

НЕСТАНДАРТНЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

А.В. Затонский¹, z Xenon@narod.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1863-2535>

П.В. Плехов¹, onim@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5025-9342>

В.В. Захаров², metkol@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3321-7156>

Н.Н. Христолюбов¹, nikolay.hristolubov@yandex.ru

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Статья посвящена сравнению систем кондиционирования воздуха в центре обработки данных с учетом особенности его расположения в Пермском крае, РФ. Установлено, что применение более дорогой, но современной гибридной системы кондиционирования воздуха экономически целесообразно в данном регионе. **Цель работы.** Целью работы является оценка целесообразности и эффективности применения различных систем охлаждения воздуха с экономической точки зрения, в условиях размещения объекта на территории Пермского края. **Материалы и методы.** Сравниваются две системы охлаждения. Первая система охлаждения воздуха основана на прямой подаче холодного воздуха. Данная система имеет ограничения по температуре применения, ее можно использовать только при температурах окружающей среды ниже, чем температура охлаждаемого помещения примерно на 20 °С. Текущие затраты на электроэнергию, потребляемую на охлаждение помещения, в этом случае будут меньше. Вторая – классическая система кондиционирования, в которой охлаждение происходит за счет вскипания фреона в испарителе и последующего сжатия компрессором и переходов жидкую фазу в конденсаторе. Существуют различные вариации этой системы для практически любой климатической зоны. Текущие расходы (электроэнергия), вызванные работой этой системы, – выше. Но первоначальные затраты – меньше, так как такая система стоит дешевле. Ставится задача определить, будет ли положительный экономический эффект от внедрения системы с прямой подачей холодного воздуха. Исследование выполнено с помощью теоретических методов. Для этого взяты данные о температуре воздуха в г. Пермь за 2021 г. по дням и часам. **Результаты исследования.** Определено, какое количество дней и часов сможет работать одна или другая система: классического кондиционирования или гибридная система с возможностью прямой подачи охлажденного воздуха. Посчитаны затраты на электроэнергию при работе в первом и втором режимах. Определено количество необходимого климатического оборудования, с учетом его резервирования по схеме N+1. Определены примерные затраты на внедрение систем. **Обсуждение и заключение.** Выявлено, что затраты на внедрение более дорогой гибридной системы с поддержкой прямой подачи охлажденного воздуха в сравнении с классической системой кондиционирования окупятся в течение нескольких лет. Также определены существенные преимущества таких систем – более долгий срок службы вследствие меньшего использования компрессора системы охлаждения.

Ключевые слова: система кондиционирования ЦОД, Free Cooling, DX-система, дата-центр, движения воздушных масс в ЦОД

Для цитирования: Нестандартные подходы к организации климатических систем в центрах обработки данных / А.В. Затонский, П.В. Плехов, В.В. Захаров, Н.Н. Христолюбов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2023. Т. 23, № 3. С. 24–34. DOI: 10.14529/ctcr230303

Original article

DOI: 10.14529/ctcr230303

NON-STANDARD APPROACHES TO CLIMATE SYSTEMS ORGANIZATION IN DATA PROCESSING CENTERS

A.V. Zatonkiy¹, z xenon@narod.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1863-2535>

P.V. Plekhov¹, onim@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5025-9342>

V.V. Zakharov², metkol@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3321-7156>

