оборудованием.

Система резервирования электропитания имеет следующие особенности: для каждой стойки IT-оборудования используется отдельный источник бесперебойного питания, расположенный непосредственно в стойке, и рассчитанный на предельную потребляемую мощность электроэнергии 5000 Вт. Встроенные батареи резервного питания при полной зарядке позволяют в аварийном режиме поддерживать электроснабжение всего расположенного в стойке оборудования до 30 минут. За это время в автоматическом режиме при продолжительном сбое в электроснабжении производится несколько попыток запуска резервного дизель-генератора, расположенного за пределами ЦОДа. В случае серии неудачных попыток запуск дизель-генератора производится ответственными сотрудниками ЦОДа. В случае, если после серии неудачных попыток запуск дизель-генератора как в автоматическом, так и в ручном режиме не произведен, и достигении минимального ресурса батарей на все подключенного к источнику бесперебойного питания отправляется сообщение с соответствующей кодовой комбинацией, которая интерпретируется подключенным



оборудованием событием для запуска штатного выключения питания оборудования для исключения его выхода из строя при нештатном отключении электропитания. Также решение в самом худшем варианте развития событий позволяет сохранить последнее состояние системы для его корректного запуска при очередной подаче напряжения питания. Дизель-генератор расположен за пределами помещения, на крыше здания, где расположен ЦОД.

Детальный анализ и расчет требований каждого этапа и результаты модернизации рассмотрены ниже.

## **2.2 Расчет технических показателей мероприятия «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет оптимизации IT-инфраструктуры»**

На основании исходных данных, описанных в разделе 2.1 проведены расчеты, позволяющие определить характеристики изменения энергопотребления ЦОДа в результате реализации всех запланированных этапов мероприятия «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет оптимизации IT-инфраструктуры».

Рассмотрим влияние изменения инфраструктуры ЦОДа для работы с виртуализацией. В ходе аудита инфраструктуры рассматриваемого ЦОДа и предложенных мероприятий определено, что средняя загрузка одного аппаратного(физического) сервера без применения технологии виртуализации находится в пределах 20-30%, при этом мощность активного(включенного) физического сервера близка к паспортной (примерно 480 Вт), т. е. не происходит автоматическое регулирование в широком диапазоне тока потребления источником питания сервера в зависимости от величины нагрузки.

Без использования современных энергоэффективных технологий потребность ввода согласно таблице 1.8 обеспечивалось бы кратным увеличением числа потребителей машинного зала и системы охлаждения

согласно существующей схеме (см. рисунок 1.1) . Для эмпирической оценки введем характеристический коэффициент загрузки оборудования (телекоммуникационной стойки).

Без использования энергоэффективных технологий в расчете на одну стойку оборудования характеристический коэффициент загрузки оборудования составляет

$$K_{\text{стойка}} = \frac{P_{\text{IT-оборудования}}}{P_{\text{оборудования_стойки}}} , \quad (2.1)$$

где  $K_{\text{стойка}}$  – коэффициент загрузки оборудования телекоммуникационной стойки;

$P_{\text{оборудования_стойки}}$  – суммарная мощность потребления телекоммуникационной стойки, Вт;

$P_{\text{IT-оборудования}}$  – мощность IT-оборудования, установленного в стойку;

По принципу расчета данный коэффициент аналогичен расчету PUE, но их нельзя считать идентичными, т.е. DCiE (см. формулу 1.2) рассчитывается комплексно на все инфраструктуру ЦОДа, а в текущем случае только на одну единицу оборудования (телекоммуникационную стойку) без учета иных обслуживающих подсистем (кондиционирования и калориферизация и пр.). Причем возможны случаи, когда единица оборудования загружена менее 70 %, тогда данный коэффициент стремится к 0 %.

Следует учитывать, что устаревшее оборудование, не приспособленное к работе с виртуализацией при неполной нагрузке (менее 70 %) не снижает мощность потребления синхронно уменьшению нагрузки. Поэтому в случае достаточно низкой нагрузки на стойку коэффициент загрузки оборудования будет стремиться к 0% .

Таким образом для инфраструктуры рассматриваемого ЦОД, согласно таблице 1.3, на одну типовую телекоммуникационную стойку приходится суммарная мощность потребления 5000 Вт и размещение в среднем 10

единиц аппаратных устройств (серверов), мощность потребления каждого 480 Вт согласно схеме размещения оборудования (см. рисунок 1.3).

Определим среднестатистический коэффициент потребления электроэнергии в расчете на 1 стойку

$$K_{\text{стойка}} = \frac{10 \cdot 480}{5000} = 0,96 = 96\% , \quad (2.2)$$

Данное значение говорит о практически полной загрузке стойки. После перевода физических серверов на виртуальную инфраструктуру число используемых физических серверов снижается до 3 единиц. Таким образом после внедрения виртуализации коэффициент загрузки оборудования станет

$$K_{\text{стойка}} = \frac{3 \cdot 480}{5000} = 0,29 = 29\% \quad (2.3)$$

Но т.к. используемый источник бесперебойного питания при неполной нагрузке не снижает мощность потребления ниже 70 % , то после внедрения виртуализации реальный коэффициент загрузки стойки будет равен 70 %. В целом для ЦОДа такой подход не желателен, т.к. итоговый PUE в итоге будет увеличиваться, что не является рациональным.

Для решения этой проблемы возможны два пути решения: загрузить стойку до максимального значения; использовать аппаратные серверы и ИБП с возможностью ступенчатого регулирования мощности потребления [13].

Стремление на начальных этапах внедрения мероприятий по энергоэффективности полностью менять инфраструктуру системы питания не рационально, т.к. по сути потребуются приобретение нового оборудования, а устаревшее – выводить из эксплуатации. Нерациональные решения руководством ЦОДа в большей степени вероятности одобрены не будут, но обоснование предоставить требуется. Такие издержки сведут на нет получаемый экономический эффект от мероприятий, поэтому предлагается

использовать комплексный подход с учетом обоих указанных рекомендаций.

Начиная с 2009 г. большинство производителей IT-оборудования внедряет в свое оборудование возможность ступенчатого регулирования мощности потребления электроэнергии на основании встроенных алгоритмов работы в зависимости от величины использования внутренних ресурсов. Данное технологическое решение предлагается использовать при использовании вновь вводимого оборудования. Такое решение позволяет привести ожидаемый результат к значению коэффициента загрузки оборудования стремящимся к  $K_{\text{стойка}} = 100\%$  для различной величины нагрузки на одну телекоммуникационную стойку.

Таким образом для IT-оборудования, расположенного в телекоммуникационных стойках на начальных этапах внедрения мероприятия для оптимизации уже используемого оборудования требуется после внедрения виртуализации перемещение физических серверов, где используется устаревшие ИБП, в стойки, обеспечивая им коэффициент загрузки оборудования выше 70 %. Высвобожденные (где коэффициент загрузки менее 30 %) телекоммуникационные стойки требуется обесточить. А в случае возникновения потребности постепенного ввода оборудования в эксплуатацию использовать подсистему электропитания, модернизированную для работы с виртуализацией. Как правило, такие случаи будут единичны и локализованы в пределах одной телекоммуникационной стойки из всего парка оборудования ЦОДа и в целом PUE повышаться более чем на 0,05 единиц не будет. При вводе в эксплуатацию вновь приобретаемого оборудования требуется изначально использовать полностью адаптированную подсистему электропитания стойки для работы с виртуальной инфраструктурой.

## **2.3 Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет модернизации системы охлаждения и вентиляции**

В настоящее время наиболее часто внедряемыми технологиями поддержания заданной температуры и влажности в технологическом помещении с IT-оборудованием являются фреоновые системы, чиллерные системы, системы свободного охлаждения (free-cooling), а также их комбинации. Также существуют другие специфические системы охлаждения такие как, системы с внешним бассейном (наподобие систем для охлаждения ледовых стадионов), но данные решения характерны для крупных инфраструктурных ЦОДов и не рассматриваются в данной диссертации.

Основная цель расчета решения по выбору системы охлаждения и кондиционирования заключается в определении максимального притока (генерации) тепловой энергии. На основании этой цифры с учетом технических особенностей здания выбирается тип системы охлаждения и число блоков охлаждения, а также применяются дополнительные мероприятия (использование фальш-полов и фальш-потолков, горячий-холодный коридор) для еще более эффективного охлаждения.

Выбор в пользу той или иной технологии отвода тепла из помещения ЦОДа определяется на основании сочетания нескольких характеристик: стоимость оборудования (включая монтаж), особенности масштабирования, тип хладоносителя и расходы на обслуживание(энергозатраты). Такие параметры, как холодильная мощность определяет только количество оборудования, необходимого для покрытия соответствующего объема генерируемого тепла.

Структурно любая система охлаждения состоит из следующих звеньев: охладителя, расположенного непосредственно в гермозоне, откуда требуется вывод тепла; конденсатора, расположенного, как правило на улице, с помощью которого перенесенное теплоносителем тепло рассеивается в окружающую среду; контуры циркуляции хладоносителя, соединяющие

охладитель и конденсатор.

При реализации проектов часто встречаются одно и двухконтурные системы. В двухконтурных системах применяется два вида хладоносителя, передача тепла между контурами осуществляется в теплообменном блоке. Такая двухконтурная схема целесообразна в случае достаточно больших расстояний между конденсатором и охладителем, т.к. это в первую очередь связано со стоимостью расходных материалов (в частности стоимостью хладоносителя), при этом приходится «жертвовать» температурным диапазоном теплоносителя (как правило, для таких целей используются водные растворы этиленгликоля, имеющего более узкий «рабочий» диапазон) и не допускать его циркуляции в средах с неподходящей температурой. Двухконтурные системы обычно используются в чиллерных системах охлаждения.

Также, в случае наличия достаточно холодного (9 градусов Цельсия и ниже) и сухого воздуха во внешней среде в течение продолжительного периода могут применяться системы свободного охлаждения («free-cooling»), где воздух используется в качестве основного теплоносителя. При этом основная задача силовой установки очистка поступающего извне воздуха, его подогрев до нормированной температуры и осушение до нормированного значения влажности. Подобная система не требует прокладки сложной коммуникаций для перемещения теплоносителя. Целесообразность использования данной технологии охлаждения определяется только в случае нахождения объекта дальше 50 параллели к южному или северному полюсу планеты.

Допускаются совмещение разных систем охлаждения для исключения сбоев в системе охлаждения при значительном изменении условий ее использования. Так, например, часто используют сочетания чиллер - free-coolling и фреон - free-coolling.

В таблице 2.1 представлены сравнительные характеристики различных типов системы охлаждения [22,23]

Таблица 2.1 – Сравнительные характеристики систем охлаждения

Параметр	Фреоновая система охлаждения	Чиллерная система охлаждения	Система свободного охлаждения (free-cooling)
1	2	3	4
Основной теплоноситель	Фреон	Основной контур – водный раствор гликоля; внешний (малый) контур – фреон	Воздух из внешней среды со значительно более низкой чем требуемой температурой целевого помещения
Максимальная длина контура охлаждения	До 40 метров	До 200 метров	Любая (ограничивается площадью помещения)
Температурный диапазон работы теплоносителя, градусов Цельсия	-30...+90	-10...+30 (зависит от приготовленной смеси хладоносителя основного контура)	-30...+5 (в случае использования воздуха более высокой температуры эффективность системы падает значительно)
Целевые размеры площади охлаждения, м <sup>2</sup>	30...300	30...30000	300...30000
Сложность масштабирования системы	Масштабирование системы производится дооснащением идентичным набором оборудования кратно увеличению мощности выделения тепла объектом охлаждения. Контур каждого набора не соединены (полностью изолированы).	Масштабирование может производиться асинхронно увеличению мощности выделения тепла: сначала можно увеличить число охладителей, а потом число конденсаторов при необходимости. Контур охлаждения для всех компонентов общий	Масштабирование не предусмотрено, т.к. заданные характеристики закладываются на этапе проектирования.

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
Возможность сохранения требуемого КПД при неполной нагрузке системы	Прецизионные кондиционеры с фреоновым хладагентом могут работать с заданным КПД в диапазоне 30...90 % от максимальной нагрузки	Прецизионные кондиционеры с гликольным хладагентом могут работать с заданным КПД в диапазоне 60...90 % от максимальной нагрузки	Не требует наличия охладителей в зоне охлаждения. КПД системы зависит от того, насколько сильно отличаются входные параметра поступающего в систему воздуха от рекомендованных производителем .
Сложность проектирования и монтажа	Несложно	Средней сложности	Сложно (зависит от условий внешней среды, откуда производится забор теплоносителя)
Соотношение стоимости основного оборудования системы охлаждения с учетом характеристического параметра X, рассчитанного на охлаждение 100 кВт тепловой энергии	$X*1$	$X*(4...5)$	$X*(10...30)$ Зависит от соответствия температура теплоносителя (воздуха) нормам в течение продолжительного периода в течение года
Соотношение стоимости расходных материалов для обслуживания системы охлаждения с учетом характеристического параметра X, рассчитанного на охлаждение 100 кВт тепловой энергии	$X*0.1$	$X*0.01$	Не оценивается



Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
Соотношение стоимости электроэнергии для обслуживания системы охлаждения с учетом характеристического параметра $X$ , рассчитанного на охлаждение 100 кВт тепловой энергии	$X*0.5$	$X*0.5$	$X*(0.001...2)$ Зависит о режима работы системы в зависимости от соответствия нормированным значениям характеристик теплоносителя
Иные моменты	В случае повреждения контура циркуляции хладагента не вредит окружающему оборудованию, т.к. фреон при утечке превращается в газообразное состояние	В случае повреждения контура циркуляции хладагента может повредить окружающее оборудование, т.к. водный раствор при попадании на электронные компоненты может вызвать местную коррозию .	Не влияет на работоспособность оборудования

Как видно, показатели в таблице 2.1 свидетельствуют, что для небольших объектов охлаждения целесообразнее выбрать фреоновую или чиллерную систему охлаждения. Однако чиллерная система имеет преимущество в том, что контур циркуляции хладагента может быть достаточно большим и гибко и значительно дешевле производится масштабирование системы; недостатки заключаются в более высокой начальной стоимости внедрения.

Ввиду анализа небольшого по объему объекта охлаждения, имеющего предельные максимальные возможности масштабирования выбор сделан в пользу прецизионных кондиционеров с фреоновым хладоносителем.

