



*Доклад на площадке Российского международного
энергетического форума
РМЭФ-2025*

**Повышение энергоэффективности работы центров
обработки данных за счет использования
тригенерационных технологий**

Докладчики:

*Председатель секции развития и технического перевооружения тепловой
энергетики к.т.н., доцент каф. ТЭС НИУ МЭИ - Дудолин А.А.*

Советник ООО «СМАРТ Констракшн», аспирант - Сидоров Д.В.

10.04.2025

г. Санкт-Петербург, 2025

Введение в вопрос

Целью исследования является разработка схемных решений более эффективного охлаждения ИТ-оборудования центров обработки данных за счет использования сбросной или утилизируемой теплоты.

Объектом исследования является существующая (универсальная) система охлаждения ИТ-оборудования центров обработки данных.

В работе особое внимание уделяется повышению эффективности существующих методов охлаждения ИТ-оборудования центров обработки данных.

Во всем мире, за последние несколько лет, заметно вырос спрос на информационные технологии в различных областях сферы человеческой жизни.

Одним из существенных факторов роста - это развитие искусственного интеллекта (ИИ), который стал трендом развития практически всех современных ИТ-компаний.

В качестве примера: обработка информации с использованием ИИ, энергетической мощности ИТ-оборудования потребует на порядок больше по сравнению с другими поисковиками и программным обеспечением. В Российской Федерации рост мощности ИТ-оборудования по мимо мировых тенденций, обусловлен еще и санкционным давлением и невозможностью размещения данной мощности на международных серверах. В связи с чем возникает потребность в появлении площадок, специально разработанных для организации безаварийной и надежной работы ИТ-оборудования, своего рода центров, имеющих всю необходимую инфраструктуру, для эксплуатации ИТ-оборудования.

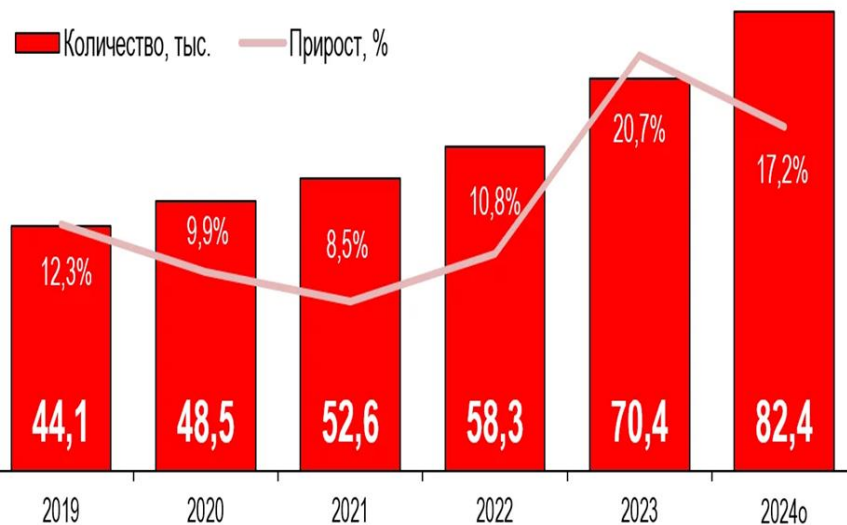
По оценкам специалистов, в самые ближайшие годы на рынке РФ прирост подведенной мощности ЦОДов будет иметь тенденцию увеличения: на 100 МВт/год.

В 2023-2024 годах отмечен вывод на рынок colocation большого количества новых стойко-мест. Они предназначены в первую очередь для крупных клиентов, которые нуждаются в аренде больших площадок.

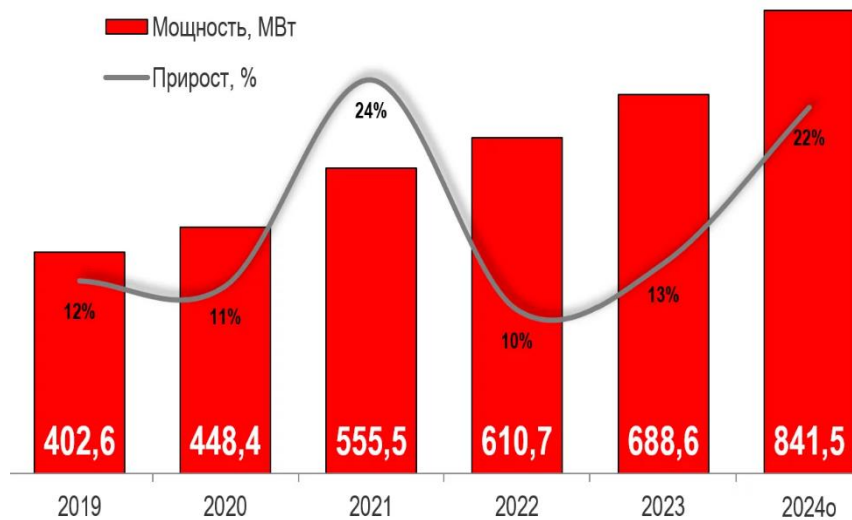
Вопреки ожиданиям рынка, ликвидации дефицита стойко-мест, спрос на новые устойчиво сохраняется и опережает имеющиеся предложения. Многие крупные покупатели заказывают стойко-места уже на стадии строительства и бронируют часть стойко-мест на 1-2 года вперед с планами расширения.

Лидеры по электрической мощности

Лидерами по подведенной мощности являются ЦОДы «РТК-ЦОД» и IXcellerate. Их суммарная доля на рынке по этому показателю составляет около 43%. Пятерка лидеров, в которую также входят «Росатом», ГК Key Point и DataPro, занимает долю в 62%.



Динамика роста числа стойко-мест в РФ, тыс. ед.



