НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МЭИ

Исследование и разработка технических решений по повышению экономичности центров обработки данных за счет использования низко потенциального тепла

д.т.н., Дудолин А.А.

г. Москва, 2026

Актуальность

Прогноз роста **мирового** потребления электроэнергии и доли ЦОД

По данным Международного энергетического агентства (IEA*****) установлено, что мировой спрос на электроэнергию для ЦОД будет иметь тенденцию роста порядка 3,4% ежегодно, вплоть до 2026 г.

<u>Критическая роль энергоэффективности:</u>

Технологические усовершенствования инфраструктуры ЦОД, становятся не просто преимуществом, а необходимым условием для сдерживания роста энергозатрат и достижения целей декарбонизации.

Показатель	2015	2023	2026 (прогноз)
Доля электроэнергии в конечном потреблении энергии, %	18%	20%	**+3.4%** (среднегодовой)
Потребление электроэнергии ЦОД*, ТВтч	<400	560	**>1000**

Резкий рост ИТ-технологий вызванный взрывным развитием интернета, удешевлением вычислительных мощностей, всеобщей цифровизацией экономики и общества, развитием банковской сферы и искусственного интеллекта **создал спрос на инфраструктуру (ЦОД)**, необходимую для их устойчивого функционирования, привел к повышенному спросу на электроэнергию для обеспечения ее работы, зачастую в режиме энергодифицита.

** Примечания:*

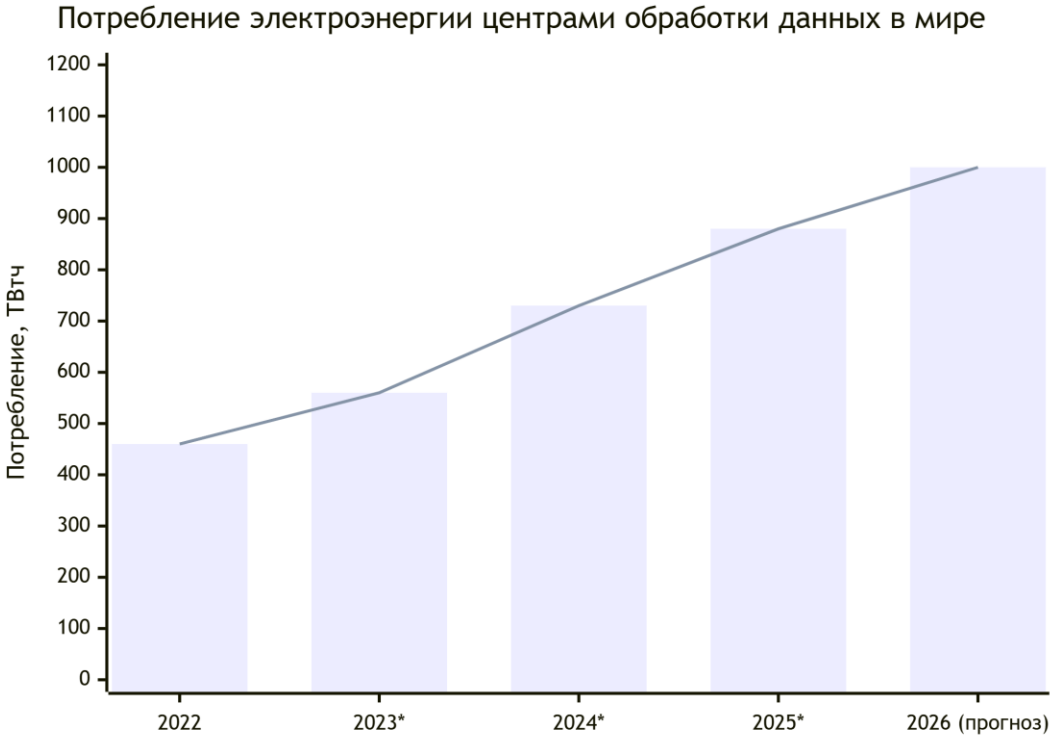
- Потребление ЦОД включает энергозатраты на вычисления, хранение данных и охлаждение.

- IEA (International Energy Agency) – Международное энергетическое агентство, автономный международный орган в рамках Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР)

Актуальность

Прогноз роста **мирового** потребления электроэнергии ЦОД (2022-2026)

Потребление электроэнергии ЦОД (с учетом ИИ и криптовалютным сектором) может удвоиться к 2026 году. ЦОДы являются важными факторами роста спроса на электроэнергию во многих регионах. После глобального потребления примерно 460 тераватт-часов (ТВт*ч) в 2022 году, общее потребление электроэнергии центрами обработки данных может превысить 1000 ТВт*ч в 2026 году. Этот спрос примерно соответствует потреблению электроэнергии в Японии. Обновленные правила и технологические усовершенствования, в том числе в области повышения эффективности, будут иметь решающее значение для сдерживания резкого роста потребления энергии центрами обработки данных.



** Столбцы и линия показывают прогнозируемый рост потребления электроэнергии ЦОД.*

*Значения для 2023-2025 годов (*) являются оценочной интерполяцией на основе заданного темпа роста и конечной цели в >1000 ТВт*ч к 2026 году.*

*Критический порог: К 2026 году потребление ЦОД (>1000 ТВт*ч) будет сопоставимо с современным годовым потреблением электроэнергии всей Японии.*

Основные драйверы роста: электрификация, экспансия сектора ЦОД, развитие ИИ и криптовалют.

Актуальность

Динамика развития рынка ЦОД в **России** по прогнозам «Рексофт»*

РФ активно развивает ЦОД-строительство с тенденцией роста **плюс 100 МВт*ч/год**.
Исследование российского рынка показало, что мощность коммерческих ЦОД в России к 2028г. увеличится втрое, достигнув **2,3ГВт*ч**.(*) При этом более 50% всех ЦОДов сосредоточено в Москве и Московской области, что создает определенные риски энергодефицита в регионе.

Показатель	2024 год	2028 год (прогноз)
Мощность коммерческих ЦОД	**841,5 МВт**	**2,3 ГВт**
Количество стоек	**68,5 тыс. шт.**	**>100 тыс. шт.**
Доля Москвы и МО	**>50%**	**>75%**

Распределение ЦОД по регионам мира характеризуется следующей концентрацией: в США – 33%, в Европе – 16%, в Китае – 10% от общемирового объема. Особенностью последних лет является стремительный рост энергопотребления специализированных ЦОД для искусственного интеллекта и криптовалют.
В 2022 году в мире насчитывалось более 8000 ЦОД, к 2026 году это значение кратно увеличится.

** Примечания:*

«Рексофт» оказывает полный спектр услуг в области цифровой трансформации предприятий: от формирования бизнес-стратегии и управления трансформацией до внедрения информационных систем, заказной разработки ПО и поддержки, реализации под ключ проектов в области промышленной автоматизации.

*Существуют разные оценки увеличение электропотребления всех ЦОД в РФ. Они колеблются в пределах от 1,7 до 3,6 ГВт*ч.*

Структура ЦОД

ЦОД является сложным энерго технологическим объектом, состоящим из различного рода зданий и сооружений..