Применение прецизионных кондиционеров обуславливается тем, что

использование таких кондиционеров позволяет с одинаковой величиной КПД производить охлаждение в зависимости от требуемой нагрузки. Подобными характеристиками не обладают обычные кондиционеры, использование которых эффективно только при номинальной (близкой к номинальной) нагрузке оборудования, в противном случае для поддержания промежуточной нагрузки КПД такой системы охлаждения значительно ниже. К тому же выбор оптимального оборудования для решения также влияет на число стартов-стопов компрессора силовой установки, что также влияет на длительной бесперебойной работы соответствующих компонентов. Частые запуски и остановки компрессоров холодильных установок напрямую влияют на увеличение расход энергии и увеличению числа отказов соответствующих компонентов. В идеальном случае компрессорная установка должна работать постоянно, но с регулируемым потоком хладоносителя в контур охлаждения.

На рисунке 2.5 представлена типовая структурная схема системы охлаждения ЦОД [28] с использованием прецизионных кондиционеров. Использование в схеме организации объема распределения тепла по принципу «горячий-холодный» коридор является обязательным условием для повышения эффективности системы охлаждения.

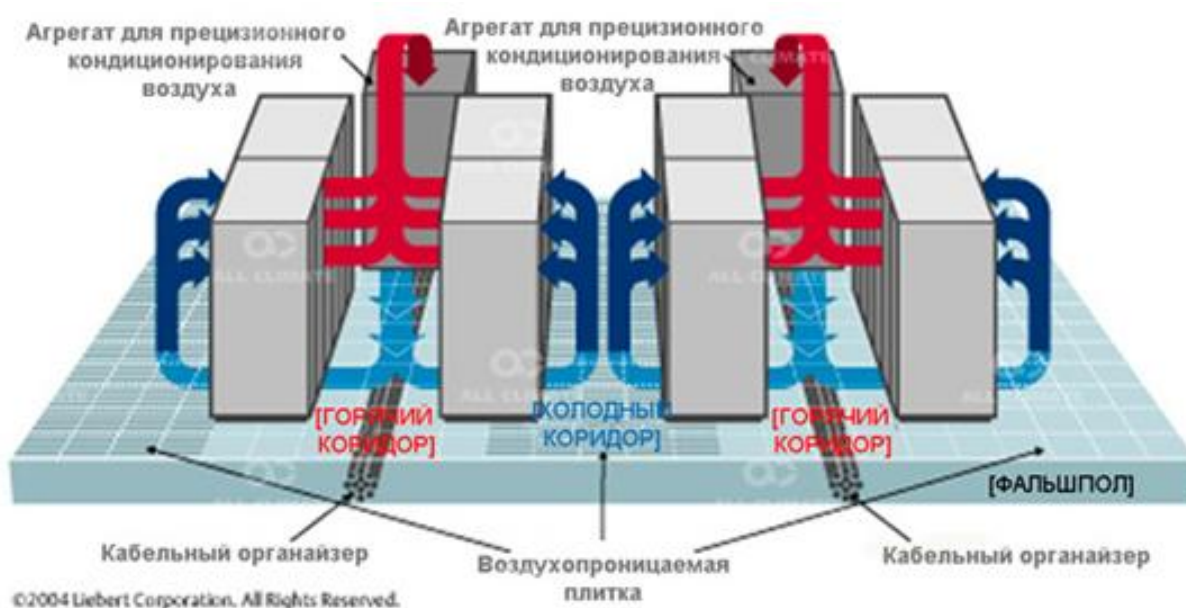


Рисунок 2.5 – Схематичное изображение циркуляции холодного и горячего воздуха по принципу «горячий-холодный» коридор

На рисунке 2.5 представлены следующие компоненты:

- Агрегат прецизионного кондиционирования – охладитель, размещенный непосредственно в горячей зоне. Забор тепла идет, как правило сверху, а вывод холодного воздуха снизу;
- Горячий коридор – условное обозначение пространства, где сконцентрирован воздух с более высокой температурой, отведенный от оборудования и требующий охлаждения;
- Холодный коридор – условное обозначение пространства, где сконцентрирован воздух с более низкой температурой, подающийся в зону, требующую охлаждения;
- Фальш-пол – техническая полость под нулевым уровнем размещения оборудования, позволяющая конфигурировать распределение воздушных потоков в пространстве без дополнительных внешних воздуховодов; Для аналогичных целей может применяться фальш-потолок, расположенный над оборудованием и выполняющим идентичные функции.

Перед началом расчета технических характеристик мероприятия по модернизации системы охлаждения и вентиляции для выбора оптимального решения следует учитывать следующие исходные характеристики объекта охлаждения [27]:

- компоновка и выделяемая тепловая мощность оборудования, требующего охлаждения;
- площадь охлаждаемого помещения; высоту потолков; наличие (использование) и высота фальшпола и фальшпотолка;
- тип хладоносителя;
- наличие окон и централизованного отопления;
- вариант размещения оборудования системы охлаждения;
- наличие (использование) приточной-вытяжной вентиляции.

Данные характеристики позволяют выбрать технологию отвода тепла и компоновку оборудования. Количество необходимого оборудования для элементов системы охлаждения определяется непосредственно в расчете мероприятия на основании объема генерируемого тепла.

Характеристика «компоновка и выделяемая тепловая мощность» напрямую связана с основными источниками тепла. В ЦОД таким является ИТ-оборудование, которое генерирует до 90 % всего тепла. Остальное тепло генерируется второстепенными подсистемами и прочими факторами. К таким второстепенным подсистемам относят освещение; отопление (при наличии); наведенное тепло внешней окружающей среды, проникшее через стены, окна; собственно, сотрудники организации и их рабочие места, если они расположены в зоне ЦОД также являются источниками тепла. Имея план размещения оборудования и рабочих мест в ЦОД можно с большой долей вероятности определить зоны концентрации тепла – это, как правило, стойки с ИТ-оборудованием. Однако, возможны такие ситуации, когда внутри стойки может находиться сверхактивные источники тепла. Данная ситуация является по сути форс-мажорной, если заранее не планировалось размещение таких систем, т.к. на этапе проектирования нельзя с высокой степенью вероятности предугадать, какой сервер (или серверная стойка) будет в большей или меньшей степени нагружена, и, как следствие, являться зоной концентрации тепла. Прогнозирование тепловой нагрузки возможно, если в расчет берутся типовые масштабируемые объекты ИТ-инфраструктуры, уже имеющие статистические эксплуатационные данные, на основании которых можно с большой долей вероятности определить минимальные пороги данной величины. Максимальные пороги определяются по паспортным характеристикам оборудования.

Характеристики «площадь охлаждаемого помещения» и «высота потолков» позволяют определить общую площадь, через которую проходит «наведенное» тепло с окружающей среды (улицы) или соседних помещений. В идеальном случае помещение ЦОД не должно иметь общих стен с

окружающей средой и помещениями с повышенной тепловой нагрузкой.

Характеристики «наличие (использование) и высота фальшпола и фальшпотолка» позволяют судить о наличии (возможности организации) каналов распределения циркулируемого тепла изолированно в зависимости от задач. Фальшпол и фальшпотолок представляют собой воздушные коробки, образованные путем дублирования поверхностей пола и потолка с организацией внутри их полостей каналов распределения конвекционных потоков, обеспечивающих более направленное распределение воздушных масс. К фальшполу по отношению к фальшпотолку предъявляется больше требований по жесткости, т.к. он одновременно является опорой для всего оборудования, стоящего на полу. Использование фальшповерхностей позволяет избежать проведения дополнительных воздуховодов, размещенных непосредственно в рабочей зоне машинного зала, что может создать неудобства при обслуживании находящегося в ЦОД IT-оборудования.

Характеристика «наличие окон и централизованного отопления» свидетельствуют о наличии дополнительных неосновных источников тепла. Причем окна являются зоной гарантированной доставки тепла или холода в помещение, являясь по сути мостиками холода (тепла). В идеальном случае в ЦОД не должно быть окон и отопление должно быть отключено. Как правило, данные параметры не вносят существенные корректировки в общий объем генерируемого тепла, но в некоторых ситуациях, таких как сильных холод или аномальная жара за пределами здания ЦОД, они играют более весомую роль.

Необходимость использования централизованной системы отопления для ЦОД также в большинстве случаев не требуется, т.к. подогрев помещения, как правило, не требуется даже в условиях отрицательных температур вне стен помещения, а также функцию подогрева полностью может заменить выделяемое тепло от IT-оборудования. Система централизованного отопления необходима для исключения вымораживания помещения только при консервации (длительного продолжительного отключения и хранения IT-

оборудования). Также прохождение контуров централизованного отопления по рабочей зоне является одним из факторов риска повреждения оборудования хладоносителем (водой) при ее разгерметизации. Поэтому даже в случае наличия контура централизованного отопления в рабочей зоне ЦОД рекомендуется ее долгосрочное или постоянное отключение или консервация на этом участке.

Характеристика «тип хладоносителя» показывает, какой хладоноситель будет использоваться в основном контуре, непосредственно контактирующем с активным оборудованием (воздушной средой повышенной температуры). Для ЦОД, как правило, используют фреоновый и водный хладоноситель. Также существуют аммиачный тип хладоносителя, но такой тип хладагента не используют в ЦОД ввиду его высокой токсичности для живых организмов.

Также немаловажную роль играет само расположение машинного зала в помещении. В зависимости от специфики размещения машинного зала (гермозоны) очень значительно меняется длина линий контуров охлаждения, связывающих основные компоненты систем охлаждения (например, испаритель, расположенный непосредственно в машинном зале, и конденсационный блок, расположенные за пределами здания, как правило, на крыше или в отдельно хозяйственном модуле). В связи с этим использование более длинных контуров охлаждения ведет к значительному увеличению использования хладоносителя.

В случае использования фреонового хладоносителя затраты на расходные материалы будут увеличиваться в несколько раз быстрее чем при использовании других типов хладоносителей, к тому же в случае утечки, он быстро улетучивается. Однако, фреоновый хладоноситель является самым теплоемким. Такие системы охлаждения называют классическими.

В случае использования хладоносителя на водной основе затраты на расходные материалы незначительно влияют на стоимость обслуживания. Однако, в случае утечки хладоноситель на водной основе может быть источником короткого замыкания. Такие системы охлаждения называют

чиллерными.

Также допускается использование многоконтурных (как правило, двухконтурных) систем охлаждения, где в малокритичных зонах (не влияющих непосредственно на работу IT-оборудования) используется хладноситель на водной основе, а непосредственно в машинном зале и высококритичных зонах используется фреоновый хладноситель. Обмен тепловой энергии между контурами осуществляется к теплообменному блоку.

Характеристика «размещение оборудования системы охлаждения» первоначально дает исходные данные для того, где лучше расположить элементы системы кондиционирования. Существуют несколько способов размещения оборудования (элементов системы охлаждения): непосредственно в общей рабочей зоне; непосредственно в стойке с IT-оборудованием; за пределами рабочей зоны.

Система кондиционирования и вентиляции является неосновным, не относящимся к IT-оборудованию элементом подсистемы ЦОД. Размещение элементов системы кондиционирования является для разных случаев уникальным решением, зависящим от того, где в итоге располагаются основные компоненты. Так, в случае дефицита места для установки окончательных и промежуточных (испаритель и теплообменный блок) элементов в машинном зале, обменный блок может быть вынесен за пределы машинного зала в отдельное помещение (вентиляционная или климатическая камера). Также имеют место случаи, когда в рабочей зоне ЦОД возникают постоянные зоны с повышенной тепловой нагрузкой, для вывода которой может быть дополнительно к общему контуру установлен дополнительный охладитель в место концентрации тепла (например, непосредственно в телекоммуникационную стойку или между стойками).

Конденсационный блок, расположенный на улице, также может быть представлен как отдельным блоком, так и батареей однотипных элементов.

Также немаловажным моментом является выбор технологии отвода тепла, используемой в рассматриваемом оборудовании. Данные технологии

отличаются способом отвода тепла от источника излучения (гермозоны): воздушная, жидкостная среды или их комбинация. Реализация таких решения может быть разнообразной и является уникальной для различных производителей оборудования (вендоров).

Характеристика «наличие (использование) приточно-вытяжной вентиляции» является неосновной характеристикой помещения рабочей зоны ЦОД, которая также дополнительно влияет на работу всей системы охлаждения. В некоторых случаях использование приточной вентиляции позволяет в большей или меньшей степени взять на себя нагрузку при охлаждении помещения. К таким случаям относятся сбой основной системы кондиционирования или использование внешнего холодного воздуха для дополнительного охлаждения (free-cooling).

На основании рассмотренных технических характеристик объекта охлаждения выбираются решения на базе конкретных технологий охлаждения и производят расчет технических характеристик (расчет необходимого количества компонентов каждой подсистемы) системы охлаждения конкретного объекта конкретному объекту.

#### **2.4 Расчет технических показателей мероприятия «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет модернизации системы охлаждения и вентиляции»**

Для рассматриваемого мероприятия выбрана одноконтурная схема системы охлаждения с фреоновым типом хладагента. В рабочей зоне машинного зала используются прецизионные кондиционеры шкафного типа со встроенным теплообменным блоком и фронтальным выходом охлажденного воздуха снизу (в помещении нет фальшпола, в котором можно организовать воздуховод). Кондиционеры расположены непосредственно в машинном зале. К кондиционерам подведены контуры циркуляции хладагента, непосредственно связанные с внешним конденсационным блоком,



расположенным на крыше здания ЦОДа. Для контроля работы все установки используется центральный контроллер, к которому подключены датчики температуры и влажности, а также консоли управления системой кондиционирования для отдельных помещений. Для охлаждения неосновных помещений (служба технической поддержки, щитовая) используются обычные кондиционеры. Для более эффективного охлаждения рабочей зоны ЦОДа используются офисные некапитальные перегородки, конфигурирующие помещение в изолированные зоны по типу горячей-холодный коридор. Для резервирования системы кондиционирования использована конфигурация N+1 для кондиционеров.