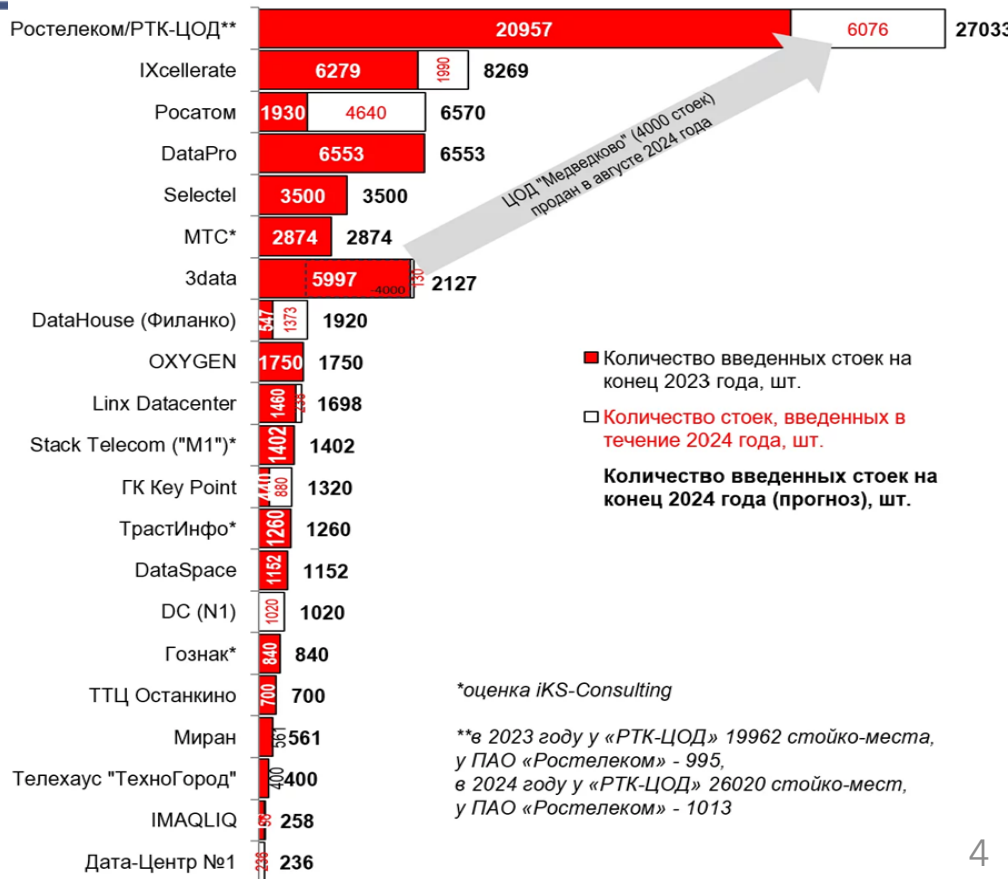
Динамика максимальной разрешенной электрической мощности коммерческих ЦОДов в России

Лидеры рынка строительства ЦОД в РФ

Лидером по числу введенных в эксплуатацию стойко-мест на сегодняшний день остается группа компаний «Ростелеком/РТК-ЦОД», в числе ключевых объектов которой комплекс ЦОДов NORD, Москва I-V, столичный узел обмена трафиком ММТС-9 и новый кластер ЦОДов «Медведково». На ее долю к концу 2023 года приходилось 20957 стойко-мест, из них на долю «РТК-ЦОД» приходилось 19962 стойко-места. При выполнении заявленных планов на 2025 года в группе компаний будет введено не менее 27033 стойко-мест, из которых у «РТК-ЦОД» будет 26020.

На втором месте компания DataPro с долей 9,3% (6553 стойко-места). В 2021–2023 годах компания активно наращивала мощности, открыв новую площадку DataPro 4 и продолжая строительство площадки DataPro 3. В 2024 году новых мощностей не вводила и может переместиться на четвертое место.

Компания IXcellerate замыкала тройку лидеров в 2022 году с долей 8,9% (6279 стойко-мест). Активное строительство в 2023–2024 годах, ввод новой площадки MOS 5 на территории южного кампуса позволил компании обогнать своего постоянного конкурента и переместиться в конце 2024 года на вторую позицию.



Самые крупные дата-центры в России

В 2024 году компанией **Росатом** запущен самый крупный дата-центра в России.

В Южном административном округе Москвы на площади более 20 тыс.м² размещены до 3,6 тыс. серверных стоек. Суммарная мощность площадки составила 36МВт. Новый ЦОД сертифицирован по максимально высокому уровню надежности Tier IV, что позволяет проводить сервисное и техническое обслуживание оборудования, не затрагивая критическую ИТ-инфраструктуру дата-центра.

Второе место по количеству серверных стоек занимает ЦОД **Сбер**.

В инновационном округе Сколково, на площади 33 тыс.м² расположены 20 машинных залов, которые были рассчитаны на установку 24 тыс. серверных стоек. Суммарная мощность площадки составила 29,9МВт. ЦОД сертифицирован по уровню отказоустойчивости Tier III, экологичность объекта: LEED SILVER (USGBC).

Объём информации, обрабатываемый ЦОД Сбербанка, достигает порядка 1 эксабайта.

Технологии в дата-центре Росатом

Охлаждение ЦОД обеспечивается согласно схеме «чиллер-фанкойл» с аккумуляторами холода, независимо для каждого машинного зала. Высокая энергоэффективность обеспечена за счет использования технологии свободного охлаждения «фрикулинг» в холодное время года. Для безопасности серверного оборудования системы охлаждения вынесены за пределы машинного зала.

Система охлаждения построена с учетом климатической безопасности:

- Схема резервирования каждого машинного зала N+1;
- Технология Continuous Cooling (непрерывное охлаждение), связанная с технологиями высокой энергоэффективности);
- Гарантированная температура $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$;
- Гарантированная влажность 20-60%.

Технологии в дата-центре Росатом

Охлаждение машинных залов с установленными серверными стойками происходит по методу «Холодной стены» - это технологическая концепция охлаждения в ЦОД, которая предполагает инновационный подход по сравнению с традиционными схемами, базирующимися на использовании фальшпола.

Система «Холодная стена» имеет следующую концепцию охлаждения:

Охлаждённый подготовленный воздух через «холодную стену» подаётся непосредственно в помещение, где расположены стойки. Пройдя сквозь стойку и сняв избыток тепла, нагретый поток воздуха возвращается обратно в контур системы охлаждения через фальшпол.

Технология «Холодная стена» получила признание российского и международного отраслевого сообщества.