N.N. Khristolyubov¹, nikolay.hristolubov@yandex.ru

¹ Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The article is devoted to comparison of air conditioning systems in a data processing center, taking into account peculiarities of its location, in Perm Krai, RF. It is established that the use of more expensive, but modern, hybrid air conditioning system is economically feasible in this region. **Purpose of work.** The aim of the work is to assess the feasibility and effectiveness of different air cooling systems from an economic point of view, under the conditions of the location of the facility in the Perm region. **Materials and methods.** Two cooling systems are compared. The first cooling system is based on a direct supply of cold air. This system has restrictions on the temperature of application, it can only be used at ambient temperatures lower than the temperature of the cooled room, about 20 °C. Current costs in the form of consumed electricity to cool the room in this case will be less. The second, classic air conditioning system. In which cooling occurs due to boiling of freon in evaporator and the following compression by compressor and transitions to liquid phase in condenser. There are different variations of this system for almost any climate zone. Running costs (electricity) caused by operation of this system are higher. But the initial costs are less, since this system costs less. The task is to determine whether there will be a positive economic effect from the introduction of a system with direct cold air supply. The research is done with the help of theoretical methods. For this purpose, data on the air temperature in the city of Perm for 2021 by day and hour were taken. **The results of the study.** Determined how many days and hours, can work one or the other system. Classical air conditioning or a hybrid system, with the possibility of direct supply of cooled air. Calculated the cost of electricity when working in the first and second modes. Determined the number of necessary climate control equipment, taking into account its redundancy under the scheme N+1. Approximate costs for the implementation of the systems have been determined. **Discussion and conclusion.** It was found that the cost of introducing a more expensive hybrid system with the support of direct chilled air, compared with the classical air conditioning system will pay off in a few years. Significant advantages of such systems are also identified. Longer service life due to less use of the compressor in the refrigeration system.

Keywords: data center air conditioning system, Free Cooling, DX-system, data center, air mass movement in data center

For citation: Zatonkiy A.V., Plekhov P.V., Zakharov V.V., Khristolyubov N.N. Non-standard approaches to climate systems organization in data processing centers. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2023;23(3):24–34. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr230303

Введение

В свете глобального развития ИТ-технологий в РФ в последние годы и, как следствие, увеличения количества и мощностей центров обработки данных (ЦОД) затраты электроэнергии на системы кондиционирования также растут. Системы кондиционирования потребляют до 30–40 % электроэнергии ЦОД. При выходе их из строя или недостаточной мощности возможно нарушение работы ЦОД, ведущее к многим неприятным последствиям. Таким образом, тема снижения затрат на климатические системы никогда не потеряет актуальность. Это подтверждает, например, информация о росте потребления электроэнергии центрами обработки данных (рис. 1), отраженная в работе [1] о том, что доля мирового потребления электроэнергии ЦОД в 2025 г. составит порядка 33 % при 10 % в 2015 г.

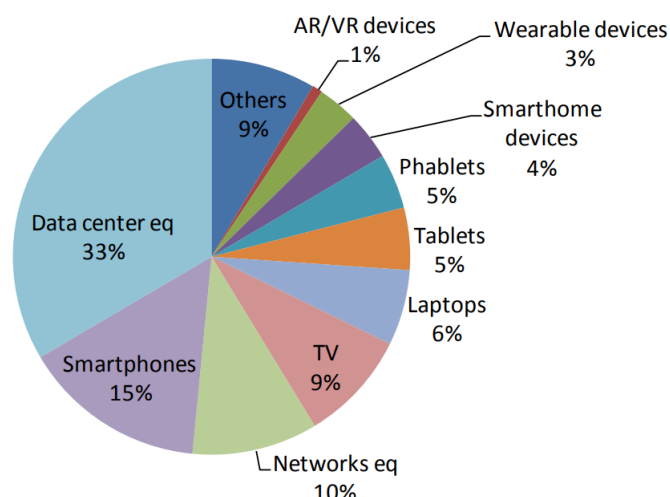


Рис. 1. Прогноз доли мирового производства информационно-коммуникационных технологий в потреблении электроэнергии по видам на 2025 г.

Fig. 1. Forecast of the share of global information and communication technology production in electricity consumption by type in 2025

- 3) малые площади позволяют размещать ЦОД в условиях густонаселенных мегаполисов ближе к потребителю услуг;
- 4) снижение ТСО.

О прогнозах тенденции роста в данном направлении можно судить на основании результата отраслевого исследования ЦОД «2020 Data Center Industry Survey Results», опубликованного Uptime institute [4].

1. Проблемы связанные с использованием оборудования высокой плотности

Исследования компании Colocation America демонстрируют тренд показателей плотности в разрезе роста мощности на одну стойку в ЦОД (рис. 2).



Рис. 2. График роста средней мощности на серверную стойку в период с 2008 по 2020 г.

Fig. 2. Graph of growth of average capacity per server rack from 2008 to 2020

Использование серверов высокой плотности (*blade chassis*) приводит к превышению возможностей климатических систем ЦОД с классическим подходом к охлаждению (использование

Кроме этого, развитие технологий серверного оборудования ведет к высокой плотности их размещения в помещениях ЦОД [2]. Плотностью центра обработки данных называют количество потребляемых киловатт на один серверный шкаф. В ближайшее время вектор развития данного направления не изменится, об этом можно судить по количеству преимуществ от его применения. Об этих преимуществах неоднократно заявлялось крупными строителями и эксплуататорами данных объектов [2, 3].