Определение всего генерируемого тепла в помещении находится по следующей формуле

$$N_{\text{общее}} = N_{IT\text{-оборудование}} + N_{\text{non\_IT-оборудование}} + N_{\text{помещение}} + N_{\text{окно}} + N_{\text{освещение}} + N_{\text{персонал}} + N_{\text{отопление}} + N_{\text{вентиляция}}, \quad (2.4)$$

где  $N_{\text{общее}}$ , Вт – общее количество тепла, генерируемого в результате работы ЦОДа;

$N_{IT\text{-оборудование}}$ , Вт – количество тепла, генерируемого ИТ-оборудованием, установленным в ЦОДе;

$N_{\text{non\_IT-оборудование}}$ , Вт – количество тепла, генерируемого вспомогательным оборудованием;

$N_{\text{помещение}}$ , Вт – количество тепла, выделяемого перекрытиями помещения;

$N_{\text{окно}}$ , Вт – количество тепла, выделяемого технологическими проходами (окнами);

$N_{\text{освещение}}$ , Вт – количество тепла, выделяемого электрическими осветителями;

$N_{\text{персонал}}$ , Вт – количество тепла, выделяемого сотрудниками;

$N_{\text{отопление}}$ , Вт – количество тепла, выделяемого системой отопления;

$N_{\text{вентиляция}}$ , Вт – количество тепла, выделяемого приточной вентиляцией ;

Определение тепла, выделяемого ИТ-оборудованием находится по следующей формуле

$$N_{\text{ИТ-оборудование}} = \sum_{i=0}^n N_{\text{ИТ-оборудование}(i)} , \quad (2.5)$$

где  $N_{\text{ИТ-оборудование}(i)}$ , Вт - количества тепла согласно паспортным значениям для каждой единицы ИТ-оборудования из всего перечня оборудования  $n$  .

В случаях, если в паспорте оборудования не указаны данные значения, то максимальное количество тепла, выделяемого ИТ-оборудованием определяется по формуле

$$N_{\text{ИТ-оборудование } i} = K \cdot U_{\text{Питание}} \cdot I_{\text{Питание}} = K \cdot P_{\text{ИТ-оборудование } i} , \quad (2.6)$$

где  $K$  – понижающий коэффициент для соответствующего класса оборудования (для ИТ-оборудования = 0,8...1,0);

$U_{\text{Питание}}$ , В – напряжение сети питания оборудования (как правило, 220 В) ;

$I_{\text{Питание}}$ , А – сила тока в линии питания оборудования (определяется опытным путем с помощью амперметр);

$P_{\text{ИТ-оборудование } i}$  , Вт – мощность потребления соответствующего ИТ-оборудования (находится в паспорте устройства или на блоке питания устройства).

Определение тепла, выделяемого устройствами, не относящегося к ИТ-оборудованию, находится по следующей формуле

$$N_{\text{non\_ИТ-оборудование}} = \sum_{i=0}^n N_{\text{non\_ИТ-оборудование}(i)} , \quad (2.7)$$

где  $N_{\text{non\_ИТ-оборудование}(i)}$  , Вт - количества тепла согласно паспортным значениям для каждой единицы устройств, не относящихся к ИТ-

оборудованию, из всего перечня оборудования  $n$ .

В случаях, если в паспорте оборудования не указаны данные значения, то максимальное количество тепла, выделяемого устройством, не относящихся к ИТ-оборудованию, определяется по формуле

$$N_{\text{non\_IT-оборудование } i} = K \cdot U_{\text{Питание}} \cdot I_{\text{Питание}} = K \cdot P_{\text{non\_IT-оборудование } i}, \quad (2.8)$$

где  $K$  – понижающий коэффициент для соответствующего класса оборудования (для non\_ИТ-оборудования = 0,2...0.3);

$U_{\text{Питание}}$ , В – напряжение сети питания оборудования (как правило, 220 В);

$I_{\text{Питание}}$ , А – сила тока в линии питания оборудования (определяется опытным путем с помощью амперметр);

$P_{\text{non\_IT-оборудование } i}$ , Вт – мощность потребления соответствующего non\_ИТ-оборудования (находится в паспорте устройства или на блоке питания устройства).

Определение тепла, выделяемого капитальными перекрытиями, находится по следующей формуле

$$N_{\text{помещение}} = K_{\text{Перекрытий}} \cdot S_{\text{Перекрытий}}, \quad (2.9)$$

где  $K_{\text{Перекрытий}}$  – коэффициент теплопритока для поверхностей помещения (равен 0.01 кВт/м<sup>2</sup>);

$S_{\text{Перекрытий}}$ , м<sup>2</sup> – суммарная площадь всех капитальных перекрытий, где работает система охлаждения.

Определение тепла, выделяемого технологическими проходами, находится по следующей формуле

$$N_{\text{окно}} = K_{\text{окно}} \cdot S_{\text{окно}}, \quad (2.10)$$

где  $K_{\text{окно}}$  - коэффициент теплопритока для поверхностей техпрохода (равен 0.1 кВт/м<sup>2</sup>);

$S_{\text{окно}}$ , м<sup>2</sup> – суммарная площадь всех поверхностей техпрохода в помещении, где работает система охлаждения.

Определение тепла, выделяемого элементами системы освещения, находится по следующей формуле

$$N_{\text{освещение}} = K_{\text{освещение}} \cdot P_{\text{освещение}}, \quad (2.11)$$

где  $K_{\text{освещение}}$  - коэффициент теплопритока для излучающих элементов освещения (равен 0,7 );

$P_{\text{освещение}}$ , Вт – суммарная площадь всех капитальных перекрытий, где работает система охлаждения.

Определение тепла, выделяемого сотрудниками из числа обслуживающего персонала, находится по следующей формуле

$$N_{\text{персонал}} = K_{\text{персонал}} \cdot Z_{\text{персонал}}, \quad (2.12)$$

где  $K_{\text{персонал}}$ , Вт/единицу – коэффициент теплопритока в расчете на единицу персонала, обслуживающего машинный зал (показывает мощность выделяющегося тепла при движении человека, равен 175 Вт);

$Z_{\text{персонал}}$ , единиц – количество сотрудников, обслуживающих машинный зал.

Определение тепла, выделяемого системой отопления, находится по следующей формуле

$$N_{\text{отопление}} = K_{\text{отопление}} \cdot S_{\text{помещение}}, \quad (2.13)$$

где  $K_{\text{отопление}}$  - коэффициент теплопритока для системы отопления (равен 0.1 кВт/м<sup>2</sup>);

$S_{\text{помещение}}$ , м<sup>2</sup> – площадь помещения по полу, где работает система

охлаждения.

Определение тепла, выделяемого приточной вентиляцией, находится по следующей формуле

$$N_{\text{вентиляция}} = S_{\text{вентиляция}} \cdot v_{\text{притока воздуха}} \cdot \Delta t \cdot C_{\text{воздух}}, \quad (2.14)$$

где  $S_{\text{вентиляция}}$ , м<sup>2</sup> – площадь сечения вводного отверстия вентиляции;

$v_{\text{притока воздуха}}$ , м/с – скорость входящего воздушного потока;

$\Delta t$ , °С - разность температур между требуемой температурой внутри машинного зала (как правило, нормированное значение температуры в машинном зале должно составлять 18 °С) и входящего через вентиляцию потока;

$C_{\text{воздух}}$ , Дж/кг – теплоемкость воздуха (равна 1200).

После нахождения общего количества тепла  $N_{\text{общее}}$ , генерируемого ЦОДом, выбирается тип системы охлаждения и число необходимых функциональных узлов этой системы. Выбор количества функциональных узлов необходимо производить исходя из условий резервирования. Если по условию технического задания не предъявляют особых требований по резервированию, то выбирается схема резервирования N+1, т.е. N-количество функциональных узлов, обеспечивающих охлаждение всего выделяемого тепла до нормированного значения + 1 функциональный узел в резерве.

На основании формул 2.4...2.14 определим максимальное значение выделяемого тепла  $N_{\text{общее}}$  при функционировании ЦОДа.

Согласно таблице 1.2 Максимальная мощность устанавливаемого в стойки IT-оборудования составляет 5000 Вт и общее число стоек после проведения мероприятий составит 19 единиц, тогда

$$N_{\text{IT-оборудование}} = 0,9 \cdot 19 \cdot 5000 = 85500 \text{ Вт} \quad (2.15)$$

Согласно таблице 1.2. Максимальная мощность устанавливаемого в стойки устройств, не относящихся к IT-оборудованию (источники ИБП и батареи ) составляет 15000 Вт и общее число стоек после проведения мероприятий составит 1 единицу , тогда

$$N_{\text{non\_IT-оборудование}} = 0,3 \cdot 1 \cdot 15000 = 4500 \text{ Вт} \quad (2.16)$$

Согласно таблице 1.2. Максимальная мощность тепла, выделяемого капитальными перекрытиями определяется размерами помещения ЦОДа, которое составляет 72 м<sup>2</sup> и высотой потолков 2.7 м , тогда

$$N_{\text{помещение}} = 0,01 \cdot 72 \cdot 2,7 = 1,944 \text{ Вт} \quad (2.17)$$

В помещении машинного зала отсутствуют окна, выходящие на улицу, тогда

$$N_{\text{окно}} = 0 \quad (2.18)$$

Согласно таблице 1.2. Максимальная мощность источников освещения в машинном зале ЦОДа после проведения мероприятий не изменится и составляет 1760 Вт, тогда

$$N_{\text{освещение}} = 0,7 \cdot 1760 = 1232 \text{ Вт} \quad (2.19)$$

В техподдержке, имеющие доступ в машинный зал, числится 2 человека, тогда

$$N_{\text{персонал}} = 175 \cdot 2 = 350 \text{ Вт} \quad (2.20)$$

Отопление во все сезоны в помещении ЦОДа не используется, тогда

$$N_{\text{отопление}} = 0 \quad (2.21)$$

Вентиляция работает в минимальном режиме только для обеспечения притока чистого воздуха (теплоемкость  $C = 1200$ ), тогда при заборе за пределами здания ЦОДа воздуха со средней температуре в  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  и поступлении его в помещение ЦОДа с нормированной температурой  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  за пределами здания ЦОДа через трубу сечением  $0,05\text{ м}^2$  со скоростью  $1\text{ м/с}$  получим следующее значение объема тепла, вырабатываемого вентиляцией

$$N_{\text{вентиляция}} = 0,05 \cdot 1 \cdot 25 - 18 \cdot 1200 = 420 \quad (2.22)$$

Полученные результаты выведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Сводные данные по объему выделяемого тепла ЦОДа

Обозначение	Расшифровка	Значение, Вт
$N_{\text{IT-оборудование}}$	количество тепла, генерируемого IT-оборудованием, установленным в ЦОДе	85500
$N_{\text{пом_оп_IT-оборудование}}$	количество тепла, генерируемого вспомогательным оборудованием	4500
$N_{\text{помещение}}$	количество тепла, выделяемого перекрытиями помещения	1,944
$N_{\text{окно}}$	количество тепла, выделяемого технологическими проходами (окнами)	0
$N_{\text{освещение}}$	количество тепла, выделяемого электрическими осветителями	1232
$N_{\text{персонал}}$	количество тепла, выделяемого сотрудниками	350
$N_{\text{отопление}}$	количество тепла, выделяемого системой отопления	0
$N_{\text{вентиляция}}$	количество тепла, выделяемого приточной вентиляцией	420
$N_{\text{общее}}$	общее количество тепла, генерируемого в результате работы ЦОДа	92003,94

Согласно таблице 2.2 общее максимальное количество генерируемой теплоты в процесс эксплуатации ЦОДа после проведения модернизации

инфраструктуры может составить 92 кВт.

Согласно рисунку 2.1 распределение оборудования представляет собой 4 ряда по 5 стоек в каждом, и, согласно таблице 1.8, планируется поэтапный ввод мощностей в эксплуатацию в течение 5 лет. При такой конфигурации и организации пространства по схеме «горячий-холодный» коридор необходимо установить минимум 5 прецизионных кондиционера (4 работают по постоянной схеме, 1 находится в холодном резерве).

Минимальное значение холодопроизводительности прецизионного кондиционера будет определять 4-мя единицами и составит

$$92000 \text{ кВт} / 4 \text{ единицы} = 23000 \text{ Вт} \quad (2.23)$$

Тогда для обеспечения отвода тепла потребуется 4 прецизионных кондиционеров с минимальной холодопроизводительностью 23 кВт. Также следует учитывать, что для организации резервирования системы кондиционирования по схеме N+1 требуется дооснащение дополнительное единицей прецизионного кондиционера, который будет находится в холодном резерве.

Т.к. расположение основных блоков системы охлаждения выбрано на незначительном расстоянии (максимальная длина контура охлаждения от кондиционера до конденсатора составляет не более 20 м), а также увеличение мощности ЦОДа сверх планируемого не предусмотрено, то для системы охлаждения выбраны прецизионные кондиционеры с фреоновым типом хладагента.

Согласно модельному ряду прецизионных кондиционеров предлагается модель ESCO UNI-COOL-IN [29] холодильной мощностью 24 кВт. Данная модель прецизионного кондиционера позволяет поддерживать определенный КПД всей системы как в малонагруженных режимах, так и в режиме полной загрузки. Максимальная мощность потребления электроэнергии составляет 8 кВт. Форм-фактор данной модели позволяет устанавливать данное



устройство в один ряд с телекоммуникационными стойками. Забор воздуха производится сверху, выброс холодного воздуха вниз и вбок.

Для равномерного износа всех 5 кондиционеров реализована схема сменного режима работы данных устройств, т.е. в месяц необходимыми настройками корректируется работа центрального управляющего контроллера системы кондиционирования так, чтобы необходимое количество прецизионных за отчетных месяцев отработало примерно одинаковый период времени.

На рисунке 2.7 представлены сравнения технических данных о уже используемых системах кондиционирования и вновь вводимых в эксплуатацию в результате реализации проекта



Рисунок 2.7 – Сравнение агрегатов систем кондиционирования до (а) и после (б) мероприятия

Таблица 2.3 - Сводные данные об объеме потребления электроэнергии до и после проведения мероприятий

№ п/п	Подсистема	Доля исп-польз. эл.энергии до меропр.	Мощность, Вт до мероприятий	Доля исп-польз. эл.энергии после меропр.	Мощность, Вт после мероприятий
1	Освещение	2,19%	1760	0,93%	1100
2	Пожарная и охранная сигнализация	0,01%	100	0,17%	200
3	Кондиционирование и нагрев воздуха в машинном зале	18,64%	15000	8,45%	32000
4	Кондиционирование и нагрев воздуха в служебных помещениях	12,42%	10000	4,23%	5000
5	IT-оборудование в машинном зале	62,14%	50000	84,53%	100000
6	Офисное IT-оборудование	4.47%	3600	1,69%	2000
	Итого	100,00%	80460	100,00%	140300

По рассчитанным техническим данным определим значения показателей PUE и DCIE на начальном и конечном этапах реализации проекта (см. таблица 2.4)

На основании исходных и расчётных технических данных о работе ЦОДа сводные данные о показателях PUE и DCIE представлены в таблице 2.4

Таблица 2.4- Показатели PUE и DCIE до и после проведения мероприятий

Параметр	До мероприятий	После мероприятий
PUE	1,61	1,40
DCIE	62,14%	71,27%

Согласно полученным данным делаем следующие выводы :

произошло значительное уменьшение коэффициента PUE с 1.61 до 1.40;  
увеличился коэффициент DCIE с 62% до 71 % ;

Категория по эффективности PUE – Оптимальная организация (Gold)

## 2.5 Выводы по второму разделу

Модернизация IT-инфраструктуры ЦОДа производилось за счет увеличения коэффициента загрузки оборудования с использованием технологии виртуализации серверов;

Модернизация системы электроснабжения производилось за счет подготовки подсистемы электроснабжения и резервного питания к работе с расчетной нагрузкой в рабочем и аварийном режимах;

Модернизация системы кондиционирования и вентиляции производилось за счет выбора технологии охлаждения и расчет необходимого объема ее элементов на основании суммарной выделяемой тепловой мощности всего ЦОДа.