Повышение коэффициента энергоэффективности (PUE)

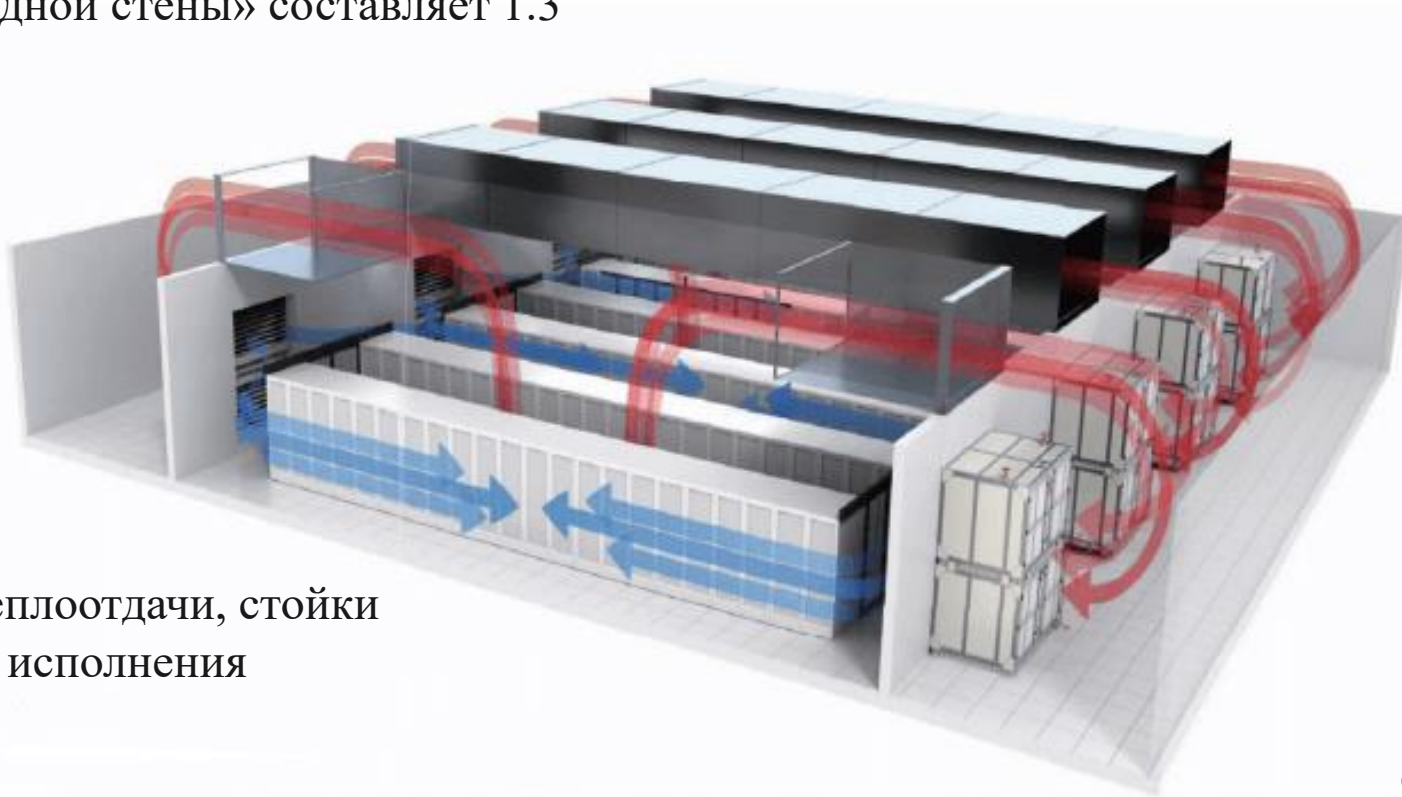


Высокий спрос на стойко-места в центрах обработки данных провоцирует рост энергопотребления, выделение дополнительных мощностей на электростанциях, а в районах с условиями дефицита – строительство новой генерации.

Повышение экономичности, снижение общего энергопотребления, поиск энергоэффективных решений направленных на уменьшение общего энергопотребления центра обработки данных по отношению к энергопотреблению ИТ-оборудования при строительстве ЦОД на сегодняшний день является перспективной задачей.

Технологии в дата-центре Росатом

Проектный PUE «холодной стены» составляет 1.3



С целью улучшения теплоотдачи, стойки выполнены открытого исполнения

Технологии в дата-центре Сбер

Охлаждение ЦОД обеспечивается согласно схеме «чиллер-вентустановка» с аккумуляторами холода, независимо для каждого машинного зала.

Высокая энергоэффективность обеспечена за счет использования технологии свободного охлаждения «фрикулинг» в холодное время года.

Система охлаждения построена с учетом климатической безопасности:

- Прямое естественное охлаждение;
- Схема резервирования каждого машинного зала N+1;
- Выделенный чиллер на каждую вентустановку;
- Изолированные «горячие коридоры»;
- Самобалансирующаяся низконапорная система воздухораспределения в строительном исполнении.

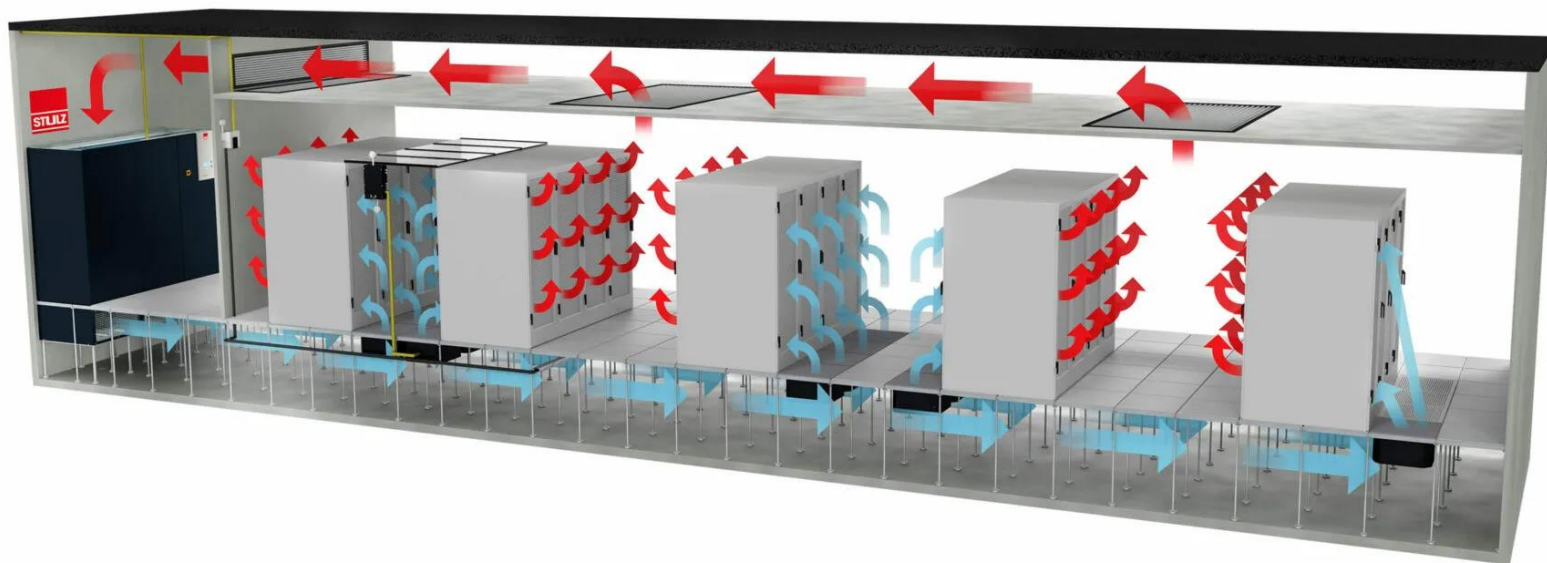
Технологии в дата-центре Сбер

Охлаждение машинных залов с установленными серверными стойками происходит по методу изолированных горячих коридоров посредством центральных вентиляционных установок с функциями: охлаждения, адиабатного увлажнения, осушения.