Распределение мощности внутри ЦОД

Ключевым индикатором энергоэффективности работы ЦОД является показатель PUE (**Power Usage Effectiveness**). Он рассчитывается как отношение общего энергопотребления ЦОД к потреблению энергии серверных стоек (ИТ-оборудования):

$$PUE = \frac{N_общ}{N_ит}$$

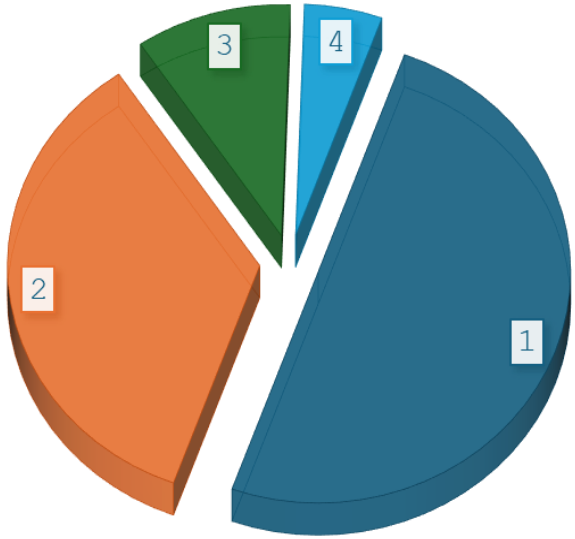
где N_ит – энергопотребление ИТ-оборудования;

N_общ – общее энергопотребление ЦОД.

Установлено, что чем ближе значение PUE к единице, тем более эффективно используется энергия.

В российском ЦОД-строительстве среднее значение PUE варьируется от 1,3 до 1,5, что указывает на наличие значительного потенциала для повышения энергоэффективности. Он варьируется от 30 до 50%.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЦЕНТРОВ ОБОРАБОТКИ ДАННЫХ (ЦОД)



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

Недоиспользование теплового потенциала

Во всех существующих технологиях системы охлаждения ЦОД одна и та же проблема – **недоиспользование теплового потенциала**.

Теплопоступления от серверных стоек машинного зала сопоставимы с их электропотреблением: **50% общего электропотребление ЦОД, это электропотребление серверных стоек.**

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

ЦОД Росатом – тепловые потери **18 МВт/час**;
ЦОД 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°С**) их дальнейшее использование в тепловых системах, таких как **Отопление и Горячее водоснабжение** (ГВС), проблематично.

Минимальные тепловые графики некоторых систем:

- Отопление:	80÷60°С;
- ГВС:	70÷55°С.

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

Проблема заключается в том, что I-я ступень ГВС и подпиточная вода системы Отопления имеют как правило **небольшие мощности** (нагрузки) в объеме объекта ЦОД.

Административно-бытовой корпус (АБК) и учет инсоляции

Проведен сравнительный анализ влияния инсоляции для различных городов РФ (Санкт-Петербург, Москва, Ростов-на-Дону, Екатеринбург, Новосибирск). Показано, что для южных регионов (на примере Ростова-на-Дону) нагрузка от инсоляции может превышать значения для центрального региона на 13%, что требует корректировки при проектировании холодильной мощности.

На основе проведенного анализа разработаны практические рекомендации для проектирования АБК ЦОД в различных климатических зонах:
- для европейской части РФ (Санкт-Петербург, Москва, Екатеринбург, Новосибирск): влияние инсоляции лежит в пределах ±6,3%, что позволяет использовать типовые проектные решения;
- для южных регионов (Ростов-на-Дону): нагрузка от инсоляции превышает московские показатели на 25,2%, что требует увеличения холодильной мощности на 13% по сравнению с центральным регионом;
- универсальные рекомендации: при уменьшении площади светопрозрачных конструкций влияние солнечной энергии снижается пропорционально, что следует учитывать на стадии архитектурного проектирования.

Компонент теплового баланса	Значение, кВт	Доля в общей
Инсоляция через окна	1195,9	50,9
Теплопритоки через стену/крышу	279,9	11,9
Вентиляция	123,1	5,2
Люди	182,0	7,8
Оборудования	567,8	24,2
Итого	2348,8	100

Таблица пиковых теплопритоков в летнее время (13:00)

Установлено, что теплопоступления от солнечной радиации могут составлять до половины общей холодильной нагрузки в летний период.

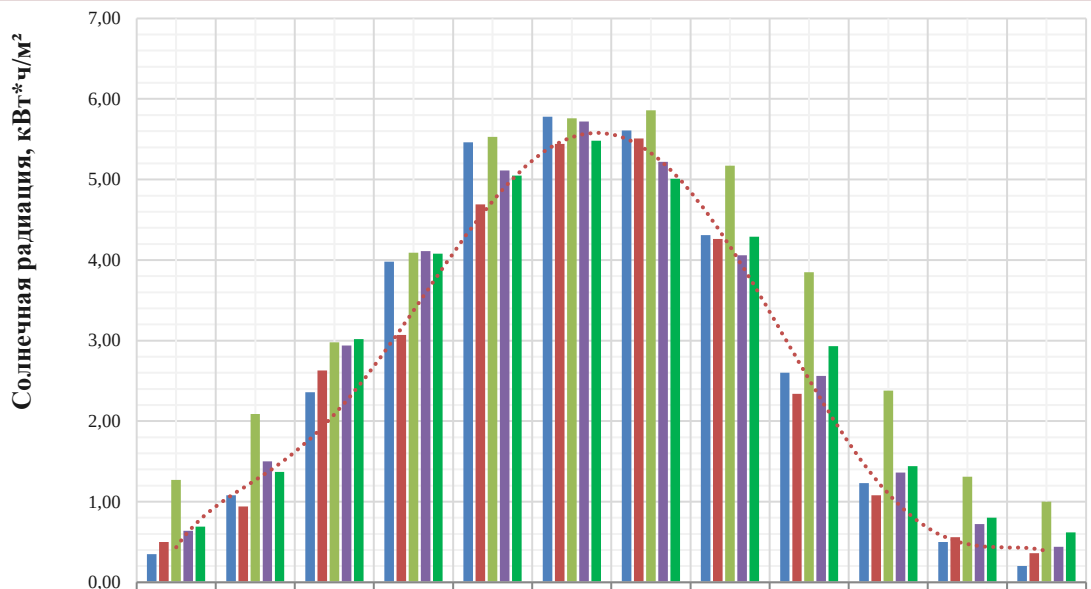
АБК и учет инсоляции

Среднее значение дневной суммы солнечной радиации (горизонтальная площадка) в кВт*ч/м2, по выбранным городам РФ по данным местной метеостанции за последние 5 лет.

Полиномиальная линия построена по отношению средних показателей значений дневной суммы солнечной радиации на основе данных центрального региона РФ города Москвы.

Дальнейший анализ этих отличий позволит определять с некоторой долей вероятности корректировки тепловых и холодильных нагрузок при построении тригенерационных объектов схожих по концепции.

Анализ показал существенное влияние интенсивности солнечной радиации, в особенности при увеличенной площади светопрозрачных конструкций.