В качестве основного параметра оценки энергоэффективности ЦОДа выбран коэффициент эффективности использования энергии (Power usage effectiveness (PUE)), равный отношению суммарной мощности всех потребителей электроэнергии ЦОДа к суммарной мощности потребления IT-оборудованием.

В результате оптимизации IT-инфраструктуры на первом этапе получены следующие качественные показатели:

- повысился коэффициент загрузки оборудования до 92 %, в результате чего были высвобождено IT-оборудование, которое в последующих этапах использовалось как резерв;
- определены технические параметры IT-оборудования для поиска соответствующих поставщиков;
- определены технические параметры оборудования для системы кондиционирования и вентиляции для поиска соответствующих поставщиков;
- определены технические параметры оборудования для системы электроснабжения и резервного питания для поиска соответствующих поставщиков;

- была определена модель масштабирования основной нагрузки ЦОДа ;
- определен план развития инфраструктуры на основании выбранных решений и технологий на долгосрочный период (5 лет), предусматривающий оперативные корректировки на случай значительного изменения конъюнктуры рынка услуг ЦОД к в сторону увеличения спроса, так и в сторону уменьшения.

На последующих этапах реализации мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа производится только масштабирование за счет приобретения ИТ-оборудования (телекоммуникационных стоек) и прецизионных кондиционеров с фреоновым типом хладагента в соответствии с графиком ввода мощностей.

Таким образом максимальная емкость ИТ-оборудования ЦОДа, оценивается в 20 единиц серверных стоек, для эффективной работы которых потребуются работа системы кондиционирования и вентиляции из 5-ти прецизионных кондиционеров, работающих в режиме 4+1 (4 кондиционера находятся в рабочем режиме + 1 в горячем резерве). При этом максимальная вводная мощность после реализации проекта не превышает уже согласованную.

В результате проведенных мероприятий по «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет оптимизации ИТ-инфраструктуры» и «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет модернизации системы охлаждения и вентиляции» удалось значительно уменьшить коэффициент эффективности использования энергии PUE с 1.61 до 1.40, увеличить коэффициент эффективности использования оборудования DCIE с 62% до 71 %, повысить категорию по эффективности ЦОДа с «удовлетворительная организация ЦОДа (Bronze)» до «оптимальная организация (Gold)» по шкале «Green Grid». Все это является ожидаемым положительным результатом, позволяющим осуществлять экономию значительной доли используемой электроэнергии.

### **3 Расчет экономических показателей проекта**

#### **3.1 Особенности оценки инвестиций в инфраструктуру ЦОДа**

В ходе определения экономических показателей от реализации мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа следует учитывать следующие исходные данные:

Все инвестируемые средства идут на модернизацию IT-инфраструктуры и текущие расходы, необходимые для функционирования ЦОДа.

Решения, которые давали аналогичный результат путем масштабирования используемых (на момент реализации проекта, 2018 г) технологий в ЦОДе, не рассматривались ввиду того, что используемые технологии не позволяли произвести модернизацию IT-инфраструктуры для обеспечения бесперебойной работы планируемых объемов вводимых мощностей. Поэтому оценка экономических показателей сводится к расчету срока окупаемости капитальных вложений и регулярных затрат.

Ввиду наличия и прогнозирования на 10 лет вперед устойчивого спроса на услуги ЦОД маркетинговым отделом ЦОДа планируется получение выручки в среднем 90000 рублей/месяц с одной стойки IT-оборудования при ее максимальной нагрузке.

Согласно маркетинговому отделу ЦОДа ввод в эксплуатацию новой стойки IT-оборудования планируется каждые 3 месяца.

Ввод в эксплуатацию новых стоек осуществляется из «горячего» (стойка полностью готова к развертыванию рабочей нагрузки) резерва (уже введенных в эксплуатацию, но не выполняющих рабочую нагрузку). На каждую использованную из «горячего» резерва стойку имеется дополнительная стойка в «холодном» (полностью готова к эксплуатации, но с отключенным внешним питанием) резерве.

В связи с оптимизацией IT-инфраструктуры на начальном этапе удалось перераспределить рабочую нагрузку с 10 используемых стоек на 3 стойки.

Таким образом в «холодный» резерв переведено 7 стоек, которые также можно использовать при возникновении необходимости.

Согласно таблице 1.8, в результате анализа существующей инфраструктуры ЦОДа и прогнозам развития IT-отрасли сформирован план-график ввода мощностей ЦОД.

Руководством ЦОДа после предварительной сметы принято решение поэтапной модернизации инфраструктуры ЦОДа: в начальном этапе производится модернизация всех подсистем, не связанных напрямую с IT-оборудованием, а также ревизия и ввод существующего IT-оборудования в качестве резерва и дооснащение необходимым IT-оборудованием и прочими подсистемами в объеме достаточном для реализации первого этапа плана развития. На следующих этапах производится только масштабирование мощностей IT-оборудования и системы кондиционирования. Каждый новый этап переводится в активный режим за 2 месяца до планируемого исчерпания резерва IT-оборудования. Такой подход позволит на первоначальном этапе не привлекать все планируемые инвестиционные средства, а в зависимости от постоянного меняющегося законодательства и конъюнктуры рынка IT-услуг корректировать очередные этапы внедрения решений.

Согласно произведенным расчётам технических показателей в разделах 2.1 и 2.3, определены технические данные для оценки затрат на их реализацию.

Организациями, занимающимися внедрением соответствующих подсистем, в предоставленные сметы включен полный набор расходов, включая само оборудование, пуско-наладочные работы, расходные материалы и обслуживание в расчете на единицу оборудования.

С вендорами (производителями оборудования) заключен долгосрочный контракт с фиксацией стоимости оборудования и пуско-наладочных работ в течение 5 лет.

Расчет окупаемости решений производится по динамическому способу с учетом ставки дисконта равной 10 %.

Согласно динамическому способу [29] расчета срока окупаемости учитывается изменение стоимости денег. Для этого вводится параметр ставка дисконтирования, которая влияет на чистую прибыль в зависимости от срока реализации проекта.

Расчет коэффициента дисконта осуществляется согласно следующей формуле

$$KD = \frac{1}{1+d^t}, \quad (3.1)$$

где  $KD$ - коэффициент дисконта;

$d$  – ставка дисконта (как правило, для инвестиционных проектов равна 10% или 0.1 за один год);

$t$  – номер периода с момента реализации проекта (как правило, равен порядковому номеру года реализации проекта).

Общая дисконтированная выручка за рассматриваемый период составит

$$DDP = \sum_{t=1}^n (CF_t \cdot KD_t) = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+d)^t}, \quad (3.2)$$

где  $DDP$ , руб- суммарная дисконтированная выручка за соответствующий период ;

$CF_t$ , руб – приток денежных средств в период  $t$  ;

$KD_t$  – коэффициент дисконта для периода  $t$  (см. формулу 3.1);

$d$  – ставка дисконта (как правило для инвестиционных проектов равна 10% или 0.1);

$t$  – номер периода с момента реализации проекта (как правило, равен порядковому номеру года реализации проекта).

Значение притока денежных средств  $CF_t$  определяется по следующей формуле

$$CF_t = \text{Доход} - \text{Издержки}, \quad (3.3)$$

где Доход , руб - сумма денежных средств, полученная от деятельности организации в соответствующий период;

Издержки, руб – сумма денежных средств, затрачиваемая на регулярные расходы (оплата труда, ресурсы и пр.).

Значение  $t$ , при котором происходит превышение значения  $DDP$  по отношению к стоимости капитальных вложений считается сроком окупаемости проекта с учетом дисконтирования.

Расчет экономических показателей представлен ниже.

### **3.2 Расчет экономических показателей мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа**

Определение экономических показателей в случае мероприятий, связанных с модернизацией оборудования сводится к определению капитальных затрат на проведение модернизации и определению точки (периода) окупаемости за счет экономии ресурсов в результате эксплуатации нового (или модернизированного оборудования).

На основании данных, полученных в таблице 1.8 составим развернутый план реализации проекта. Все вычисления произведем с помощью функционала ПО Microsoft Excel. Механизм расчета и результаты представлены в файле «Экономический расчет.xls» в приложении диске к данной диссертации. Ввиду объемности полученных сводных данных указанная таблица размещена в приложении в соответствующем масштабе представлено в таблице А.1. В более удобной для восприятия форме аналогичные данные представлены в таблице 3.1.

Все капитальные вложения, капитальные и текущие затраты представлены в разрезе хронологической цепочки реализации проекта в таблице 3.1. В данной таблице отражены как промежуточные расчетные данные, так и итоговые расчетные данные. Для расчета стоимости потребленной электроэнергии использован тариф 3,72 руб/кВт\*ч, что



соответствует категории НН потребителей (до 1кВт), не относящихся к населению для Самарской области [30]

Для определения точки окупаемости и построения аналитических графиков выберем необходимые поля таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Расчетные данные о величине прибыли и издержек

Месяц по порядку	Число используемых стоек, ед	Число используемых кондиционеров, ед	Доля нагрузки в зависимости от времени года, %	Расходы на ЭЭ, руб	Итого (издержки), руб	Денежный поток, CF, руб	Капитальные затраты, руб	Суммарные капитальные затраты, IС, руб	Дисконтированный денежный поток, руб	Дисконтированный денежный поток с нарастающим итогом, руб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4	1	0,30	70 513,21	290 513,21	69 486,79	4 500 000,00	4 500 000,00	63 169,81	63 169,81
2	4	1	0,30	70 513,21	290 513,21	69 486,79	0,00	4 500 000,00	63 169,81	126 339,61
3	4	1	0,35	71 729,33	291 729,33	68 270,67	0,00	4 500 000,00	62 064,25	188 403,86
4	5	1	0,45	87 554,89	307 554,89	142 445,11	870 000,00	5 370 000,00	129 495,55	317 899,41
5	5	1	0,65	92 419,35	312 419,35	137 580,65	0,00	5 370 000,00	125 073,32	442 972,73
6	5	1	0,80	96 067,69	316 067,69	133 932,31	0,00	5 370 000,00	121 756,64	564 729,38
7	6	2	0,90	133 783,31	353 783,31	186 216,69	0,00	5 370 000,00	169 287,90	734 017,27
8	6	2	0,90	133 783,31	353 783,31	186 216,69	0,00	5 370 000,00	169 287,90	903 305,17
9	6	2	0,85	131 351,09	351 351,09	188 648,91	0,00	5 370 000,00	171 499,01	1 074 804,18
10	7	2	0,70	137 447,73	357 447,73	272 552,27	0,00	5 370 000,00	247 774,79	1 322 578,97
11	7	2	0,45	125 286,58	345 286,58	284 713,42	0,00	5 370 000,00	258 830,38	1 581 409,35
12	7	2	0,30	117 989,90	337 989,90	292 010,10	0,00	5 370 000,00	265 463,73	1 846 873,08
13	8	2	0,30	131 383,23	401 383,23	318 616,77	0,00	5 370 000,00	263 319,64	2 110 192,72
14	8	2	0,30	131 383,23	401 383,23	318 616,77	0,00	5 370 000,00	263 319,64	2 373 512,37
15	8	2	0,35	133 815,46	403 815,46	316 184,54	0,00	5 370 000,00	261 309,54	2 634 821,91
16	9	2	0,45	152 073,25	422 073,25	387 926,75	0,00	5 370 000,00	320 600,62	2 955 422,53
17	9	2	0,65	161 802,17	431 802,17	378 197,83	0,00	5 370 000,00	312 560,19	3 267 982,72
18	9	2	0,80	169 098,85	439 098,85	370 901,15	0,00	5 370 000,00	306 529,87	3 574 512,59
19	10	2	0,90	187 356,64	457 356,64	442 643,36	870 000,00	6 240 000,00	365 820,96	3 940 333,55
20	10	2	0,90	187 356,64	457 356,64	442 643,36	1 500 000,00	7 740 000,00	365 820,96	4 306 154,51
21	10	2	0,85	184 924,41	454 924,41	445 075,59	0,00	7 740 000,00	367 831,06	4 673 985,57
22	11	3	0,70	208 046,66	478 046,66	511 953,34	0,00	7 740 000,00	423 101,93	5 097 087,50
23	11	3	0,45	189 804,94	459 804,94	530 195,06	1 500 000,00	9 240 000,00	438 177,73	5 535 265,23