Плюсы, полученные от развития ЦОД высокой плотности:

- 1) снижение стоимости услуг для потребителя (повышение привлекательности и конкурентоспособности на рынке);
- 2) снижение стоимости строительства и аренды ЦОД;

прецизионных кондиционеров и перфорированного напольного покрытия в зоне забора воздуха оборудованием). Конструктивные особенности таких ЦОД предполагают равномерное распределение рабочих нагрузок, что проблематично при использовании вышеупомянутых технологий. Это делает невозможным дальнейшую эксплуатацию традиционного механизма обеспечения отказоустойчивости. Спроектированное по схеме N+1 климатическое оборудование будет вынуждено работать на полную мощность и потеряет функции резервирования. Также будет утерян функционал периодической ротации, что неизбежно приведет к повышенному износу оборудования. Использование механизмов миграции виртуальных машин и тиринга в системах хранения данных делает фиксацию горячей точки¹ невозможным, так как горячие участки становятся трудноуловимыми. Динамическое распределение нагрузки средствами гипервизоров максимизирует использование их потенциала и, как следствие, рост потребления электроэнергии и тепловыделения. Примеры и причины локального перегрева на рис. 3.

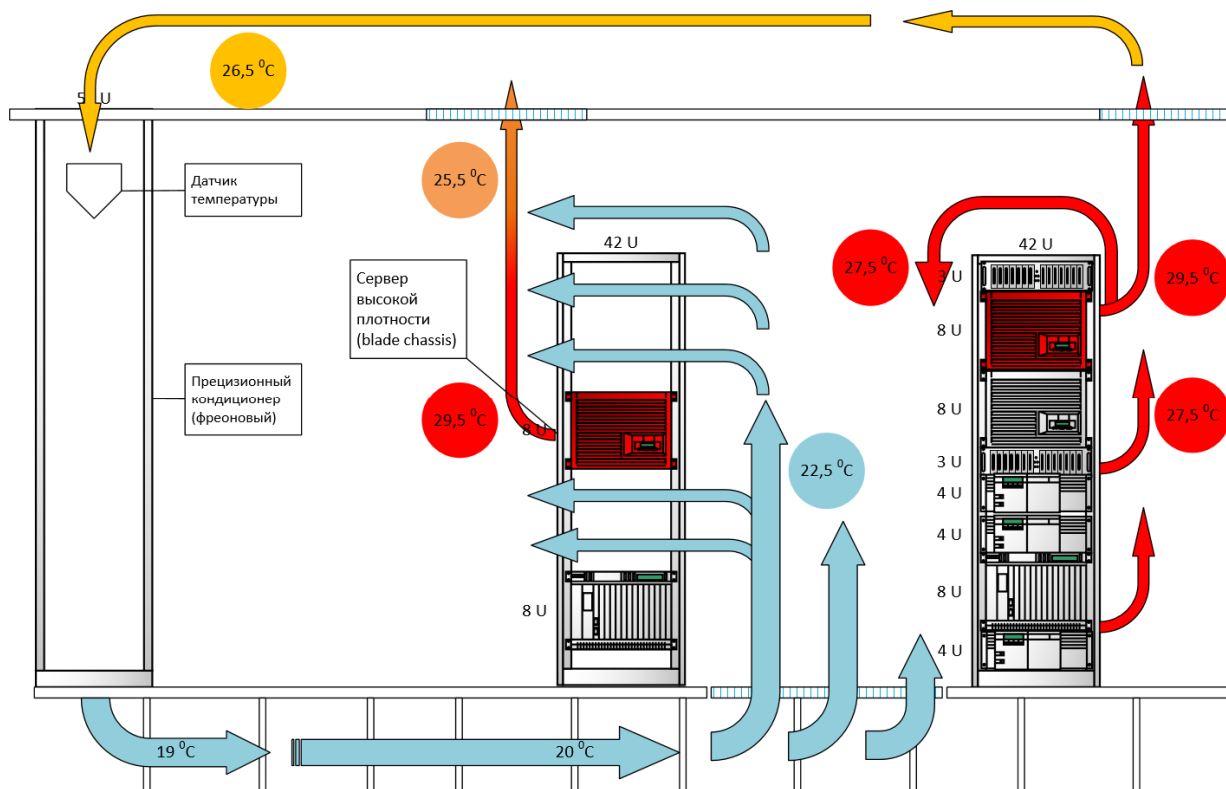


Рис. 3. Графическое представление движения воздушных масс в ЦОД²
Fig. 3. Graphical representation of air mass movement in the data center