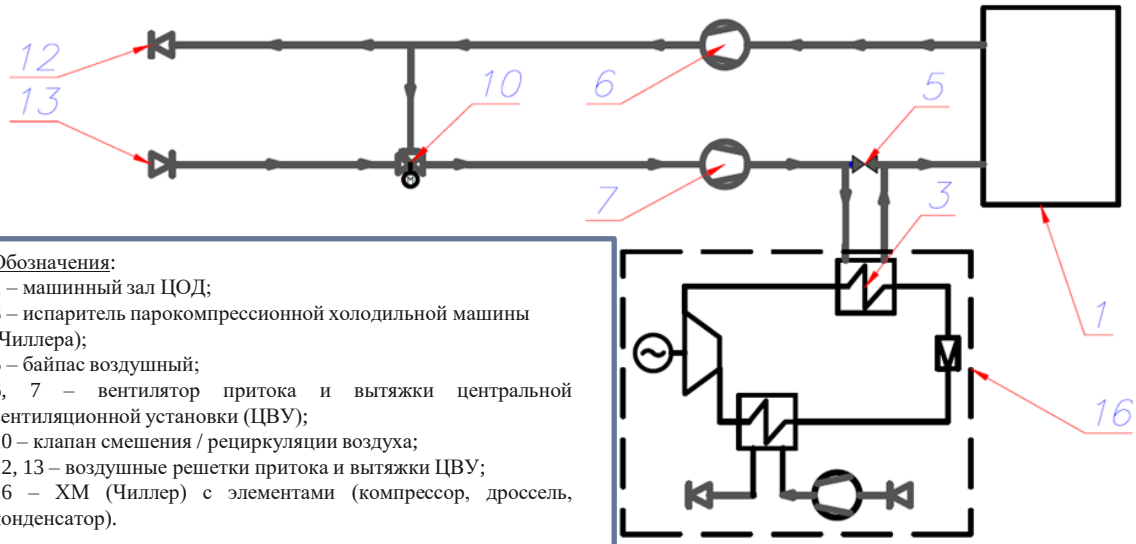
	Янв	Фев	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек
Санкт-Петербург	0,35	1,08	2,36	3,98	5,46	5,78	5,61	4,31	2,6	1,23	0,5	0,2
Москва	0,5	0,94	2,63	3,07	4,69	5,44	5,51	4,26	2,34	1,08	0,56	0,36
Ростов на Дону	1,27	2,09	2,98	4,09	5,53	5,76	5,86	5,17	3,85	2,38	1,31	1
Екатеринбург	0,64	1,5	2,94	4,11	5,11	5,72	5,22	4,06	2,56	1,36	0,72	0,44
Новосибирск	0,69	1,37	3,02	4,08	5,05	5,48	5,01	4,29	2,93	1,44	0,8	0,62

Коэффициенты и проценты приведенные к усредненной Максимальной (в Июне, Июле месяце) инсоляции по отношению к Центральному региону РФ (г. Москва).

Для городов Санкт-Петербург, Москва, Екатеринбург и Новосибирск, влияние инсоляции лежит в пределах от -3,6 до +6,3%, что с некоторым допуском можно принять как одинаковое, находящееся в пределах ±1,5%, т.е без сущ.отличия от центр. региона (г.Москва).

Города РФ	Процент, приведенный к Москве	Месячный максимум (Июнь, Июль), кВт*ч/м²	Процентное отличие от Москвы
Санкт-Петербург	96,3407	160,60	-3,66
Москва	100,0000	166,70	0,00
Ростов на Дону	112,9574	188,30	12,96
Екатеринбург	102,4595	170,80	2,46
Новосибирск	106,2987	177,20	6,30

Для поддержания заданных параметров приточного воздуха, необходимого для охлаждения серверного оборудования ЦОД, используется парокомпрессионная холодильная машина на базе чиллера (см.рисунок).



Обозначения:
1 – машинный зал ЦОД;
3 – испаритель парокомпрессионной холодильной машины (Чиллера);
5 – байпас воздушный;
6, 7 – вентилятор притока и вытяжки центральной вентиляционной установки (ЦВУ);
10 – клапан смешения / рециркуляции воздуха;
12, 13 – воздушные решетки притока и вытяжки ЦВУ;
16 – ХМ (Чиллер) с элементами (компрессор, дроссель, конденсатор).

Недостатком данной схемы:

- НПТ, образующееся на горячем конце ХМ (конденсаторе) не утилизируется, а сбрасывается в виде балласта в атмосферу;
- COP_хм (чиллера) зависит от марки производителя и климатического региона, в среднем составляет от 3,0 до 3,5.

$$Q_конд = Q_исп + N_эл$$

$$Q_конд > Q_исп.$$

Q_конд – тепловая нагрузка конденсатора ХМ;
Q_исп – холодопроизводительность (либо тепловая нагрузка испарителя);
N_эл – электрическая мощность, потребляемая компрессором ХМ.

$$Q_исп = N_ит,\ Q_конд = Q_исп + N_эл,$$

$$\mathbf{Q_цод = Q_конд = Q_исп + N_эл}$$

Ключевые выводы:

- Общие тепловые потери ЦОД являются сумой таких элементов, как тепловые потери ИТ-стоек, сопоставимые с холодильной мощностью испарителя ХМ (Q_исп), и электрической мощности ХМ (N_эл).

Схема 2-х ступенчатой системы охлаждения ЦОД

Была разработана и запатентована 2-х ступенчатая система охлаждения ЦОД (№ 2025 105 781 от 12.03.2025г)

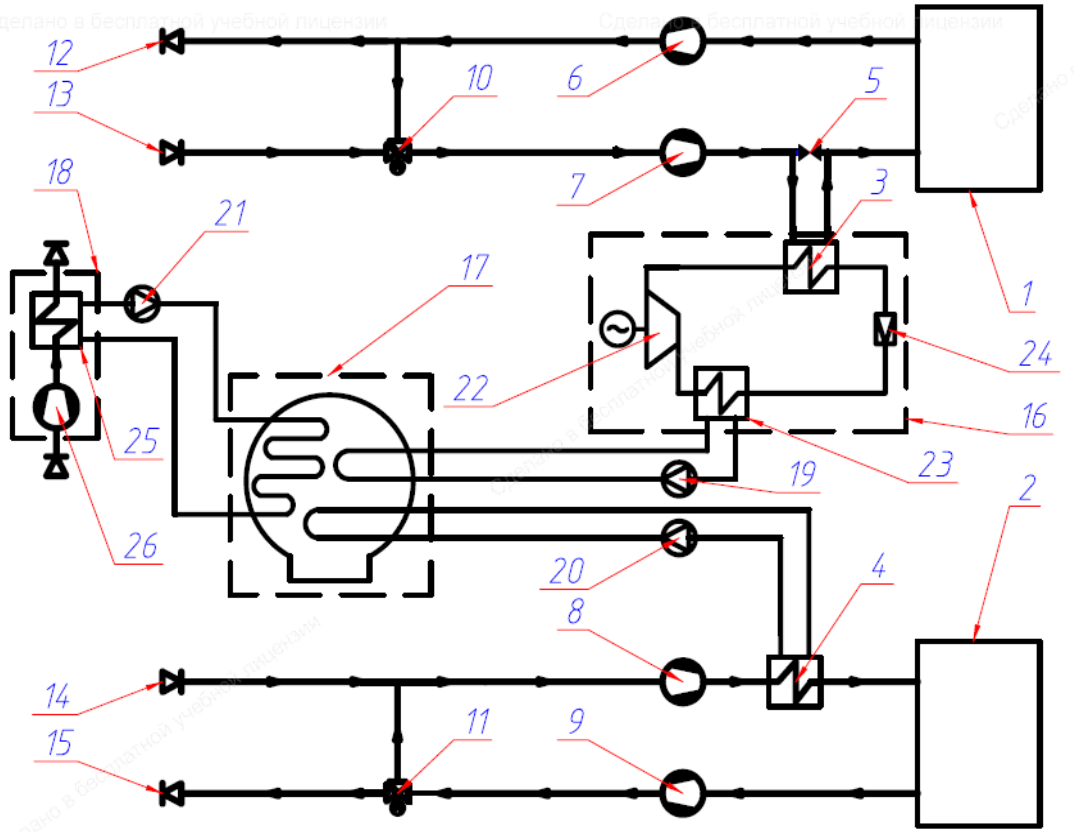
Отличия от существующих технологий:

1) Вместо часто используемой холодильной машины (1-но ступенчатого 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 парокомпрессионной 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;
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).

Схема тепловых потоков Каскадной системы

Совокупное энергопотребление центра обработки данных представлено многопараметрической функцией, где фиксированная мощность ИТ-оборудования – **базовая константа**; а климат местности, температурные режимы в маш. залах, динамика нагрузок, архитектурные особенности зданий, выбор хладагентов и режимы работы инженерных систем – являются **управляемыми переменными**.

Стратегической задачей мат. модели – **синергетическая** оптимизация всей совокупности управляемых параметров для проектирования высокоэффективных и экономически устойчивых объектов.

Основной вариант – каскадная схема (тепловой каскад), в котором НПТ серверов ЦОД (Qотв) поступает в испаритель ТНУ.

ТНУ, потребляя электроэнергию (Nтн), поднимает его температуру до высокого уровня (ТвТНУ ≥ 95°C) в конденсаторе. Полученное уже высокопотенциальное тепло (Qтн) напрямую используется как источник тепла для генератора АБХМ, где вырабатывается полезная холодильная мощность (Q0АБХМ). Наличие прямой последовательной (каскадной) утилизации тепла с двукратным преобразованием: «тепло → более высокотемпературное тепло → холод» создает **синергетический эффект**.

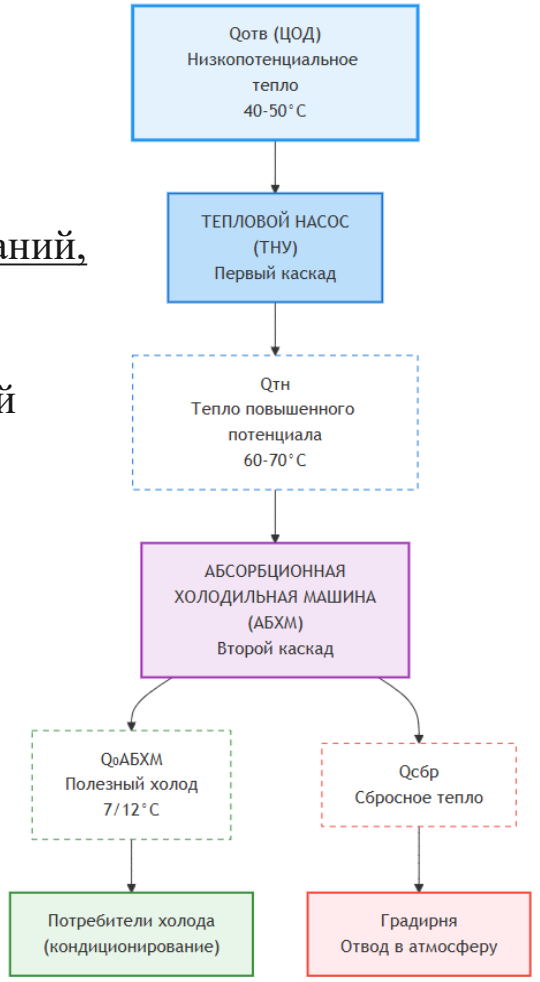


Схема тепловых потоков Каскадной схемы системы Охлаждения

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°С (идеально для систем кондиционирования);

Аммиачные / в качестве хладагента - аммиак NH3, а в качестве абсорбента - вода; минимальная температура охлаждаемой жидкости: -35°С.

Параметры теплонасосной установки:

1. Фреон R134a (тетрафторэтан) относится к группе гидрофторуглеродов (ГФУ);
2. Повышенная температура испарения tисп. = 18°С;
3. Высокая температура конденсации tк = 110°С;
4. Нагрев контура теплоснабжения АБХМ до t’абхм = 105°С.

Параметры абсорбционной установки:

2. Работа на «горячей воде»: Единичная холодопроизводительность – от 300 до 20 000 кВт; Минимальная температура горячей воды – не ниже 80°С; Максимальная температура горячей воды – не выше 170°С; Температура охлажденной воды – не ниже +5°С; Отношение холодопроизводительности к затраченной тепловой мощности 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.

Особенности температурного режима различных стоек

Вариант 1: **IT стойки**: tг.к.=40,0°С; tх.к.=25,0°С;

- одноступенчатое охлаждение: **1.1** - в ТНУ **40,0÷25,0°С**; h'=76,18; h"=60,63; Δh=15,55 кДж/кг.

- двухступенчатое охлаждение: **1.2** - в ТНУ **40,0÷30,0°С**; h'=76,18; h"=65,81; Δh=10,37 кДж/кг.

- в АБХМ 30,0÷25,0°С; расчет АБХМ не производим!

Вариант 2: **ODM стойки**: tг.к.=48,5°С; tх.к.≈40,0°С (не нормируется);

- одноступенчатое охлаждение: **2.1** - в ТНУ **48,5÷40,0°С**; h'=106,86; h"=97,99; Δh=8,87 кДж/кг.

2.2 - в ТНУ **48,5÷30,0°С**; h'=106,86; h"=87,85; Δh=19,31 кДж/кг.

- двухступенчатое охлаждение: не имеет смысла!

Энтальпии воздуха в расчетных точках по вариантам расчета:

1.1 h'=76,18; h"=60,63; Δh=15,55 кДж/кг.

1.2 h'=76,18; h"=65,81; Δh=10,37 кДж/кг.

2.1а h'=106,86; h"=97,99; Δh=8,87 кДж/кг.

2.1б h'=106,86; h"=87,85; Δh=19,31 кДж/кг."