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	11	3	0,30	178 859,91	448 859,91	541 140,09	0,00	9 240 000,00	447 223,21	5 982 488,45
25	12	3	0,30	192 253,24	512 253,24	567 746,76	0,00	9 240 000,00	426 556,54	6 409 044,99
26	12	3	0,30	192 253,24	512 253,24	567 746,76	1 500 000,00	10 740 000,00	426 556,54	6 835 601,53
27	12	3	0,35	195 901,59	515 901,59	564 098,41	0,00	10 740 000,00	423 815,49	7 259 417,01
28	13	3	0,45	216 591,61	536 591,61	633 408,39	0,00	10 740 000,00	475 889,10	7 735 306,11
29	13	3	0,65	231 184,98	551 184,98	618 815,02	1 500 000,00	12 240 000,00	464 924,88	8 200 231,00
30	13	3	0,80	242 130,01	562 130,01	607 869,99	0,00	12 240 000,00	456 701,72	8 656 932,71
31	14	3	0,90	262 820,03	582 820,03	677 179,97	0,00	12 240 000,00	508 775,33	9 165 708,05
32	14	3	0,90	262 820,03	582 820,03	677 179,97	1 500 000,00	13 740 000,00	508 775,33	9 674 483,38
33	14	3	0,85	259 171,69	579 171,69	680 828,31	870 000,00	14 610 000,00	511 516,39	10 185 999,77
34	15	3	0,70	261 619,99	581 619,99	768 380,01	0,00	14 610 000,00	577 295,27	10 763 295,04
35	15	3	0,45	243 378,27	563 378,27	786 621,73	1 500 000,00	16 110 000,00	591 000,55	11 354 295,59
36	15	3	0,30	232 433,24	552 433,24	797 566,76	0,00	16 110 000,00	599 223,71	11 953 519,30
37	16	4	0,30	253 123,26	623 123,26	816 876,74	0,00	16 110 000,00	557 937,80	12 511 457,10
38	16	4	0,30	253 123,26	623 123,26	816 876,74	1 500 000,00	17 610 000,00	557 937,80	13 069 394,91
39	16	4	0,35	257 987,72	627 987,72	812 012,28	0,00	17 610 000,00	554 615,31	13 624 010,22
40	17	4	0,45	281 109,97	651 109,97	878 890,03	0,00	17 610 000,00	600 293,72	14 224 303,94
41	17	4	0,65	300 567,80	670 567,80	859 432,20	1 500 000,00	19 110 000,00	587 003,76	14 811 307,70
42	17	4	0,80	315 161,17	685 161,17	844 838,83	0,00	19 110 000,00	577 036,29	15 388 343,98
43	18	4	0,90	338 283,42	708 283,42	911 716,58	0,00	19 110 000,00	622 714,69	16 011 058,67
44	18	4	0,90	338 283,42	708 283,42	911 716,58	1 500 000,00	20 610 000,00	622 714,69	16 633 773,36
45	18	4	0,85	333 418,96	703 418,96	916 581,04	0,00	20 610 000,00	626 037,18	17 259 810,54
46	19	4	0,70	332 218,92	702 218,92	1 007 781,08	0,00	20 610 000,00	688 328,04	17 948 138,58
47	19	4	0,45	307 896,63	677 896,63	1 032 103,37	1 500 000,00	22 110 000,00	704 940,49	18 653 079,07
48	19	4	0,30	293 303,26	663 303,26	1 046 696,74	0,00	22 110 000,00	714 907,96	19 367 987,03
49	20	4	0,30	306 696,59	676 696,59	1 123 303,41	0,00	22 110 000,00	697 483,04	20 065 470,07
50	20	4	0,30	306 696,59	676 696,59	1 123 303,41	0,00	22 110 000,00	697 483,04	20 762 953,11
51	20	4	0,35	311 561,05	681 561,05	1 118 438,95	0,00	22 110 000,00	694 462,59	21 457 415,70
52	20	4	0,45	321 289,96	691 289,96	1 108 710,04	0,00	22 110 000,00	688 421,70	22 145 837,41
53	20	4	0,65	340 747,80	710 747,80	1 089 252,20	0,00	22 110 000,00	676 339,92	22 822 177,33
54	20	4	0,80	355 341,17	725 341,17	1 074 658,83	0,00	22 110 000,00	667 278,58	23 489 455,91
55	20	4	0,90	365 070,09	735 070,09	1 064 929,91	0,00	22 110 000,00	661 237,69	24 150 693,60
56	20	4	0,90	365 070,09	735 070,09	1 064 929,91	0,00	22 110 000,00	661 237,69	24 811 931,29
57	20	4	0,85	360 205,63	730 205,63	1 069 794,37	0,00	22 110 000,00	664 258,14	25 476 189,43
58	20	4	0,70	345 612,25	715 612,25	1 084 387,75	0,00	22 110 000,00	673 319,47	26 149 508,90
59	20	4	0,45	321 289,96	691 289,96	1 108 710,04	0,00	22 110 000,00	688 421,70	26 837 930,61
60	20	4	0,30	306 696,59	676 696,59	1 123 303,41	0,00	22 110 000,00	697 483,04	27 535 413,65

### Комментарии к таблице 3.1 :

- Выручка ЦОД на начальном этапе уже присутствовала. Данная прибыль обеспечивается существующими клиентами, чьи информационные ресурсы были перенесены в ходе оптимизации IT-инфраструктуры;
- На начальном этапе указаны значительные капитальные затраты. Данные затраты освоены на модернизацию подсистем электропитания, телекоммуникационных линий связи, приобретение 2-х прецизионных кондиционеров (включая пусконаладочные работы), конфигурация помещения по принципу горячий-холодный коридор. На данном этапе подготовлена платформа для масштабирования ресурсов при исчерпании резерва существующих стоек.
- Согласно плану увеличения потребителей услуг резерв из существующих 10-ти стоек будет исчерпан в районе 19 месяца реализации проекта. С этого момента раз в три месяца планируется приобретение дополнительной стойки с IT-оборудованием, соответствующих требуемым стандартам.
- Согласно плану, на каждые 5 стоек зарезервирован один прецизионный кондиционер. Приобретение данной позиции ввиду длительных сроков поставок и ввода в эксплуатацию осуществляется за 2-3 месяца до возникновения в его фактическом использовании.
- Реальная планируемая нагрузка на систему кондиционирования циклически меняется с периодом в 12 месяце. Это связано с сезонными климатическими особенностями в месте расположения ЦОДа. Это также значительно влияет на ежемесячные затраты электроэнергии (см. график 3.1) как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения объема потребления при нарастающей нагрузке (увеличении числа стоек).

Поля в таблице 3.1 имеют следующие назначения:

- «Месяц по порядку» - является условной отметкой времени с интервалом в один месяц для которого определены (см. ниже) количественные значения соответствующих показателей;
- «Число используемых стоек, ед» - показывает число уже введенных в эксплуатацию стоек оборудования. Предполагается, что они загружены потребителями до максимального расчетного значения (5000 Вт);
- «Число используемых кондиционеров, ед» - показывает число используемых в соответствующий момент времени прецизионных кондиционеров, обеспечивающих штатные значения температуры и влажности внутри ЦОДа;
- «Доля нагрузки в зависимости от времени года, %» - показывает ожидаемую нагрузку системой кондиционирования и вентиляции на электросистему ЦОДа в зависимости от времени года. Данные показатели получены опытным путем для исследуемого ЦОДа в результате многолетнего сбора статистической информации о режимах работы выведенной из эксплуатации системы кондиционирования;
- «Расходы на ЭЭ, руб» - показывает в денежном выражении ожидаемые расходы электроэнергии на работу уже введенного в эксплуатацию оборудования ЦОДа;
- «Итого (издержки), руб» - показывает в денежном выражении ожидаемые полные издержки, необходимые для обеспечения работоспособности всей организации. В указанную величину входят все расходы на электроэнергию, заработную плату, текущие расходы, включая расходы на техобслуживание критичных подсистем и элементов инфраструктуры.
- «Денежный поток, CF, руб» - показывает в денежном выражении ожидаемый финансовый поток. Данный показатель определяется как произведение числа уже введенных в эксплуатацию стоек IT-

оборудования на приведенную прибыль с одной стойки. Приведенная прибыль с одной стойки представляет собой некую среднюю величину денежных средств, полученных за реализацию всех аппаратных и программных мощностей размещенного в стойке оборудования. Данная величина предоставлена отделом маркетинга ЦОДа и составляет 90000 руб. В реальных условиях данная величина может отклоняться от указанного значения как в большую так и меньшую сторону в зависимости от реального количества используемых клиентами услуг;

- «Капитальные затраты, руб» - отражает факт и объем освоения на данном временном промежутке инвестиционных средств. Как правило, наличие ненулевого значения указанной величины свидетельствует о факте приобретения очередного комплекта оборудования;
- «Суммарные капитальные затраты, IS, руб» - отражает суммарную накопленную величину освоенных инвестиционных средств с начала реализации проекта;
- «Дисконтированный денежный поток, руб» - отражает величину денежных средств, оставшуюся от выручки после покрытия текущих издержек с поправкой на коэффициент дисконта;
- «Дисконтированный денежный поток с нарастающим итогом, руб» - отражает накопительную величину всех значений дисконтированного денежного потока. Превышение текущего значения данной величины значения «суммарных капитальных затрат» свидетельствует о факте прохождения точки окупаемости проекта.

На основании данных, представленных в таблице 3.1, определены и интерпретированы в виде графиков некоторые статистические данные (см. рисунки 3.1...3.4), позволяющие дать экономическую оценку всего проекта.

На рисунке 3.1 представлены графики, отражающие плановый ввод в эксплуатацию основного оборудования ЦОД (IT-оборудование и система кондиционирования). По горизонтали показана временная шкала, соответствующая отчетному месяцу реализации проекта, а по вертикали

совмещенную шкалу, отражающую число единиц введенного в эксплуатацию оборудования (стоек с IT-оборудованием и прецизионных кондиционеров), а также долю нагрузки на систему кондиционирования в зависимости от времени года. Здесь видно, что каждые три месяца в эксплуатацию вводится дополнительно стойка оборудования, причем на начальном этапе уже присутствуют парк IT-оборудования в количестве 4 единиц. Данные начальный объем оборудования является результатом оптимизации IT-инфраструктуры используемого на момент начала мероприятий, в результате которого из 10 используемых стоек вся нагрузка перераспределена на 4 стойки. Оставшееся оборудование (6 стоек) переведено в резерв и переводится из него обратно в работу при необходимости в процессе масштабирования объема используемых ресурсов. На данном рисунке можно наблюдать, что дополнительный прецизионный кондиционер вводится в эксплуатацию в расчете на 5 стоек оборудования.

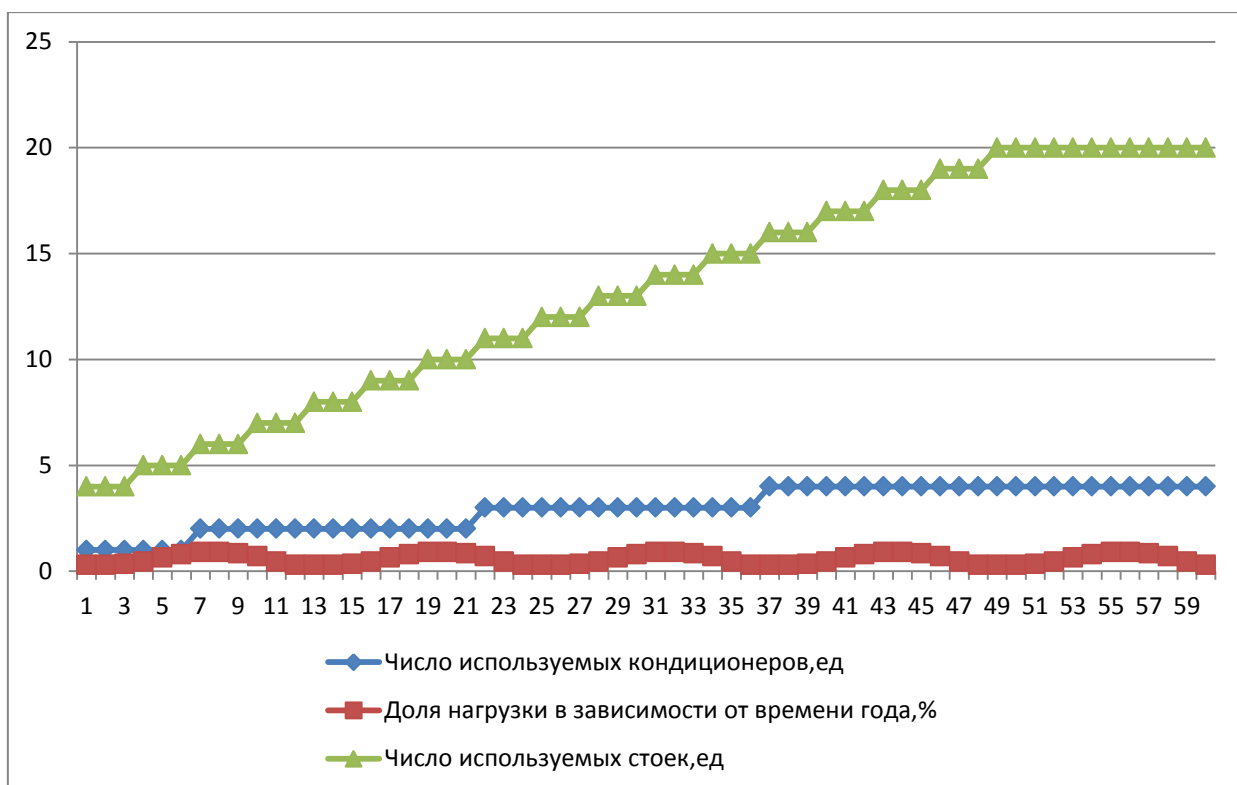


Рисунок 3.1 – Сводные данные о количестве используемого оборудования большой мощности

Также на рисунке 3.1 показана регулярная периодическая нагрузка на

систему кондиционирования с периодом 12 месяцев, отражающая сезонные колебания объема потребления электроэнергии в зависимости от климатических факторов. В холодное время года система кондиционирования работает с меньшей нагрузкой, т.к. значительная часть выделяемого ИТ-оборудованием тепла компенсируется охлаждением с помощью внешнего воздуха, поступающего через систему вентиляции.