ОСНОВНЫЕ ПЕРАМЕТРЫ И ОСОБЕННОСТИ:

- диапазон температур в машинных залах от $+18^{\circ}\text{C}$ до $+27^{\circ}\text{C}$;
- точка нормальной настройки $+22^{\circ}\text{C}$;
- точность поддержания температуры $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- диапазон относительной влажности от 25% до 75%;
- точка нормальной настройки 45% относительной влажности;
- точность поддержания $\pm 5\%$ относительной влажности.

Технологии в дата-центре Сбер



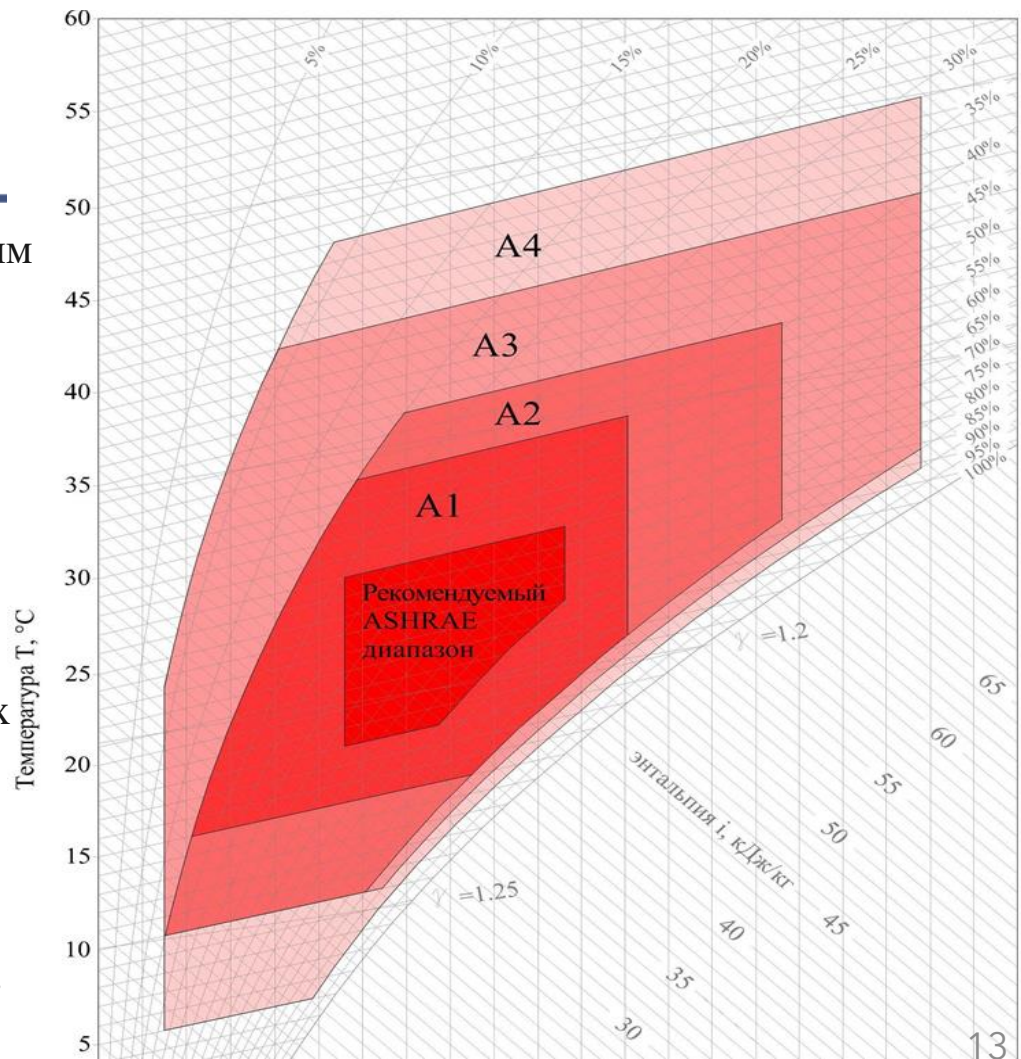
PUE при 100% нагрузке составляет 1.3 (среднегодовой);
PUE при 50% нагрузке составляет 1.5 (среднегодовой).

Расчетная температура

Согласно рекомендациям **ASHRAE**, приемлемым диапазоном рабочей температуры подающего приточного воздуха (температуры холодного коридора), необходимого для охлаждения оборудования ЦОД является предел от **18 до 27°C**.

Температура вытяжного воздуха (температура горячего коридора) как правило выше на **15°C** подающей температуры, и находится в границах не более **40°C**.

Диапазон температур от 15°C до 32°C (границы области A1 на графике) может быть допустимым диапазоном при условии непродолжительной нагрузки, равной менее 50%.