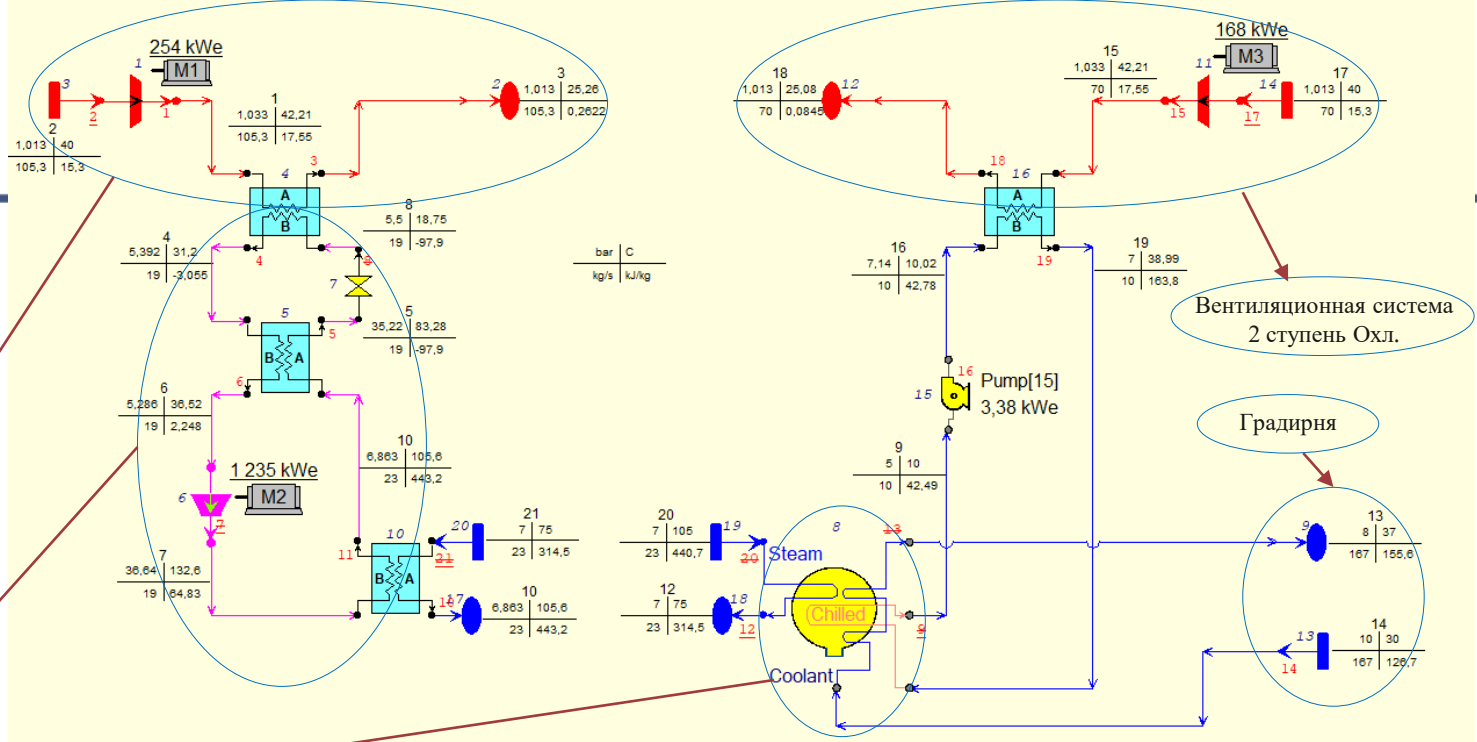
Принципиальная схема 2-х ступ. охлаждения ЦОД в Termaflex

Цвета линий и рабочие среды:

Красный – воздух;

Синий – вода;

Фиолетовый – фреон.



Вентиляционная система 1 ступень Охл.

ТНУ

АБХМ

Вентиляционная система 2 ступень Охл.

Градирня

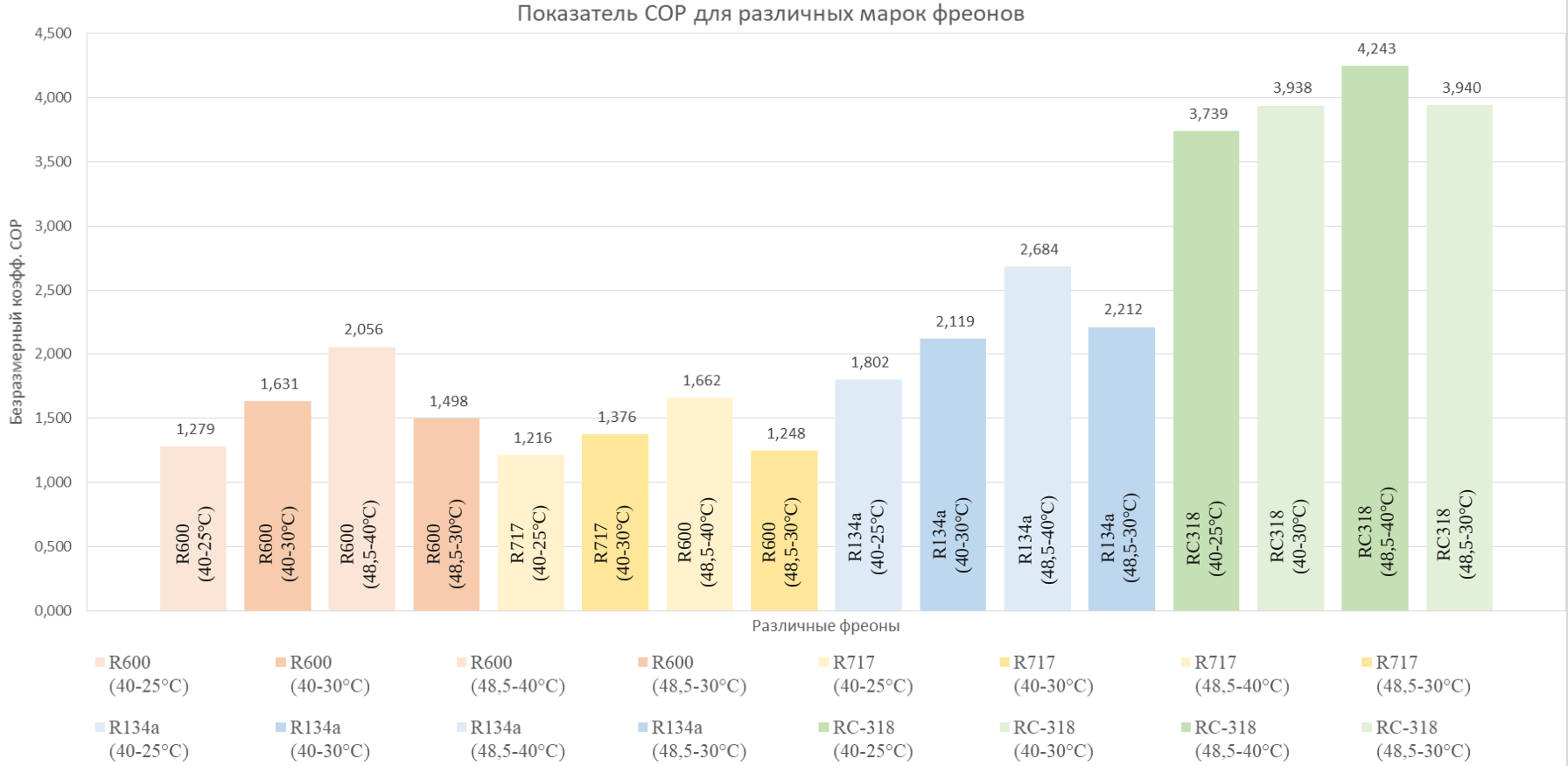
```
Refrigerant Compressor[6]: Shaft power required
                    1191,4 kW

Plant auxiliary                 1660,1 kW
Refrigeration cycle cooling     1619   kW
Refrigeration cycle COP         1,516

General HX[4]: Heat transfer 1802   kW
General HX[5]: Heat transfer 100,8  kW
General HX[10]: Heat transfer 2960,2 kW
General HX[16]: Heat transfer 1210,2 kW

CHP efficiency                  16,83  %
```