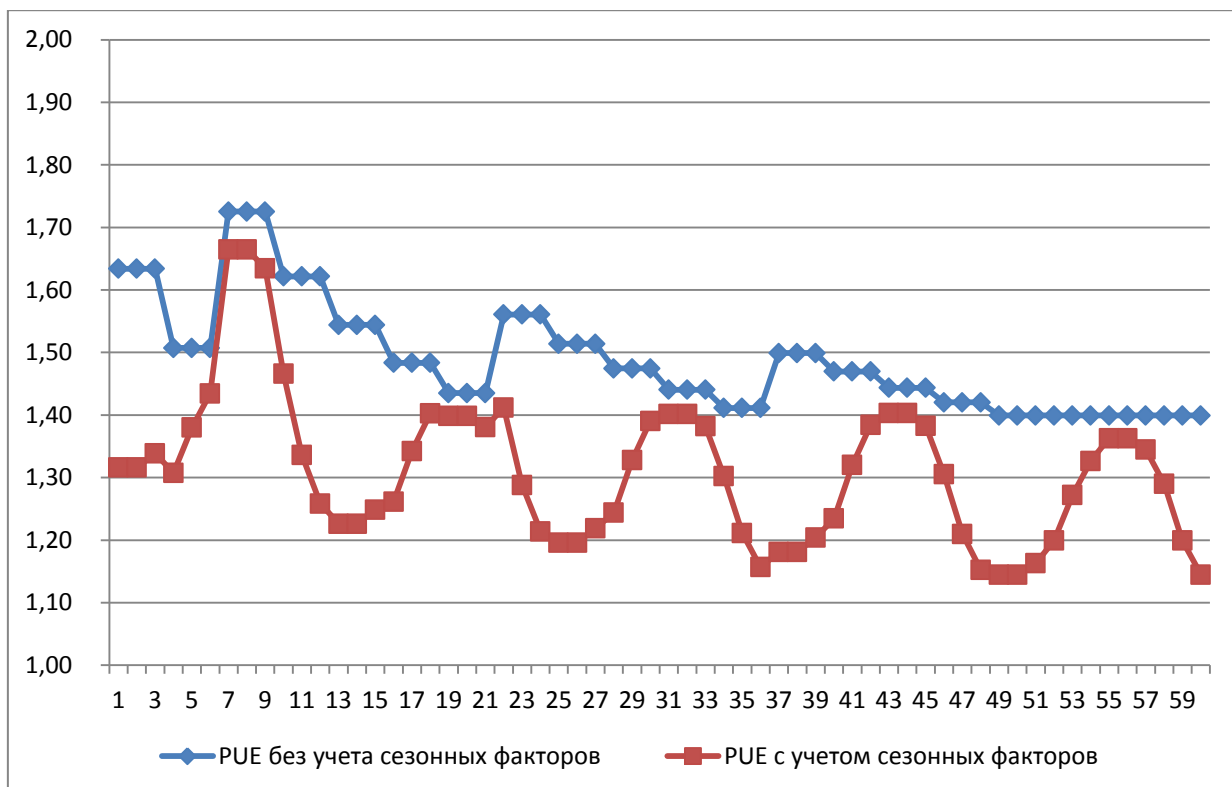


Рисунок 3.2 – Значение PUE с учетом и без учета влияния сезонных факторов

На рисунке 3.2 показана зависимость показателя PUE от влияния сезонных факторов на работу ЦОДа. Как было показано на рисунке 3.1 в холодное время года на систему кондиционирования расходуется значительно меньше электроэнергии для поддержания нормированных значения внутри машинного зала ЦОДа. Увеличение значения на графике «PUE без учета сезонных факторов» связано с вновь вводимым в эксплуатацию прецизионными кондиционерами, не относящимся к ИТ-оборудованию. Уменьшение значения на графике «PUE без учета сезонных факторов»

связано с вновь вводимым в эксплуатацию стойками, относящимся к IT-оборудованию. График «PUE с учета сезонных факторов» отражает коррелированные показания значений из графика «PUE без учета сезонных факторов» с учетом коэффициента нагрузки оборудования системы кондиционирования в соответствующие временные промежутки. На графике «PUE с учета сезонных факторов» уже явно не выражено влияние вновь вводимого оборудования, но показания PUE всегда ниже значений графика «PUE без учета сезонных факторов»

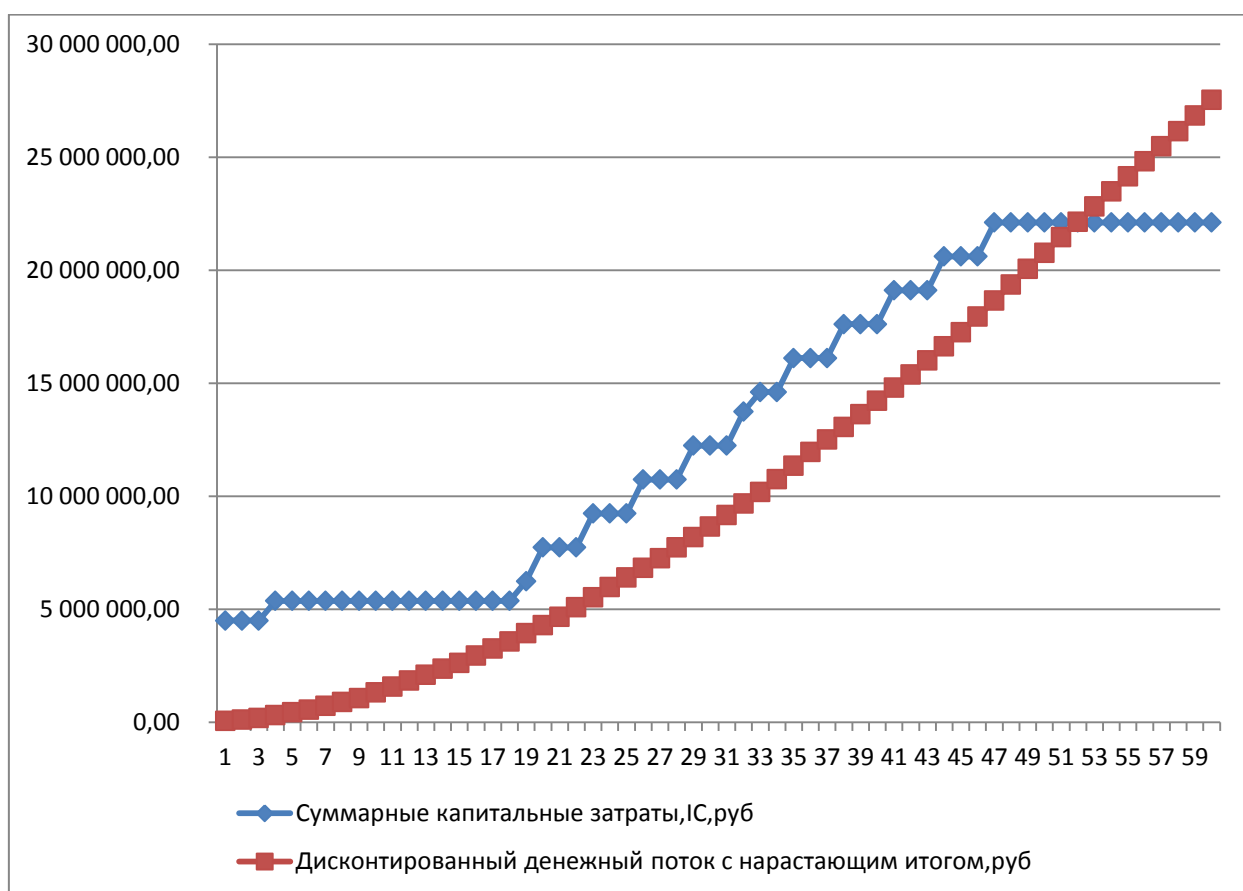


Рисунок 3.3 – График окупаемости инвестиций с учетом дисконтированного потока денежных средств

На рисунке 3.3. показаны зависимости, отражающие изменение суммарного показателя капитальных затрат на проведение мероприятий и изменение суммарного потока денежных средств, поступающих от реализации услуг ЦОДа с учетом их дисконта в 10% в год. На вертикальной оси отражены значения денежных потоков в рублях. Здесь видно, что точка окупаемости (суммарный дисконтированный денежный поток стал больше



суммарных капитальных затрат) находится в районе 4 года 4 месяца, что является приемлемым результатом для инвестиционного проекта.

Также на рисунке 3.3 видно, что освоение инвестиций на начальном этапе имеет значительную величину, но потом в течение примерно 16 месяцев значительно не увеличивается. Это связано с тем, что реализация начального этапа обеспечило необходимую нишу для развертывания услуг новым клиентам ЦОДа за счет оборудования находящегося в резерве. В случае неизменной конъюнктуры рынка освоения инвестиционных средств (приобретение нового оборудования (IT-оборудование и прецизионные кондиционеры) будут реализовываться в соответствии с графиком. В противном случае возможна корректировка плана внедрения, как в сторону ускорения реализации плана, например, в связи со значительным увеличением объема оказываемых услуг, так и в сторону замедления, в случае снижения спроса на услуги ЦОДа.

На рисунке 3.4. показана структура денежных потоков от реализации услуг ЦОДа и , связанных с обеспечением его функционирования, издержек, в том числе и расходы на электроэнергию.

Как видно на рисунке 3.4. при стабильном увеличении объема оказываемых услуг растут и издержки ЦОДа. Здесь можно наблюдать, что практически половина объема всех издержек ЦОДа связана с затратами на электроэнергию.

Полученные экономические показатели результатов реализации мероприятий по повышению энергоэффективности показали приемлемые значения. Использование в расчетах дисконтированного метода расчет окупаемости инвестиций дополнительно повышает оценку результатов планирования по сравнению с методом без дисконтирования.

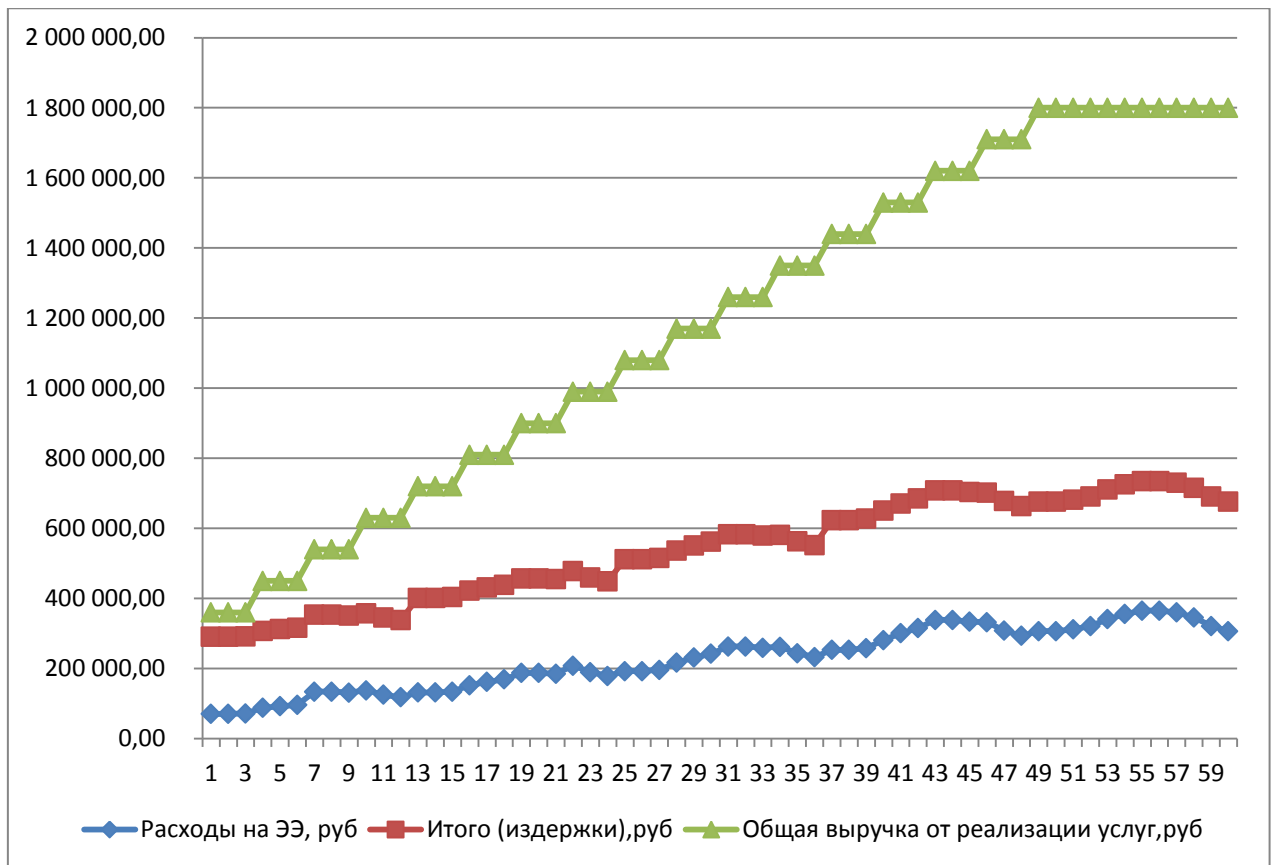


Рисунок 3.4 – Зависимость издержек и объема оказываемых услуг

В реальных условиях энергопотребление ЦОДа в целом и его подсистем в частности может отличаться как в большую, так и в меньшую сторону. Во-первых, это связано с динамически меняющейся нагрузкой на систему кондиционирования в зависимости от климатических условий, которая является одним из основных потребителей электроэнергии, что вызовет дополнительную экономию из-за временного сокращения издержек. Во-вторых, методика и средства расчета позволяют с точностью до одного месяца получать оперативные данные путем корректировки реальных показателей объема используемого и вновь вводимого оборудования и реального объема реализуемых услуг (получаемых денежных средств).

### 3.3 Выводы по третьему разделу

С экономической стороны рассчитан период окупаемости всего проекта с учетом дисконта 10 % , который составил 4 года 4 месяца, что также является для инвестиционного проекта в IT-сфере достаточно хорошим результатом.

В реальных условиях энергопотребление ЦОДа в целом и его подсистем в частности может отличаться как в большую, так и в меньшую сторону. Во-первых, это связано с динамически меняющейся нагрузкой на систему кондиционирования в зависимости от климатических условий, которая является одним из основных потребителей электроэнергии. Во-вторых, методика и средства расчета позволяют с точностью до одного месяца получать оперативные данные путем корректировки реальных показателей объема используемого и вновь вводимого оборудования, реального объема реализуемых услуг (получаемых денежных средств).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В связи планом развития существующей ИТ-инфраструктуры рассматриваемого ЦОДа, составленного по результатам маркетинговых исследований перспектив увеличения спроса на ИТ-услуги, нормативного законодательства и развитием информационных технологий, было принято решение о расширении вычислительных мощностей.

Для определения направлений развития подсистем ЦОДа и максимальной емкости его ИТ-инфраструктуры проведен аудит существующих параметров на основании исследования материалов и технической документации, предоставленной отделом маркетинга, а также техническими решениями для каждой основной подсистемы ЦОДа (ИТ-инфраструктура, электроснабжение и бесперебойной питание, кондиционирование и вентиляция).

Результатом аудита стало следующие решения: на первом этапе произвести мероприятия по увеличению максимальной емкости ИТ-инфраструктуры, оптимизацию существующей ИТ-инфраструктуры; модернизацию системы электроснабжения, модернизацию системы кондиционирования и вентиляции; на последующих этапах масштабирование разработанной модели до ввода в эксплуатацию всего резерва ИТ-инфраструктуры.