Построение охлаждения

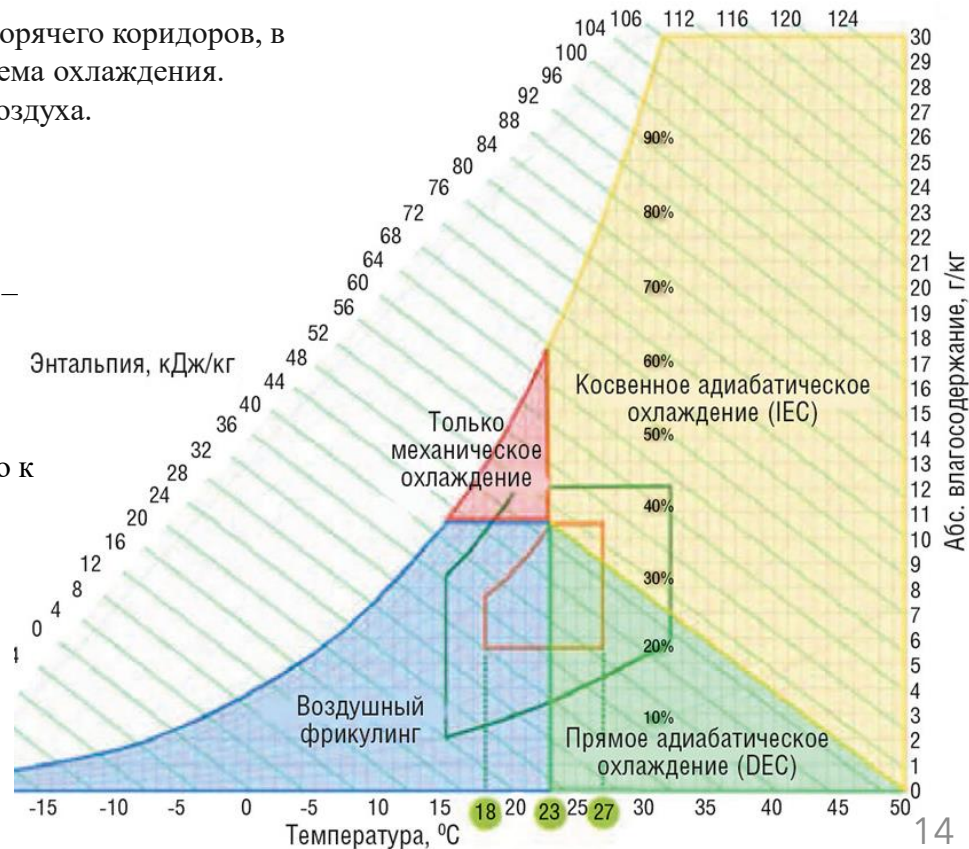
Для поддержания требуемого диапазона температуры холодного и горячего коридоров, в зависимости от региона расположения объекта, проектируется система охлаждения. Рассчитывается мощность охлаждения и расход вентиляционного воздуха.

Высокий спрос на стойко-места в центрах обработки данных провоцирует рост энергопотребления, выделение дополнительных мощностей на электростанциях, а в районах с условиями дефицита – строительство новой генерации.

Повышение экономичности, снижение общего энергопотребления, поиск энергоэффективных решений направленных на уменьшение общего энергопотребления центра обработки данных по отношению к энергопотреблению ИТ-оборудования при строительстве ЦОД на сегодняшний день является перспективной задачей.

Система охлаждения м.б. построена на основе:

- Парокомпрессионной холодильной установки (механическое охлаждение);
- Адиабатического охлаждения;
- Free-cooling (свободного холода);
- Различных вариантов гибридных схем.



Примеры изоляции коридоров

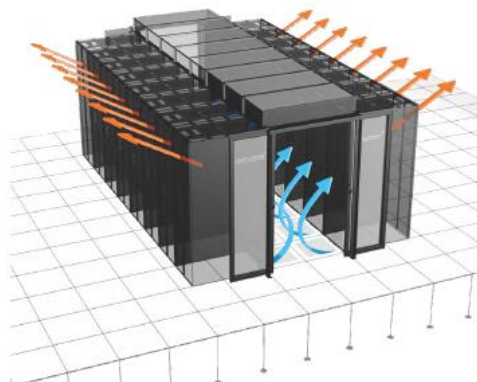


Схема организации изоляции холодного коридора / подача холодного воздуха через пространство фальшпола.

Подходит для небольших серверных помещений и машинных залов с небольшой равномерно распределенной нагрузкой (до 5 кВт на стойку).

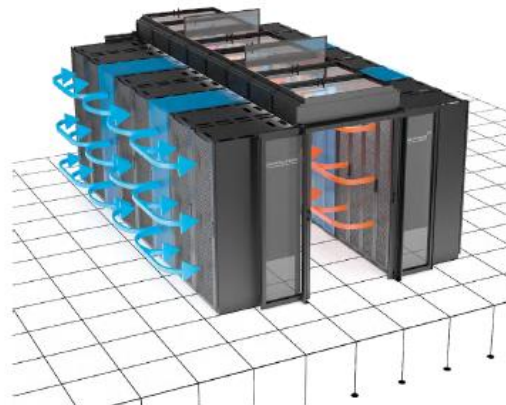


Схема организации изоляции горячего коридора / подача холодного воздуха внутри рядными кондиционерами в общий объем машинного зала.

Подходит для небольших и средних серверных помещений с высокой нагрузкой (до 10 кВт на стойку).

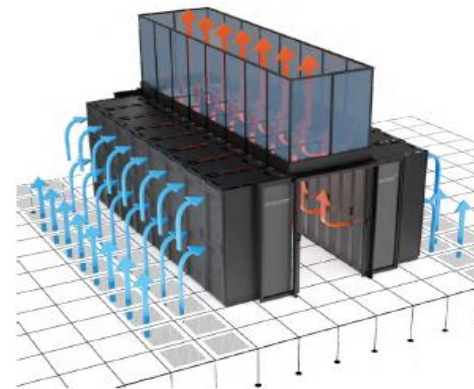


Схема организации изоляции горячего коридора / подача холодного воздуха в общий объем машинного зала и удаление горячего воздуха.

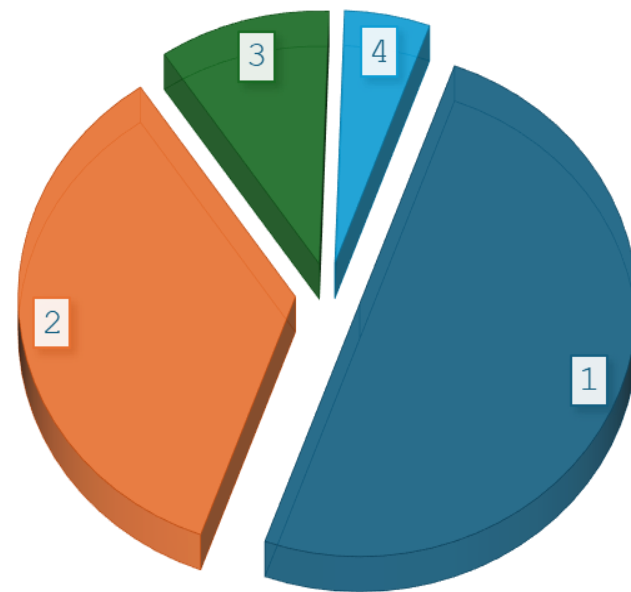
Подходит для средних и крупных машинных залов с высокой нагрузкой (до 10 кВт на стойку).