Гистограмма по COP для различных фреонов

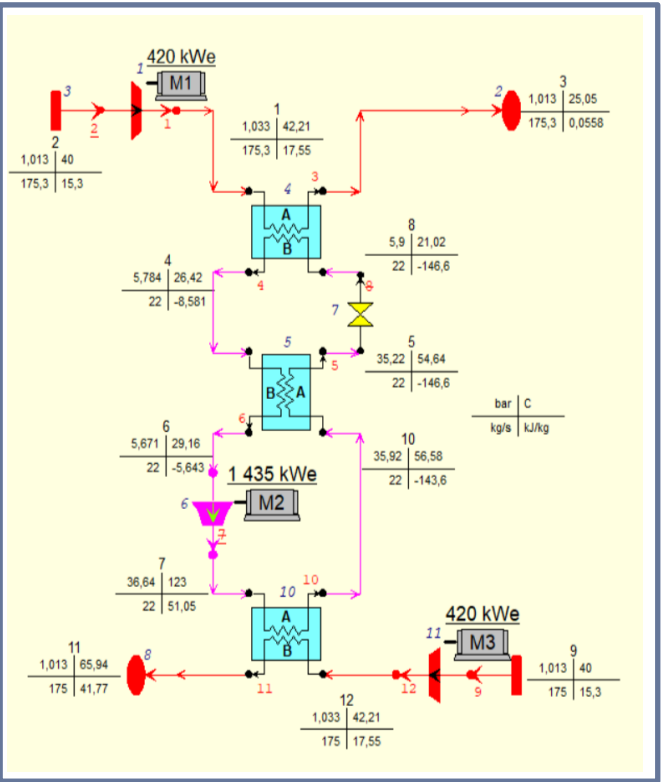


Критерии выбора марки фреона для ТНУ

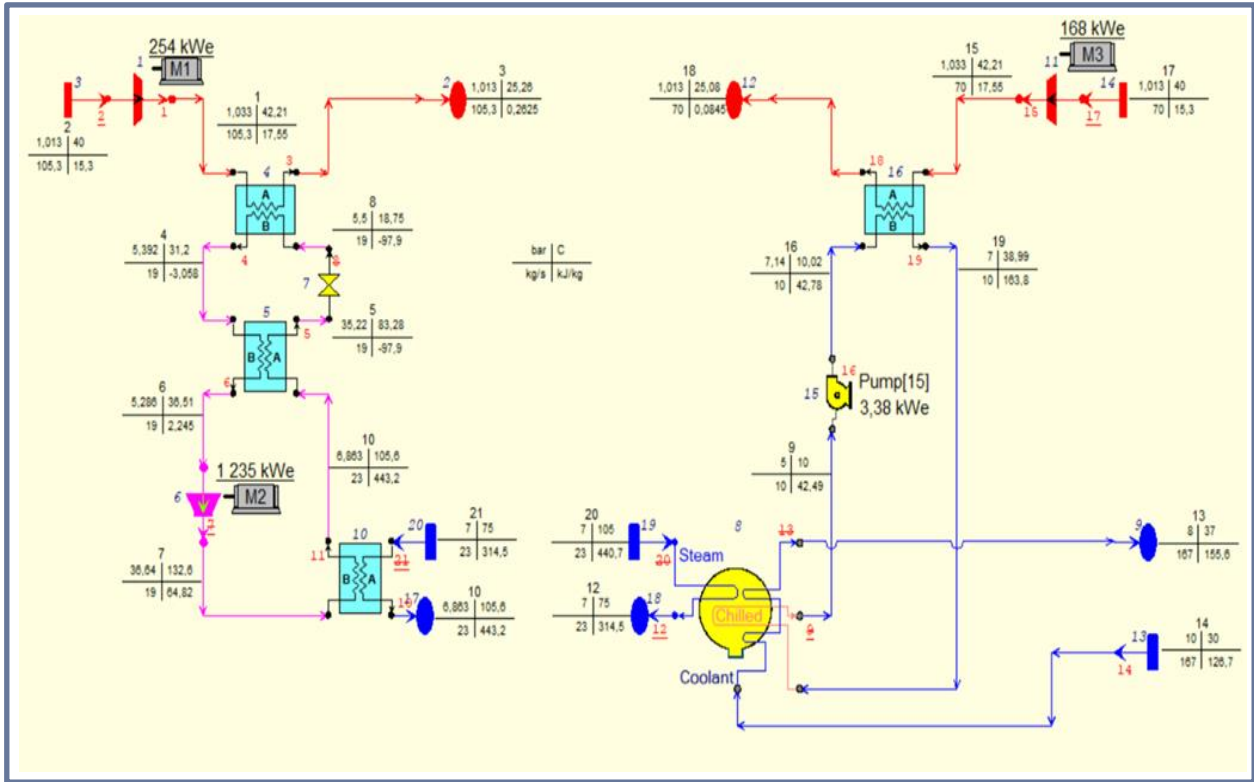
1. **Экологические свойства**: это включает в себя потенциал разрушения озонового слоя (ODP) и глобальное потепление (GWP); фреоны, которые имеют низкие значения ODP и GWP, считаются более экологически безопасными.
2. **Энергетическая эффективность**: эффективность работы системы кондиционирования зависит от выбранного хладагента; некоторые фреоны могут обеспечить лучшую производительность при меньшем потреблении энергии, что важно для снижения эксплуатационных расходов.
3. **Безопасность и токсичность**: хладагенты должны быть безопасны для здоровья человека и окружающей среды; это включает в себя оценку их токсичности, воспламеняемости и потенциального воздействия на здоровье.
4. **Стоимость и доступность**: экономические факторы также играют важную роль; стоимость фреона и его доступность на рынке могут существенно повлиять на выбор, особенно для промышленных систем.
5. **Совместимость с оборудованием**: необходимо учитывать, насколько выбранный фреон совместим с существующими системами и материалами, из которых они изготовлены.