Модернизация ИТ-инфраструктуры ЦОДа производилось за счет увеличения коэффициента загрузки оборудования с использованием технологии виртуализации серверов; модернизация системы электроснабжения производилось за счет подготовки подсистемы электроснабжения и резервного питания к работе с расчетной нагрузкой в рабочем и аварийном режимах; модернизация системы кондиционирования и вентиляции производилось за счет выбора технологии охлаждения и расчет необходимого объема ее элементов на основании суммарной выделяемой тепловой мощности всего ЦОДа.

В качестве основного параметра оценки энергоэффективности ЦОДа выбран коэффициент эффективности использования энергии (Power usage effectiveness (PUE)), равный отношению суммарной мощности всех потребителей электроэнергии ЦОДа к суммарной мощности потребления ИТ-оборудованием.

В результате оптимизации ИТ-инфраструктуры на первом этапе получены следующие качественные показатели:

- повысился коэффициент загрузки оборудования до 92 %, в результате чего были высвобождено ИТ-оборудование, которое в последующих этапах использовалось как резерв;
- определены технические параметры ИТ-оборудования для поиска соответствующих поставщиков;
- определены технические параметры оборудования для системы кондиционирования и вентиляции для поиска соответствующих поставщиков;
- определены технические параметры оборудования для системы электроснабжения и резервного питания для поиска соответствующих поставщиков; была определена модель масштабирования основной нагрузки ЦОДа ;
- определен план развития инфраструктуры на основании выбранных решений и технологий на долгосрочный период (5 лет), предусматривающий оперативные корректировки на случай значительного изменения конъюнктуры рынка услуг ЦОД к в сторону увеличения спроса, так и в сторону уменьшения.

На последующих этапах реализации мероприятий по повышению энергоэффективности ЦОДа производится только масштабирование за счет приобретения ИТ-оборудования (телекоммуникационных стоек) и прецизионных кондиционеров с фреоновым типом хладагента в соответствии с графиком ввода мощностей.

Таким образом максимальная емкость ИТ-оборудования ЦОДа,

оценивается в 20 единиц серверных стоек, для эффективной работы которых потребуется работа системы кондиционирования и вентиляции из 5-ти прецизионных кондиционеров, работающих в режиме 4+1 (4 кондиционера находятся в рабочем режиме + 1 в горячем резерве). При этом максимальная вводная мощность после реализации проекта не превышает уже согласованную.

В результате проведенных мероприятий по «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет оптимизации IT-инфраструктуры» и «Повышение энергоэффективности ЦОДа за счет модернизации системы охлаждения и вентиляции» удалось значительно уменьшить коэффициент эффективности использования энергии PUE с 1.61 до 1.40, увеличить коэффициент эффективности использования оборудования DCIE с 62% до 71 %, повысить категорию по эффективности ЦОДа с «удовлетворительная организация ЦОДа (Bronze)» до «оптимальная организация (Gold)» по шкале «Green Grid». Все это является ожидаемым положительным результатом, позволяющим осуществлять экономию значительной доли используемой электроэнергии.

С экономической стороны рассчитан период окупаемости всего проекта с учетом дисконта 10 % , который составил 4 года 4 месяца, что также является для инвестиционного проекта в IT-сфере достаточно хорошим результатом.

В реальных условиях энергопотребление ЦОДа в целом и его подсистем в частности может отличаться как в большую, так и в меньшую сторону. Во-первых, это связано с динамически меняющейся нагрузкой на систему кондиционирования в зависимости от климатических условий, которая является одним из основных потребителей электроэнергии. Во-вторых, методика и средства расчета позволяют с точностью до одного месяца получать оперативные данные путем корректировки реальных показателей объема используемого и вновь вводимого оборудования, реального объема реализуемых услуг (получаемых денежных средств).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. N 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части уточнения порядка обработки персональных данных в информационно-телекоммуникационных сетях» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_165838/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165838/) (дата обращения 01.10.2018 г.)
2. Федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 374-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон „О противодействии терроризму“ и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_201078/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_201078/) (дата обращения 01.10.2018 г.)
3. Федеральный закон от 6 июля 2016 г. № 375-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_201087/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_201087/) (дата обращения 01.10.2018 г.)
4. Реестр ISO 20000. Международный стандарт для управления и обслуживания ИТ сервисов. [Электронный ресурс]. URL: <https://realitsm.ru/reestr-iso-20000> (дата обращения 01.10.2018 г.)
5. Green Grid "PUE, A Comprehensive Examination of the Metric" [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/20-PUE%3A-A-Comprehensive-Examination-of-the-Metric> (дата обращения 05.10.2018г)
6. Стандарт ANSI/TIA/EIA-569-A. Стандарт телекоммуникационных трасс и

- пространств коммерческих зданий. [Электронный ресурс]. - Режим доступа. URL: <http://system-administrator.pro/ru/document/official/12-standart-ansi-tia-eia-569-a-standart-telekommunikatsionnykh-trass-i-prostranstv-kommercheskikh-zdaniy> (дата обращения 01.06.2019г)
7. Инфраструктура ЦОД. Tier Standard: Topology [Электронный ресурс]. - Режим доступа. URL: <https://ru.uptimeinstitute.com/resources/asset/tier-standard-topology> (дата обращения: 01.10.2018)
  8. Лебедева Н.Н «Перспективы развития рынка коммерческого использования устройств ГЛОНАСС» /ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАУК: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 августа 2017 г., г. Казань). Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С.52-54
  9. Лебедева Н.Н «Анализ этапов развития рынка коммерческого использования устройств ГЛОНАСС до 2017г» /ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАУК: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 августа 2017 г., г. Казань). Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С.54-57.
  10. Лебедева Н.Н «Анализ некоторых проблем при обслуживании больших баз данных» /ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАУК: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 августа 2017 г., г. Казань). Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С.57-59.
  11. Лебедева Н.Н «Методы обслуживания больших баз данных» /ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАУК: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 августа 2017 г., г. Казань). Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С.47-49.
  12. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124393> (дата обращения 01.10.2018 г.)



13. Regression Cloud Models and Their Applications in Energy Consumption of Data Center [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jece/2015/143071/> (дата обращения 01.10.2018 г.)
14. Smart Monitoring Embedded Service for Energy-Efficient and Sustainable Management in Data Centers [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mdpi.com/1996-1073/9/7/515> (дата обращения 01.10.2018 г.)
15. Theoretical energy saving analysis of air conditioning system using heat pipe heat exchanger for Indian climatic zones [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098615000567> (дата обращения 01.10.2019 г.)
16. Installing Commercial Building Telecommunication Cabling (Стандарт телекоммуникационной кабельной системы коммерческих зданий) [Электронный ресурс]. Режим доступа. URL: <https://www.scribd.com/document/351113866/ANSI-NECA-BICSI-568-2001-pdf> (дата обращения 01.06.2019г.)
17. Архитектура Hyper-V [Электронный ресурс]. - Режим доступа. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/virtualization/hyper-v-on-windows/reference/hyper-v-architecture> (дата обращения 01.06.2019г.)
18. Технология виртуализации Microsoft Hyper-V [Электронный ресурс]. URL: <http://datasolution.ru/microsoft-hyper-v/> (дата обращения 01.06.2019г.)
19. Data center virtualization and energy-efficiency guide (Руководство по виртуализации и энергоэффективности центров обработки данных) [Электронный ресурс]. URL: <https://searchitchannel.techtarget.com/tutorial/Data-center-virtualization-and-energy-efficiency-guide> (дата обращения 01.11.2018г.)
20. HPE ProLiant DL380 Generation9 (Спецификация серверов HPE ProLiant DL380 Generation9) [Электронный ресурс]. URL: <https://h20195.www2.hpe.com/v2/GetDocument.aspx?docname=c04346247> (дата обращения 01.06.2018г.)

21. Лебедева Н.Н «Перспективы развития ЦОД в России и за ее пределами в условиях адаптирующейся экономики» / Периодическое издание «Вестник современных исследований», выпуск № 9-3 (24), (сентябрь 2018). Омск, 2018, НЦ «Орка». С. 293-295 .
22. Лебедева Н.Н «Особенности проектирования и эксплуатации модульных ЦОД контейнерного типа» / Периодическое издание «Вестник современных исследований», выпуск № 9-3 (24), (сентябрь 2018). Омск, 2018, НЦ «Орка». С.288-292.
23. Лебедева Н.Н «Выбор типа системы охлаждения для ЦОД» / Периодическое издание «Вестник современных исследований», выпуск № 9-3 (24), (сентябрь 2018). Омск, 2018, НЦ «Орка». С. 285-287.
24. Лебедева Н.Н «Направления развития облачных вычислительных сред» / Периодическое издание «Вестник современных исследований», выпуск № 9-3 (24), (сентябрь 2018). Омск, 2018, НЦ «Орка». С.281-282.
25. СН 512-78. Технические требования к зданиям и помещениям для установки средств вычислительной техники [Электронный ресурс]. URL: [http://theor.jinr.ru/guide/norm/sn\\_512-78.pdf](http://theor.jinr.ru/guide/norm/sn_512-78.pdf) (дата обращения 01.11.2018г).
26. ГОСТ Р 50839-2000. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость средств вычислительной техники и информатики к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-50839-2000> (дата обращения 01.11.2018г).
27. Расчет прецизионного кондиционера для серверной [Электронный ресурс]. URL:[http://www.topclimat.ru/publications/raschet kondistionera dlya servernoy.html](http://www.topclimat.ru/publications/raschet_kondistionera_dlya_servernoy.html) (дата обращения 01.11.2018г).
28. Охлаждение ЦОД [Электронный ресурс]. URL: [http://www.all-climate.ru/biblioteka/point/oxlazhdenie\\_cod.html](http://www.all-climate.ru/biblioteka/point/oxlazhdenie_cod.html) (дата обращения 01.11.2018г).
29. ГОСТ 22270-2018. Оборудование для кондиционирования воздуха, вентиляции и отопления. [Электронный ресурс]. URL:

- <http://docs.cntd.ru/document/1200160840> (дата обращения 01.11.2018г).
30. ESCO UNI-COOL-IN. Внутривидные прецизионные кондиционеры. Технические характеристики модельного ряда [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ecso-russia.ru/load/File/unicool\\_in.pdf](http://www.ecso-russia.ru/load/File/unicool_in.pdf) (дата обращения 01.03.2019г).
31. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика: учебное пособие: 5-е изд., перераб. и доп. М.: ПолиПринтСервис, 2015. 130 с.
32. Приказ № 985 от 27.12.2018 г «Об установлении единых (котловых) тарифов на услуги по передаче электрической энергии по сетям Самарской области на 2019 г» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.samaraenergo.ru/buyer/tariffreg/tarifs\\_2019/Edinye/tarify/2019g.pdf](http://www.samaraenergo.ru/buyer/tariffreg/tarifs_2019/Edinye/tarify/2019g.pdf) (дата обращения 20.01.2019г).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 - Сводные технико-экономические данные о плане реализации проекта (данные о величине прибыли и издержек, PUE )

Ставка дисконта	0,1
Мощность потребления ЭЭ на одну стойку,Вт	5000
Мощность потребления ЭЭ на один кондиционер,Вт	9080

Год	Месяц по порядку	Месяц	Число используемых стоек,ед	Число используемых кондиционеров,ед	Доля нагрузки в зависимости от времени года,%	Мощность потребления ЭЭ служебными помещениями, Вт	Стоимость кВт/ч электроэнергии (Категория НН (до 1 кВт)), руб	Расходы на ЭЭ, руб	Фонд оплаты труда(с учетом всех налогов), руб	Прочие расходы,руб	Итого (издержки),руб	Выручка от реализации услуг (с вычетом всех налогов) с единицы стойки,руб	Общая выручка от реализации услуг,руб	Денежный поток, CF,руб	Капитальные затраты,руб	Суммарные капитальные затраты, С,руб	Дисконтированный денежный поток,руб	Дисконтированный денежный поток с нарастающим итогом,руб	Суммарная мощность потребления электроэнергии ЦОДом без учета сезонного фактора	Мощность потребления электроэнергии IT-оборудованием без учета сезонного фактора	PUE без учета сезонного фактора	Суммарная мощность потребления электроэнергии ЦОДом с учетом сезонного фактора	Мощность потребления электроэнергии IT-оборудованием с учетом сезонного фактора	PUE с учетом сезонного фактора
1	1	1	4	1	0,30	3600	3,72	70 513,21	200 000,00	20 000,00	290 513,21	90 000,00	360000	69 486,79	4 500 000,00	4 500 000,00	63 169,81	63 169,81	32 680,00	20 000,00	1,63	26324	20000	1,32
1	2	2	4	1	0,30	3600	3,72	70 513,21	200 000,00	20 000,00	290 513,21	90 000,00	360000	69 486,79	0,00	4 500 000,00	63 169,81	126 339,61	32 680,00	20 000,00	1,63	26324	20000	1,32
1	3	3	4	1	0,35	3600	3,72	71 729,33	200 000,00	20 000,00	291 729,33	90 000,00	360000	68 270,67	0,00	4 500 000,00	62 064,25	188 403,86	32 680,00	20 000,00	1,63	26778	20000	1,34
1	4	4	5	1	0,45	3600	3,72	87 554,89	200 000,00	20 000,00	307 554,89	90 000,00	450000	142 445,11	870 000,00	5 370 000,00	129 495,55	317 899,41	37 680,00	25 000,00	1,51	32686	25000	1,31
1	5	5	5	1	0,65	3600	3,72	92 419,35	200 000,00	20 000,00	312 419,35	90 000,00	450000	137 580,65	0,00	5 370 000,00	125 073,32	442 972,73	37 680,00	25 000,00	1,51	34502	25000	1,38
1	6	6	5	1	0,80	3600	3,72	96 067,69	200 000,00	20 000,00	316 067,69	90 000,00	450000	133 932,31	0,00	5 370 000,00	121 756,64	564 729,38	37 680,00	25 000,00	1,51	35864	25000	1,43
1	7	7	6	2	0,90	3600	3,72	133 783,31	200 000,00	20 000,00	353 783,31	90 000,00	540000	186 216,69	0,00	5 370 000,00	169 287,90	734 017,27	51 760,00	30 000,00	1,73	49944	30000	1,66
1	8	8	6	2	0,90	3600	3,72	133 783,31	200 000,00	20 000,00	353 783,31	90 000,00	540000	186 216,69	0,00	5 370 000,00	169 287,90	903 305,17	51 760,00	30 000,00	1,73	49944	30000	1,66
1	9	9	6	2	0,85	3600	3,72	131 351,09	200 000,00	20 000,00	351 351,09	90 000,00	540000	188 648,91	0,00	5 370 000,00	171 499,01	1 074 804,18	51 760,00	30 000,00	1,73	49036	30000	1,63
1	10	10	7	2	0,70	3600	3,72	137 447,73	200 000,00	20 000,00	357 447,73	90 000,00	630000	272 552,27	0,00	5 370 000,00	247 774,79	1 322 578,97	56 760,00	35 000,00	1,62	51312	35000	1,47
1	11	11	7	2	0,45	3600	3,72	125 286,58	200 000,00	20 000,00	345 286,58	90 000,00	630000	284 713,42	0,00	5 370 000,00	258 830,38	1 581 409,35	56 760,00	35 000,00	1,62	46772	35000	1,34