Распределение мощности внутри ЦОД

В работе проведен анализ и определены соотношения нагрузок в зависимости от климатогеографических особенностей на территории РФ распределение в основном следующее:

1. Основное ИТ-оборудование 50%;
2. Системы охлаждения и вентиляции (для центрального региона РФ) 35%;
3. Источники бесперебойного питания (ИБП) 10%;
4. Осветительные и отопительные приборы, автоматизация 5%.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (ЦОД)



Распределение мощности внутри ЦОД

Максимум основной ИТ-мощности + собственные нужды

Соотношение основной ИТ-мощности к собственным нуждам примерно равное – 50/50 в зависимости от объекта.

К собственным нуждам относятся:

- системы охлаждения и вентиляции, нагрузка которых составляет порядка 35%;
- источники бесперебойного питания, 10%;
- осветительные и отопительные приборы и системы автоматизации объекта, 5%.

Мощность на источники бесперебойного питания, а также на осветительные, отопительные системы и автоматизацию как правило всегда находится в пределе 15% от основной.

Тогда как мощность на системы охлаждения и вентиляции сильно зависит от климатогеографического расположения объекта и режима работы.

Для центрального региона РФ мощность на систему охлаждения составляет порядка **35%** от основной мощности ЦОД.

Пути повышения теплового потенциала

Во всех существующих технологиях системы охлаждения дата-центров имеется одна и та же проблема – **не до использование теплового потенциала.**

Теплопоступления от серверных стоек машинного зала сопоставимы с их электропотреблением.

Как было отмечены выше, 50% общего электропотребление Центра Обработки Данных, это электропотребление серверных стоек.

Таким образом теплопоступления и их потери соответствуют половине электрической мощности ЦОД.

Анализ показал, что при 100% нагрузке в теплый период года на примере ЦОДов:

- Росатом – тепловые потери **18 МВт/час;**
- Сбер – тепловые потери **15 МВт/час.**

Тепловые системы

Существуют различные исследования на предмет полезного использования тепловых потерь дата-центров, связанных с тепловыделением серверных стоек.

Но ввиду особенности данных тепловыделений, а именно – их очень низкого потенциала (порядка 40°C) их дальнейшее использование в тепловых системах, таких как **Отопление и Горячее водоснабжение (ГВС)**, проблематично.

Минимальные тепловые графики некоторых систем:

- Отопление:	$80\div 60^{\circ}\text{C}$;
- ГВС:	$70\div 55^{\circ}\text{C}$.

Исключением, на возможность использования теплоты тепловыделений серверных стоек, может быть разве что I-я ступень ГВС, либо подпиточная вода системы Отопления.

Задача повышения энергоэффективности

Проблема заключается в том, что I-я ступень ГВС и подпиточная вода системы Отопления имеют как правило **небольшие мощности** (нагрузки) в объеме объекта ЦОД. У ряда специалистов имеются на этот счет некоторые мысли о том, что к дата-центрам можно подключать различные городские центральные отопительные системы и создавать требуемые нагрузки, но примеров такого использования на сегодняшний день нет.

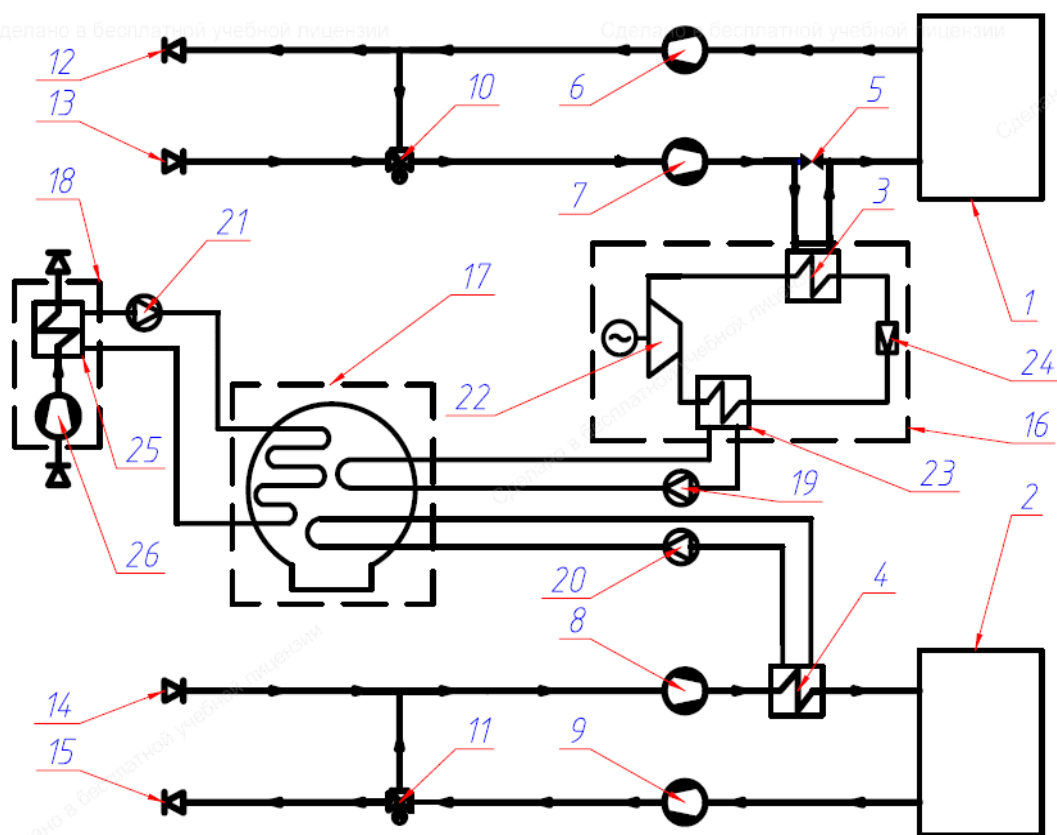
В нашем докладе ставится задача повышения энергоэффективности Центра Обработки Данных, а не поиск и использования сторонних потребителей для ее повышения.

2-х ступенчатая система охлаждения ЦОД

Была разработана и запатентована 2-х ступенчатая система охлаждения ЦОД (№ W25015137 от 12.03.2025г)

Отличия от существующих технологий:

1. Вместо часто используемой холодильной машины (ХМ/чиллера), предлагается использование теплонасосной установки (ТНУ) 16, разработанной на определенные параметры;
2. Использование бромисто-литиевой Абсорбционной холодильной машины (АБХМ) 17 в составе с выносной градирней 18;
3. Наличие контура теплоснабжения 19 и охлаждения 20;
4. Наличие дополнительного охладителя 4.