Простой и экономически эффективный способ, позволяющий устранить данную проблему, – это модернизация климатических систем путем управления воздушным потоком. Проблемы перегрева оборудования в примере (см. рис. 3) связаны не с недостатком холодопроизводительности системы кондиционирования, а с неправильным распределением воздушных масс. В данном примере правая стойка не может получить достаточное количество холодного воздуха и поэтому вынужденно компенсирует разницу, втягивая горячий воздушный поток с тыльной стороны стойки. Левая стойка смешивает воздушные потоки горячего и холодного коридора, занижая температурные показатели датчика на кондиционере, что провоцирует снижение эффективности работы последнего. Можно сделать вывод, что действия, приводящие к уменьшению утечки и рециркуляции воздуха, будут эффективны в устранении зон с избытком тепла (рис. 4).

¹ Горячая точка – зона размещения ИТ-оборудования с температурой, превышающей допустимое значение, установленное в рекомендациях ASHRAE TC 9.9 [7].

² Горячие точки возникают чаще всего в верхней части стойки (рекомендации по тепловым нормам ASHRAE [7]).

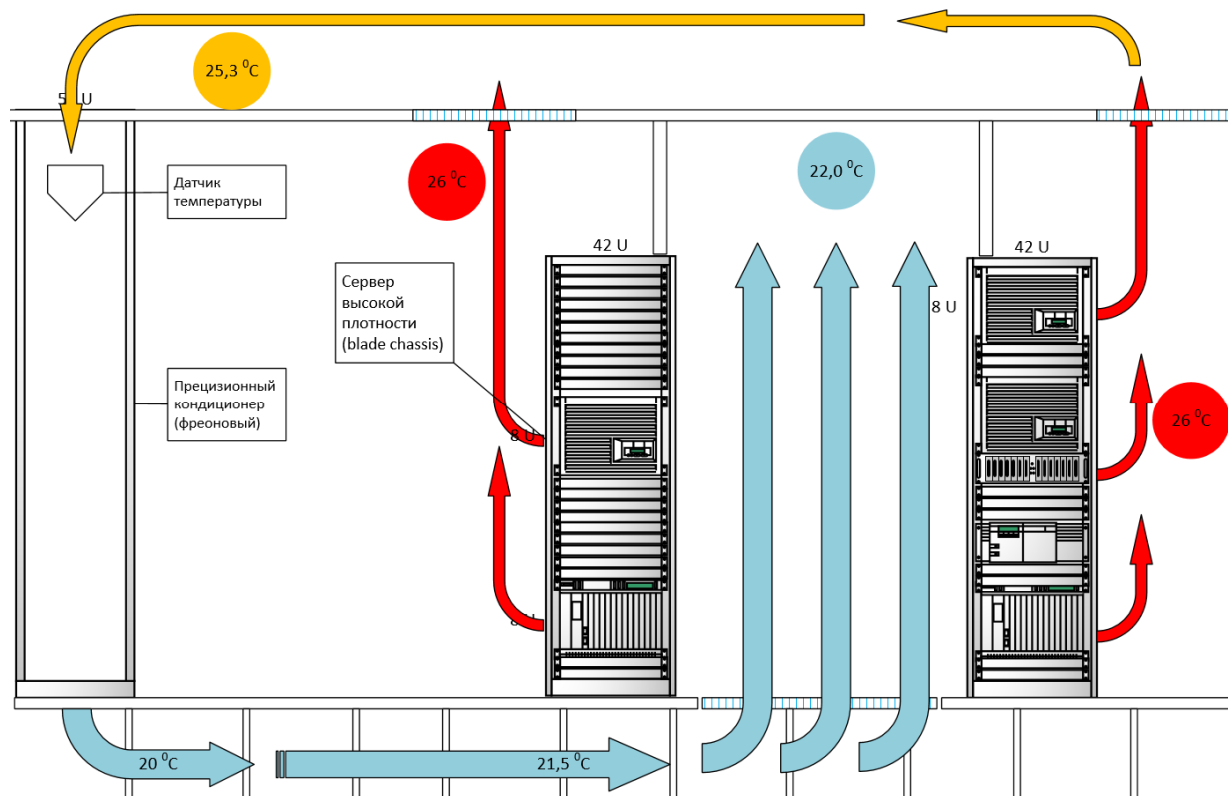


Рис. 4. Графическое представление движения воздушных масс в ЦОД с использованием системы разделения горячего и холодного коридора

Fig. 4. Graphical representation of air mass movement in a data center using a hot and cold aisle separation system

2. Материалы и методы

На примере конкретного объекта рассмотрим систему изоляции воздушных коридоров и эффективность использования прямого *Free Cooling* в климатических условиях Пермского края [5, 6, 10].

Вводные:

Место строительства – Пермский край. Расчетная географическая широта – 59° с. ш.;

- 20 серверных шкафов 600×1200 мм 42U;
- Максимальная мощность на один серверный шкаф – 10 кВт;
- Максимальная мощность на машинный зал – 170 кВт (ИТ-нагрузка);