Продолжение таблицы А.1

1	12	12	7	2	0,30	3600	3,72	117 989,90	200 000,00	20 000,00	337 989,90	90 000,00	630000	292 010,10	0,00	5 370 000,00	265 463,73	1 846 873,08	56 760,00	35 000,00	1,62	44048	35000	1,26
2	13	1	8	2	0,30	3600	3,72	131 383,23	250 000,00	20 000,00	401 383,23	90 000,00	720000	318 616,77	0,00	5 370 000,00	263 319,64	2 110 192,72	61 760,00	40 000,00	1,54	49048	40000	1,23
2	14	2	8	2	0,30	3600	3,72	131 383,23	250 000,00	20 000,00	401 383,23	90 000,00	720000	318 616,77	0,00	5 370 000,00	263 319,64	2 373 512,37	61 760,00	40 000,00	1,54	49048	40000	1,23
2	15	3	8	2	0,35	3600	3,72	133 815,46	250 000,00	20 000,00	403 815,46	90 000,00	720000	316 184,54	0,00	5 370 000,00	261 309,54	2 634 821,91	61 760,00	40 000,00	1,54	49956	40000	1,25
2	16	4	9	2	0,45	3600	3,72	152 073,25	250 000,00	20 000,00	422 073,25	90 000,00	810000	387 926,75	0,00	5 370 000,00	320 600,62	2 955 422,53	66 760,00	45 000,00	1,48	56772	45000	1,26
2	17	5	9	2	0,65	3600	3,72	161 802,17	250 000,00	20 000,00	431 802,17	90 000,00	810000	378 197,83	0,00	5 370 000,00	312 560,19	3 267 982,72	66 760,00	45 000,00	1,48	60404	45000	1,34
2	18	6	9	2	0,80	3600	3,72	169 098,85	250 000,00	20 000,00	439 098,85	90 000,00	810000	370 901,15	0,00	5 370 000,00	306 529,87	3 574 512,59	66 760,00	45 000,00	1,48	63128	45000	1,40
2	19	7	10	2	0,90	3600	3,72	187 356,64	250 000,00	20 000,00	457 356,64	90 000,00	900000	442 643,36	870 000,00	6 240 000,00	365 820,96	3 940 333,55	71 760,00	50 000,00	1,44	69944	50000	1,40
2	20	8	10	2	0,90	3600	3,72	187 356,64	250 000,00	20 000,00	457 356,64	90 000,00	900000	442 643,36	1 500 000,00	7 740 000,00	365 820,96	4 306 154,51	71 760,00	50 000,00	1,44	69944	50000	1,40
2	21	9	10	2	0,85	3600	3,72	184 924,41	250 000,00	20 000,00	454 924,41	90 000,00	900000	445 075,59	0,00	7 740 000,00	367 831,06	4 673 985,57	71 760,00	50 000,00	1,44	69036	50000	1,38
2	22	10	11	3	0,70	3600	3,72	208 046,66	250 000,00	20 000,00	478 046,66	90 000,00	990000	511 953,34	0,00	7 740 000,00	423 101,93	5 097 087,50	85 840,00	55 000,00	1,56	77668	55000	1,41
2	23	11	11	3	0,45	3600	3,72	189 804,94	250 000,00	20 000,00	459 804,94	90 000,00	990000	530 195,06	1 500 000,00	9 240 000,00	438 177,73	5 535 265,23	85 840,00	55 000,00	1,56	70858	55000	1,29
2	24	12	11	3	0,30	3600	3,72	178 859,91	250 000,00	20 000,00	448 859,91	90 000,00	990000	541 140,09	0,00	9 240 000,00	447 223,21	5 982 488,45	85 840,00	55 000,00	1,56	66772	55000	1,21
3	25	1	12	3	0,30	3600	3,72	192 253,24	300 000,00	20 000,00	512 253,24	90 000,00	1080000	567 746,76	0,00	9 240 000,00	426 556,54	6 409 044,99	90 840,00	60 000,00	1,51	71772	60000	1,20
3	26	2	12	3	0,30	3600	3,72	192 253,24	300 000,00	20 000,00	512 253,24	90 000,00	1080000	567 746,76	1 500 000,00	10 740 000,00	426 556,54	6 835 601,53	90 840,00	60 000,00	1,51	71772	60000	1,20
3	27	3	12	3	0,35	3600	3,72	195 901,59	300 000,00	20 000,00	515 901,59	90 000,00	1080000	564 098,41	0,00	10 740 000,00	423 815,49	7 259 417,01	90 840,00	60 000,00	1,51	73134	60000	1,22
3	28	4	13	3	0,45	3600	3,72	216 591,61	300 000,00	20 000,00	536 591,61	90 000,00	1170000	633 408,39	0,00	10 740 000,00	475 889,10	7 735 306,11	95 840,00	65 000,00	1,47	80858	65000	1,24
3	29	5	13	3	0,65	3600	3,72	231 184,98	300 000,00	20 000,00	551 184,98	90 000,00	1170000	618 815,02	1 500 000,00	12 240 000,00	464 924,88	8 200 231,00	95 840,00	65 000,00	1,47	86306	65000	1,33
3	30	6	13	3	0,80	3600	3,72	242 130,01	300 000,00	20 000,00	562 130,01	90 000,00	1170000	607 869,99	0,00	12 240 000,00	456 701,72	8 656 932,71	95 840,00	65 000,00	1,47	90392	65000	1,39
3	31	7	14	3	0,90	3600	3,72	262 820,03	300 000,00	20 000,00	582 820,03	90 000,00	1260000	677 179,97	0,00	12 240 000,00	508 775,33	9 165 708,05	100 840,00	70 000,00	1,44	98116	70000	1,40
3	32	8	14	3	0,90	3600	3,72	262 820,03	300 000,00	20 000,00	582 820,03	90 000,00	1260000	677 179,97	1 500 000,00	13 740 000,00	508 775,33	9 674 483,38	100 840,00	70 000,00	1,44	98116	70000	1,40
3	33	9	14	3	0,85	3600	3,72	259 171,69	300 000,00	20 000,00	579 171,69	90 000,00	1260000	680 828,31	870 000,00	14 610 000,00	511 516,39	10 185 999,77	100 840,00	70 000,00	1,44	96754	70000	1,38
3	34	10	15	3	0,70	3600	3,72	261 619,99	300 000,00	20 000,00	581 619,99	90 000,00	1350000	768 380,01	0,00	14 610 000,00	577 295,27	10 763 295,04	105 840,00	75 000,00	1,41	97668	75000	1,30
3	35	11	15	3	0,45	3600	3,72	243 378,27	300 000,00	20 000,00	563 378,27	90 000,00	1350000	786 621,73	1 500 000,00	16 110 000,00	591 000,55	11 354 295,59	105 840,00	75 000,00	1,41	90858	75000	1,21
3	36	12	15	3	0,30	3600	3,72	232 433,24	300 000,00	20 000,00	552 433,24	90 000,00	1350000	797 566,76	0,00	16 110 000,00	599 223,71	11 953 519,30	105 840,00	75 000,00	1,41	86772	75000	1,16
4	37	1	16	4	0,30	3600	3,72	253 123,26	350 000,00	20 000,00	623 123,26	90 000,00	1440000	816 876,74	0,00	16 110 000,00	557 937,80	12 511 457,10	119 920,00	80 000,00	1,50	94496	80000	1,18

Продолжение таблицы А.1

4	38	2	16	4	0,30	3600	3,72	253 123,26	350 000,00	20 000,00	623 123,26	90 000,00	1440000	816 876,74	1 500 000,00	17 610 000,00	557 937,80	13 069 394,91	119 920,00	80 000,00	1,50	94496	80000	1,18
4	39	3	16	4	0,35	3600	3,72	257 987,72	350 000,00	20 000,00	627 987,72	90 000,00	1440000	812 012,28	0,00	17 610 000,00	554 615,31	13 624 010,22	119 920,00	80 000,00	1,50	96312	80000	1,20
4	40	4	17	4	0,45	3600	3,72	281 109,97	350 000,00	20 000,00	651 109,97	90 000,00	1530000	878 890,03	0,00	17 610 000,00	600 293,72	14 224 303,94	124 920,00	85 000,00	1,47	104944	85000	1,23
4	41	5	17	4	0,65	3600	3,72	300 567,80	350 000,00	20 000,00	670 567,80	90 000,00	1530000	859 432,20	1 500 000,00	19 110 000,00	587 003,76	14 811 307,70	124 920,00	85 000,00	1,47	112208	85000	1,32
4	42	6	17	4	0,80	3600	3,72	315 161,17	350 000,00	20 000,00	685 161,17	90 000,00	1530000	844 838,83	0,00	19 110 000,00	577 036,29	15 388 343,98	124 920,00	85 000,00	1,47	117656	85000	1,38
4	43	7	18	4	0,90	3600	3,72	338 283,42	350 000,00	20 000,00	708 283,42	90 000,00	1620000	911 716,58	0,00	19 110 000,00	622 714,69	16 011 058,67	129 920,00	90 000,00	1,44	126288	90000	1,40
4	44	8	18	4	0,90	3600	3,72	338 283,42	350 000,00	20 000,00	708 283,42	90 000,00	1620000	911 716,58	1 500 000,00	20 610 000,00	622 714,69	16 633 773,36	129 920,00	90 000,00	1,44	126288	90000	1,40
4	45	9	18	4	0,85	3600	3,72	333 418,96	350 000,00	20 000,00	703 418,96	90 000,00	1620000	916 581,04	0,00	20 610 000,00	626 037,18	17 259 810,54	129 920,00	90 000,00	1,44	124472	90000	1,38
4	46	10	19	4	0,70	3600	3,72	332 218,92	350 000,00	20 000,00	702 218,92	90 000,00	1710000	1 007 781,08	0,00	20 610 000,00	688 328,04	17 948 138,58	134 920,00	95 000,00	1,42	124024	95000	1,31
4	47	11	19	4	0,45	3600	3,72	307 896,63	350 000,00	20 000,00	677 896,63	90 000,00	1710000	1 032 103,37	1 500 000,00	22 110 000,00	704 940,49	18 653 079,07	134 920,00	95 000,00	1,42	114944	95000	1,21
4	48	12	19	4	0,30	3600	3,72	293 303,26	350 000,00	20 000,00	663 303,26	90 000,00	1710000	1 046 696,74	0,00	22 110 000,00	714 907,96	19 367 987,03	134 920,00	95 000,00	1,42	109496	95000	1,15
5	49	1	20	4	0,30	3600	3,72	306 696,59	350 000,00	20 000,00	676 696,59	90 000,00	1800000	1 123 303,41	0,00	22 110 000,00	697 483,04	20 065 470,07	139 920,00	100 000,00	1,40	114496	100000	1,14
5	50	2	20	4	0,30	3600	3,72	306 696,59	350 000,00	20 000,00	676 696,59	90 000,00	1800000	1 123 303,41	0,00	22 110 000,00	697 483,04	20 762 953,11	139 920,00	100 000,00	1,40	114496	100000	1,14
5	51	3	20	4	0,35	3600	3,72	311 561,05	350 000,00	20 000,00	681 561,05	90 000,00	1800000	1 118 438,95	0,00	22 110 000,00	694 462,59	21 457 415,70	139 920,00	100 000,00	1,40	116312	100000	1,16
5	52	4	20	4	0,45	3600	3,72	321 289,96	350 000,00	20 000,00	691 289,96	90 000,00	1800000	1 108 710,04	0,00	22 110 000,00	688 421,70	22 145 837,41	139 920,00	100 000,00	1,40	119944	100000	1,20
5	53	5	20	4	0,65	3600	3,72	340 747,80	350 000,00	20 000,00	710 747,80	90 000,00	1800000	1 089 252,20	0,00	22 110 000,00	676 339,92	22 822 177,33	139 920,00	100 000,00	1,40	127208	100000	1,27
5	54	6	20	4	0,80	3600	3,72	355 341,17	350 000,00	20 000,00	725 341,17	90 000,00	1800000	1 074 658,83	0,00	22 110 000,00	667 278,58	23 489 455,91	139 920,00	100 000,00	1,40	132656	100000	1,33
5	55	7	20	4	0,90	3600	3,72	365 070,09	350 000,00	20 000,00	735 070,09	90 000,00	1800000	1 064 929,91	0,00	22 110 000,00	661 237,69	24 150 693,60	139 920,00	100 000,00	1,40	136288	100000	1,36
5	56	8	20	4	0,90	3600	3,72	365 070,09	350 000,00	20 000,00	735 070,09	90 000,00	1800000	1 064 929,91	0,00	22 110 000,00	661 237,69	24 811 931,29	139 920,00	100 000,00	1,40	136288	100000	1,36
5	57	9	20	4	0,85	3600	3,72	360 205,63	350 000,00	20 000,00	730 205,63	90 000,00	1800000	1 069 794,37	0,00	22 110 000,00	664 258,14	25 476 189,43	139 920,00	100 000,00	1,40	134472	100000	1,34
5	58	10	20	4	0,70	3600	3,72	345 612,25	350 000,00	20 000,00	715 612,25	90 000,00	1800000	1 084 387,75	0,00	22 110 000,00	673 319,47	26 149 508,90	139 920,00	100 000,00	1,40	129024	100000	1,29
5	59	11	20	4	0,45	3600	3,72	321 289,96	350 000,00	20 000,00	691 289,96	90 000,00	1800000	1 108 710,04	0,00	22 110 000,00	688 421,70	26 837 930,61	139 920,00	100 000,00	1,40	119944	100000	1,20
5	60	12	20	4	0,30	3600	3,72	306 696,59	350 000,00	20 000,00	676 696,59	90 000,00	1800000	1 123 303,41	0,00	22 110 000,00	697 483,04	27 535 413,65	139 920,00	100 000,00	1,40	114496	100000	1,14