Обозначения:

1, 2 – машинные залы ЦОД;
3 – испаритель парокompрессионной теплонасосной установки (ТНУ);
4 – охладитель абсорбционной холодильной машины (АБХМ);
5 – байпасная линия с воздушным клапаном;
6, 7 – вентиляторы притока и вытяжки центральной вентиляционной установки 1;
8, 9 – вентиляторы притока и вытяжки центральной вентиляционной установки 2;
10 – вентилятор притока; 11 – вентилятор вытяжки;
12, 13 – вентилятор притока; 14, 15 – вентилятор вытяжки;
16 – ТНУ с элементами (компрессор 22, дроссель 24, конденсатор 23);
17 – АБХМ с элементами (контуром теплоснабжения 19, охлаждения 20, градирни 21);
18 – градирня с элементами (вентилятор 26, теплообменник 25).

8, 9 – вентиляторы притока и вытяжки центральной вентиляционной установки 2;
16 – ТНУ с элементами (компрессор 22, дроссель 24, конденсатор 23);
17 – АБХМ с элементами (контуром теплоснабжения 19, охлаждения 20, градирни 21);
18 – градирня с элементами (вентилятор 26, теплообменник 25).

Параметры ТНУ и АБХМ 2 ступ. системы охлаждения

Параметры абсорбционной установки:

1. Бромисто-литиевая АБХМ: Основное отличие бромистолитиевой от аммиачной заключается в:

Бромистолитиевые / в качестве хладагента - вода, а в качестве абсорбента - концентрированный раствор бромида лития LiBr, минимальная температура охлаждаемой жидкости: -5°C (идеально для систем кондиционирования); Аммиачные / в качестве хладагента - аммиак NH_3 , а в качестве абсорбента - вода; минимальная температура охлаждаемой жидкости: -35°C .

Параметры абсорбционной установки:

2. Работа на «горячей воде»: Единичная холодопроизводительность – от 300 до 20 000 кВт; Минимальная температура горячей воды – не ниже 80°C ; Максимальная температура горячей воды – не выше 170°C ; Температура охлажденной воды – не ниже $+5^{\circ}\text{C}$; Отношение холодопроизводительности к затраченной тепловой мощности $\text{COP} = 0,8$; Эффективная утилизация тепла.

Очень низкое значение потребляемой эл. энергии за счет отсутствия компрессора, эл.энергия потребляется только циркуляционными насосами для перекачки теплоносителей.

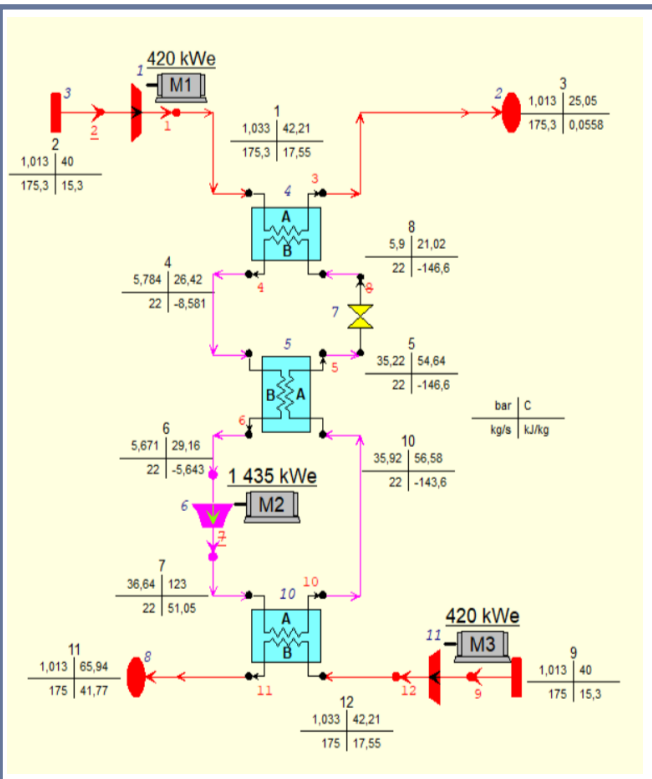
Параметры теплонасосной установки:

1. Фреон R134a (тетрафторэтан) относится к группе гидрофторуглеродов (ГФУ);
2. Повышенная температура испарения $t_{\text{исп.}} = 18^{\circ}\text{C}$;
3. Высокая температура конденсации $t_{\text{к}} = 110^{\circ}\text{C}$;
4. Нагрев контура теплоснабжения АБХМ до $t'_{\text{абхм}} = 105^{\circ}\text{C}$.

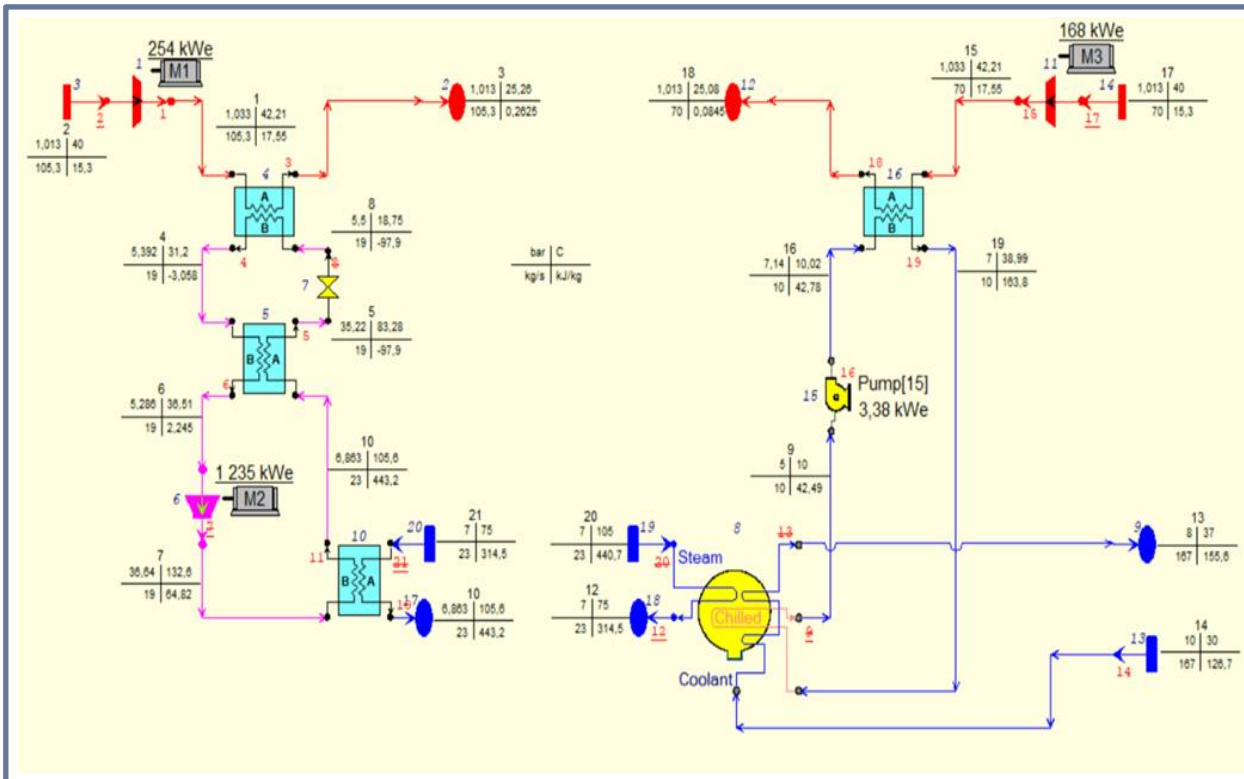
Сравнение двух моделей системы охлаждения построенных в Thermoflex