- Схема резервирования системы бесперебойного питания – $2N$;
- Схема резервирования систем кондиционирования – $N+1$.

Для удаления тепlopоступлений в помещении машинного зала использованы кондиционеры с холодопроизводительностью не менее 92,7 кВт. Применяется резервирование кондиционеров $N+1$, то есть для удаления всех тепlopритоков достаточно двух кондиционеров, третий находится в резерве. Кондиционеры оборудованы пароувлажнителями для поддержания заданного уровня влажности в машинном зале. Направление подачи воздуха осуществляется под фальшполом, забор воздуха производится сверху.

Для удаления тепlopоступлений в помещении ИБП применены шкафные прецизионные кондиционеры с холодопроизводительностью каждого не менее 25 кВт [7]. Применяется резервирование кондиционеров $N+1$, то есть для удаления всех тепlopритоков достаточно одного кондиционера, второй находится в резерве. Направление подачи воздуха осуществляется фронтально вверх, забор воздуха производится с фронта [8–10].

Сравнивать будем два варианта систем кондиционирования: классическую *DX*-систему кондиционирования и *DX*-систему кондиционирования с функцией *Free Cooling* (свободное охлаждение). В качестве хладоносителя в режиме *Free Cooling* используется фреон [11]. Переход сис-

темы кондиционирования в режим *Free Cooling* происходит при температуре уличного воздуха +2 °С и ниже [12].

Для определения количества часов, в которые система кондиционирования будет работать в режиме *Free Cooling*, были применены статистические данные метеонаблюдений в г. Пермь за 2021 г. График изменения средней суточной температуры за 2021 г. представлен на рис. 5. Количество дней и часов фреоновой *DХ*-системы с функцией *Free Cooling* в летний и зимний периоды года приведены в табл. 1. Температура воздуха использована для г. Пермь [13–16].