Сравнение моделей Универсальной и 2-х ступ. системы охлаждения построенных в Thermoflex

Универсальная или одноступенчатая система охлаждения ЦОД



Двухступенчатая система охлаждения ЦОД, построенная в программном комплексе Termoflex



Верификация расчетных данных

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

№	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	Gв	кг/с	175,3	175,3	105,3
1.3	Температура воздуха начала охлаждения	tвх	°С	40,0	40,0	40,0
1.4	Температура воздуха конца охлаждения	tвых	°С	25,0	25,0	25,0
1.5	Марка фреона	R		**134a**	**134a**	**134a**
1.6	Массовый расход фреона в системе	Gф	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		Nэл.компр.	кВт	1 435,0	1 235,0	1 407,3
2.4		Nэл.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

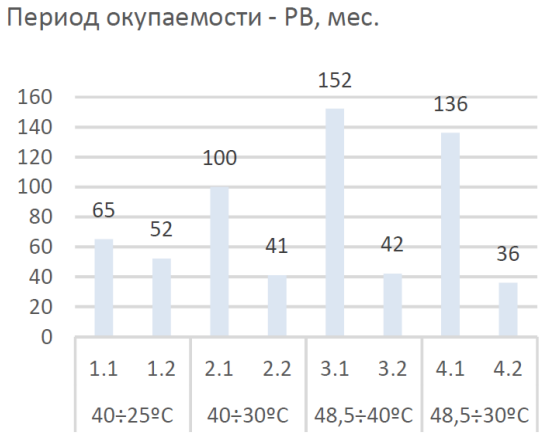
Верификация расчетных данных

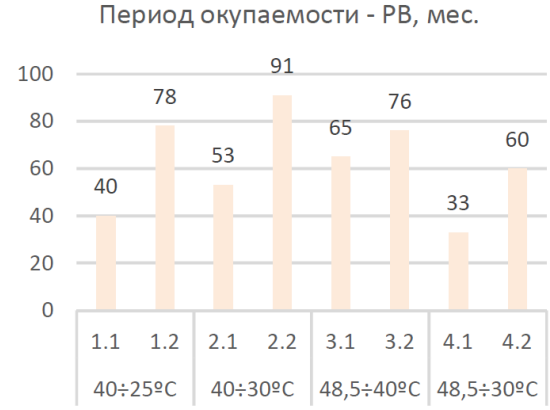
Основным показателем при сравнении различных систем охлаждения , является индекс COP (Coefficient of Performance), индекс энергетической эффективности при работе на обогрев, рассчитываемый по формуле:

$$COP = \frac{Qтну}{Nтну+Nцн.тп}$$

№	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	COP (Coefficient of Performance) – индекс энергетической эффективности при работе на обогрев. Обозначает соотношение выработанной энергии тепла (Qтну) при полной нагрузке к потребляемой мощности (Nтну+Nцн.тп)	без учета собственных нужд	1,901	2,291	2,768
4.2		с учетом собственных нужд	**1,197**	**1,697**	**2,108**

Гистограммы периодов окупаемости и сводная таблица экономии электрической энергии на привод ТНУ при использовании различных систем охлаждения в сравнении с двухступенчатой системой охлаждения ТНУ+АБХМ





Обрудование	Фреон	вариант	Темп. охл, °C	Мощ-ть, кВт	кВт / кг/с возд	кВт / кг/с возд	**Экономия** электроэнергии по Plant auxiliary, **кВт*ч**		
							кВт*час	**кВт*год**	кВт*мес.
ТНУ	R-134a	1.1	40÷25	1466,4	13,93	4,80	505,79	4 430 679,07	369 223,26
ТНУ+АБХМ				1599,2	9,12				
Чиллер	R-134a	1.1	40÷25	2274,9	12,98	3,85	675,70	5 919 132,00	493 261,00
ТНУ+АБХМ				1599,2	9,12				
ТНУ	R-134a	1.2	40÷30	1025,1	9,74	3,06	322,35	2 823 743,61	235 311,97
ТНУ+АБХМ				1303,4	6,67				
Чиллер	R-134a	1.2	40÷30	2019,4	11,52	4,85	849,48	7 441 415,91	620 117,99
ТНУ+АБХМ				1303,4	6,67				
ТНУ	R-134a	2.1	48,5÷40	865	8,21	1,96	206,46	1 808 574,65	150 714,55
ТНУ+АБХМ				908,7	6,25				
Чиллер	R-134a	2.1	48,5÷40	1902	10,85	4,60	805,68	7 057 768,01	588 147,33
ТНУ+АБХМ				908,7	6,25				
ТНУ	R-134a	2.2	48,5÷30	1277,3	12,13	2,23	234,88	2 057 513,61	171 459,47
ТНУ+АБХМ				1586,9	9,90				
Чиллер	R-134a	2.2	48,5÷30	2726	15,55	5,65	990,61	8 677 713,38	723 142,78
ТНУ+АБХМ				1586,9	9,90				
ТНУ	RC-318	1.1	40÷25	1665,2	15,81	8,85	931,59	8 160 764,92	680 063,74
ТНУ+АБХМ				2162,5	6,97				
Чиллер	RC-318	1.1	40÷25	1142,3	10,85	3,88	408,69	3 580 160,92	298 346,74
ТНУ+АБХМ				2162,5	6,97				
ТНУ	RC-318	1.2	40÷30	1207,6	11,47	6,09	641,76	5 621 808,23	468 484,02
ТНУ+АБХМ				1738,9	5,37				
Чиллер	RC-318	1.2	40÷30	912	8,66	3,29	346,16	3 032 352,23	252 696,02
ТНУ+АБХМ				1738,9	5,37				
ТНУ	RC-318	2.1	48,5÷40	1028,2	9,76	4,88	514,15	4 503 932,10	375 327,68
ТНУ+АБХМ				1581,7	4,88				
Чиллер	RC-318	2.1	48,5÷40	954,7	9,07	4,18	440,65	3 860 072,10	321 672,68
ТНУ+АБХМ				1581,7	4,88				
ТНУ	RC-318	2.2	48,5÷30	1844,2	17,51	9,68	1 019,06	8 926 965,30	743 913,78
ТНУ+АБХМ				2323,4	7,84				
Чиллер	RC-318	2.2	48,5÷30	1376,9	13,08	5,24	551,76	4 833 417,30	402 784,78
ТНУ+АБХМ				2323,4	7,84				

На основании проведенного комплексного исследования в области повышения энергоэффективности ЦОД за счет утилизации НПТ сформулированы **следующие выводы**:

1. Предложена и научно обоснована методика расчета тепловой схемы и математическая модель системы охлаждения ЦОД каскадного типа, включающая задачу параметрической оптимизации с целью уменьшения энергопотребления. Выведен универсальный критерий энергетической эффективности (COP_сист) системы, демонстрирующий эффект каскадного преобразования.
2. Разработана и запатентована двухступенчатая каскадная схема утилизации НПТ ЦОД в системе охлаждения на основе комбинации ТНУ и АБХМ. Ключевым преимуществом схемы является повышение температурного потенциала сбросного тепла серверов с 40÷50°С до 95÷105°С, что позволяет эффективно использовать его в АБХМ для выработки технологического холода.
3. Впервые установлено и оценено значительное влияние инсоляции на энергопотребление административно-бытового корпуса ЦОД. Показано, что в южных регионах России (на примере Ростова-на-Дону) теплопритоки через светопрозрачные конструкции могут увеличивать холодильную нагрузку летом на 13% по сравнению с расположением АБК ЦОД в центральным регионе РФ, что необходимо учитывать при проектировании технических решений.
4. Разработана модель в программном комплексе Thermoflex, подтверждающий высокий энергетический потенциал разработанной системы. Показана экономия электроэнергии на собственные нужды ЦОД (снижение эл.мощности на привод компрессора) от использования двухступенчатой системы. Экономия при правильно подобранных режимах может достигать до 8÷13% в сравнении с традиционными чиллерами или одноступенчатыми ТНУ.