Универсальная или одноступенчатая система охлаждения ЦОД



Двухступенчатая система охлаждения ЦОД, построенная в программном комплексе Thermoflex



Верификация расчетных данных

№	Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Построение модели в Termaflex		Теоретический расчет ТНУ
				1 ступ. сист. Охл.	2-х ступ. сист. Охл.	2-х ступ. сист. Охл.
1	Основные показатели системы					
1.1	Оборудование системы охлаждения			Чиллер	ТНУ+АБХМ	ТНУ+АБХМ
1.2	Расход воздуха	Гв	кг/с	175,3	175,3	105,3
1.3	Температура воздуха начала охлаждения	tvx	°C	40,0	40,0	40,0
1.4	Температура воздуха конца охлаждения	tvых	°C	25,0	25,0	25,0
1.5	Марка фреона	R		134a	134a	134a
1.6	Массовый расход фреона в системе	Гф	кг/с	22,0	19,0	29,3
1.7	Refrigerant compressor power		кВт	1 435,0	1 235,0	1 407,3
1.8	General HX[4]: heat transfer	Охладитель ХМ	кВт	3 036,0	1 802,0	1 637,1
1.9	General HX[16]: heat transfer	Охладитель АБХМ	кВт	0,0	1 210,2	2 258,2
1.9	General HX[5]: heat transfer	Промперегрев ХМ	кВт	64,7	100,8	181,5
1.10	General HX[10]: heat transfer	Конденсатор ХМ	кВт	4 240,0	2 960,2	3 225,9
1.11	Refrigerant cycle cooling Termaflex		кВт	2 727,5	1 619,0	1 637,1
1.12	Refrigerant cycle COP Termaflex			2,434	1,516	
2	Тепловая и электрическая мощность					
2.1	Qохл.хм		кВт	2 727,5	1 619,0	1 637,1
2.2	Qохл.абхм		кВт	0,0	1 210,2	2 258,2
2.3	Нэл.компр.		кВт	1 435,0	1 235,0	1 407,3
2.4	Нэл.собст.нужд.		кВт	843,4	432,1	440,5
3	Собственные нужды					
3.1	Fan compression power	M1	кВт	420,0	254,0	254
3.2	Fan compression power	M3	кВт	420,0	168,0	168
3.2	Pamp power heat	PCE	кВт	0,0	3,4	4,5
3.4	Pamp power cooling	PCE	кВт	3,4	3,4	10,6
3.5	Pamp power free-cooling	PCE	кВт	0,0	3,4	3,4
3.6	Итого:		кВт	843,4	432,1	440,5

Сравнительная таблица

теплотехнического расчета различных систем Охлаждения ЦОД:

- одноступенчатая система охлаждения на основе парокомпрессионной холодильной машины - чиллера (ХМ);
- двухступенчатая система охлаждения на основе парокомпрессионной теплонасосной установки (ТНУ) совместно с абсорбционной холодильной машиной (АБХМ).

Расчет производился двумя способами:

- в программном комплексе Termaflex;
- на основе учебно-методического пособия Университета ИТМО г.СПб 2022г

Верификация расчетных данных

Основным показателем при сравнении различных систем охлаждения, является индекс EER (Energy Efficiency Ratio), индекс энергетической эффективности при работе на охлаждение, рассчитываемый по формуле:

$$EER = Q_{охл.хм} + Q_{охл.абхм} / N_{эл.}$$

№	Наименование	Обозначение	Построение модели в Termaflex		Теоретический расчет ТНУ
			1 ступ. сист. Охл.	2-х ступ. сист. Охл.	2-х ступ. сист. Охл.
4	Энергетические показатели				
4.1	EER (Energy Efficiency Ratio) - индекс энергетической эффективности при работе на охлаждение. Обозначает отношение холодопроизводительности при наивысшей нагрузке к используемой мощности. EER = $Q_{охл.хм} + Q_{охл.абхм} / N_{эл.}$	без учета собственных нужд	1,901	2,291	2,768
4.2		с учетом собственных нужд	1,197	1,697	2,108

Описание 2 ст. системы охлаждения



В разработанном и запатентованном техническом решении полезно используется и возвращается в цикл бросовое низкопотенциальное тепло серверных стоек первого машинного зала, которое, благодаря наличию ТНУ в схеме охлаждения ЦОД, преобразуется в энергию более высокого потенциала, нагрев до температуры выше 95°C , необходимого для выполнения условия работы АБХМ, где с помощью химической реакции происходит выработка полезной холодильной мощности, используемой на охлаждение машинных залов.

Техническое решение позволяет:

- снизить электрическую нагрузку на привод компрессора холодильной машины;
- повысить экологичность за счет сокращения количества фреоновых холодильных машин, участвующих в общей системе охлаждения;
- снизить капитальные и эксплуатационные затраты.

Благодаря наличию использования низкопотенциального тепла, увеличивается коэффициент использования теплоты топлива, растет эффективность использования органического топлива, применяющегося на ТЭС, и, как следствие повышается экологичность системы охлаждения ЦОД.

Выводы



В работе, выполненной совместно с НИУ МЭИ и ООО «Смарт Констракшн», можно сделать следующие выводы:

1. Установлены источники низкопотенциальной энергии, которые безвозвратно теряются при работе ЦОД;
2. Предложена и запатентована схема, позволяющая полезно использовать низкопотенциальную энергию, увеличить коэффициент энергоэффективности, снизить энергозатраты на привод компрессора ХМ на 13%.
3. Оценена экономичность использования новой технологической схемы по сравнению с традиционными вариантами

В настоящее время проводятся работы по поиску заказчика.

Интерес проявили компании ПАО Россети и ПАО Сбер в рамках программы НИОКР.



Спасибо за внимание!