продолжение выводы:

5. Выявлено влияние факторов, таких как выбор хладагента и температурных режимов, на эффективность системы. Использование фреона RC-318 демонстрирует более высокие показатели энергоэффективности COP в ряде режимов (например, COP = 4,24 для узкого диапазона 48,5/40,0°C), однако его применение требует дополнительной проработки и учета конструктивных решений. Показано, что на данном этапе развития науки и техники, использование фреона R-134a остается наиболее надежным и предпочтительным вариантом.

6. Показан и математически описан ключевой термодинамический оптимум (trade-off – ситуационное решение, включающее в себя уменьшение или потерю одного качества, количества или свойства взамен другого) системы, заключающийся в поиске баланса между температурой греющего контура, подаваемого в АБХМ, и эффективностью ступеней ТНУ и АБХМ, что в свою очередь, является обоснованием необходимости внедрения систем управления.

7. Проведенный технико-экономического анализ (на примере ЦОД мощностью 1,5 МВт) показал, что внедрение двухступенчатой системы может быть инвестиционно привлекательным. Наилучшие экономические показатели (NPV > 102 млн руб., срок окупаемости PB от 33 до 65 месяцев) достигаются при использовании каскадной схемы (ТНУ+АБХМ) с фреоном RC-318 при условии сравнения с традиционными системами охлаждения на базе чиллера.

8. Выявлено, что для разных комбинаций оборудования и хладагентов годовая экономия электроэнергии может составлять от 1,8 до 8,9 млн. кВт*ч для рассматриваемого типового ЦОД (эл.мощностью 1,5 МВт), что приводит к значительному снижению операционных расходов (OPEX) и углеродного следа.

В качестве практической значимости данной работы можно отметить проявленный интерес компаний ПАО «Сбер» и ООО «Смарт Констракшн» по внедрению рассматриваемой технологии

ООО «СМАРТ КОНСТРАКШН»
121205, г. Москва, ул. Новая
«Сколково инновационного центра
тер. д. 5, офис 3/27, 28, 29, 1, 2, 3
E-mail: info@smstc.ru
тел.: +7 495 280-78-00
www.smstc.ru

УТВЕРЖДАЮ
И.О. Генерального директора ООО «Смарт Констракшн»

А.Н. Ермаченков
подпись

АКТ об использовании результатов диссертационного исследования

Комиссия в составе:

председатель — Кондаков Никита Андреевич, заместитель директора по строительству

члены комиссии: — Латыпов Радик Рамильевич, руководитель центра, группа строительства.
Артамонов Александр Александрович, руководитель программ по технической политике.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Сидорова Дмитрия Владимировича «Исследование и разработка современных тригенерационных энергообъектов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы», могут быть использованы при разработке технических предложений и проектов охлаждения центров обработки данных (ЦОД).

Основные используемые результаты научных исследований:

1. Применение запатентованной технологии двухступенчатого охлаждения ЦОД в составе теплонасосной установки и абсорбционной холодильной машины на новых объектах строительства.
2. Выбор числа контуров и типов хладагентов теплонасосной установки в составе ТНУ.

Область и форма внедрения: двух ступенчатая система охлаждения ЦОД, научные исследования

Социальный эффект: развитие науки и научных исследований, защита окружающей среды путем снижения вредных выбросов за счет повышения эффективности системы охлаждения.

Эффект от внедрения: Ожидаемый расчетный экономический эффект от внедрения в пересчете на экономию электроэнергии составляет от 8 до 13% в зависимости от режима работы системы охлаждения ЦОД.

Председатель комиссии: Кондаков Н.А.

Члены комиссии: Латыпов Р.Р.

Артамонов А.А.

Результаты интеллектуальной деятельности

Патенты:

1. Патент на изобретение №2848512 от 31.10.2025г. «Система двухступенчатого охлаждения центра обработки данных».

- URL: https://www.fips.ru/registersdocview/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2848512&TypeFile=html
- Дата обращения: 28.01.2026

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2848512

Система двухступенчатого охлаждения центра обработки данных

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ") (RU)*

Авторы: *Сидоров Дмитрий Владимирович (RU), Дудолин Алексей Анатольевич (RU)*

Заявка № 2025105781
Приоритет изобретения 12 марта 2025 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 октября 2025 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 12 марта 2045 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Благодарю за внимание!

Приложение 1

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

Резкий рост ИТ-технологий вызванный взрывным развитием интернета, удешевлением вычислительных мощностей, всеобщей цифровизацией экономики и общества, развитием банковской сферы и искусственного интеллекта создал спрос на инфраструктуру (ЦОД), необходимую для их устойчивого функционирования, а также к повышенному спросу на электроэнергию для обеспечения ее работы, зачастую в режиме энергодифицита.

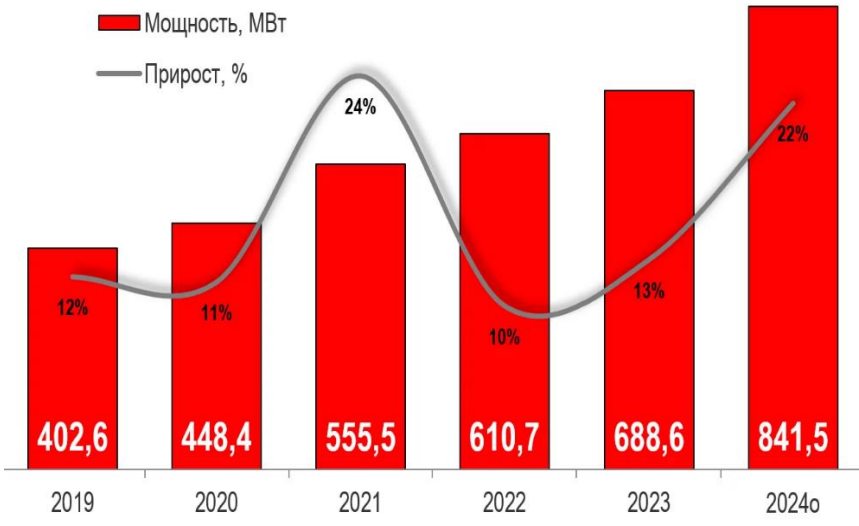
Необходимо выполнить всестороннее исследование для поиска технологий снижения электроэнергии на инфраструктуру ЦОД и повышения ее энергоэффективности. Технологические усовершенствования будут иметь решающее значение для сдерживания резкого роста потребления энергии центрами обработки данных.

Необходимо проанализировать варианты тепловых схем, показатели тепловой экономичности, тщательно изучить структуру применительно к конкретным условиям, таким как местоположение региона, климатические условия, финансовая политика страны и другие факторы.

Настоящее исследование посвящено одному из важнейших направлений повышения энергоэффективности инфраструктуры ЦОД – «полезной» утилизации низкопотенциальной теплоты, что представляет собой актуальную и неотложную задачу.

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 максимальной разрешенной электрической мощности коммерческих ЦОД в России