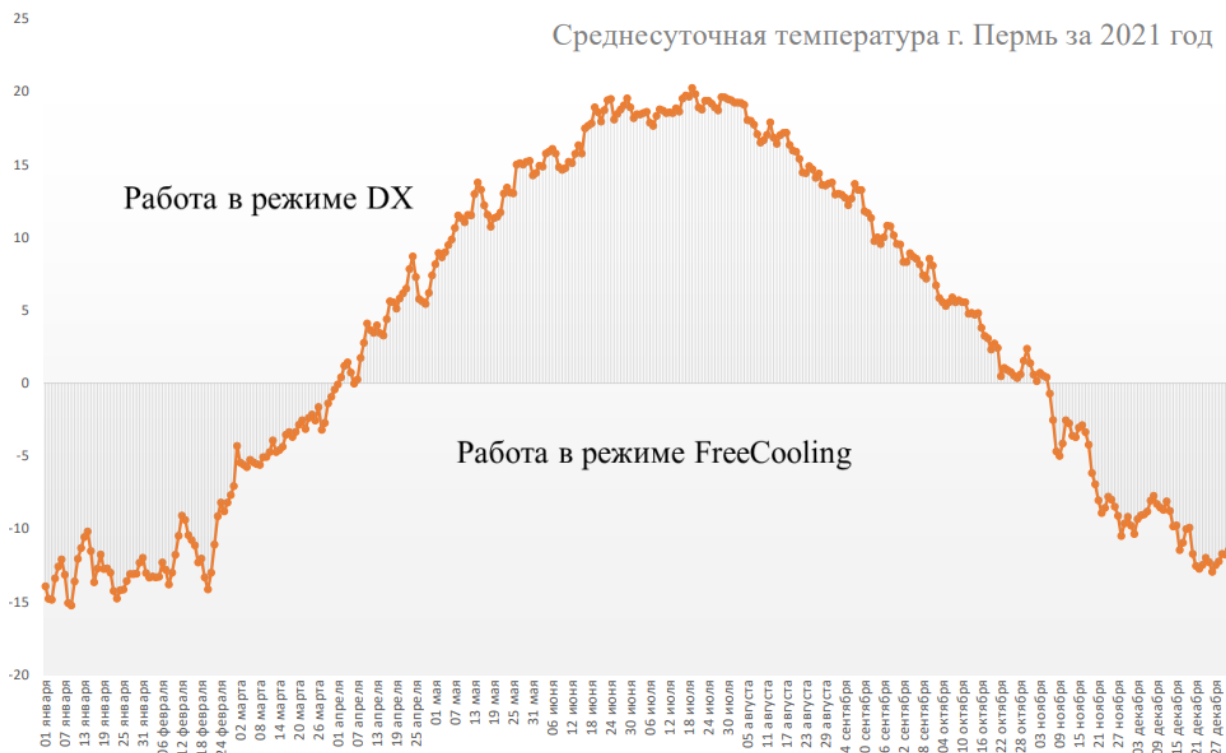


Рис. 5. График изменения средней суточной температуры за 2021 г. для г. Пермь
Fig. 5. The graph of changes in the average daily temperature for the year 2021 for Perm

Время применения рассматриваемых систем кондиционирования
Time of application of the air conditioning systems under consideration

Таблица 1
Table 1

Температурный диапазон	Количество дней	Количество часов
От -40 до +2 °С (Free Cooling)	187	4488
От +1 до +40 °С	178	4272
Итого:	365	8760

3. Результаты исследования

Ниже представлено сравнение систем с использованием функции *Free Cooling* и без нее. Также рассмотрены аналитические и расчетные сравнения решений с расчетным совокупным экономическим эффектом. В табл. 2 приведены расчетные проектные данные фреоновой *DХ*-системы охлаждения без функции *Free Cooling*, а также максимальное электропотребление одного *DХ*-шкафного прецизионного кондиционера, установленного для охлаждения машинного зала.

Максимальное электропотребление одного *DХ*-шкафного прецизионного кондиционера, установленного для охлаждения помещения ИБП, представлено в табл. 3.

Максимальное электропотребление системы кондиционирования ЦОД с применением фреоновых *DХ*-систем охлаждения без функции *Free Cooling* при 100 % проектной ИТ-нагрузке 170 кВт представлено в табл. 4.

Таблица 2

Электропотребление при максимальной проектной тепловой нагрузке в ЦОД.
Шкафной прецизионный кондиционер (Машзал)

Table 2

Electrical consumption at maximum design heat load in data center.
Cabinets precision air conditioner (Machine room)

Температура на улице, °С	Компрессор, кВт/ч	Пароувлажнитель, кВт/ч	Вентиляторы внутреннего блока, кВт/ч	Конденсатор, кВт/ч	Общая мощность потребления, кВт/ч
От -40 до +40	23,26	6,75	3,6	3,2	36,81

Таблица 3

Электропотребление при максимальной проектной тепловой нагрузке в ЦОД.
Шкафной прецизионный кондиционер (ИБП)

Table 3

Electrical consumption at maximum design heat load in data center.
Cabinet precision air conditioner (UPS)

Температура на улице, °С	Компрессор, кВт/ч	Пароувлажнитель, кВт/ч	Вентиляторы внутреннего блока, кВт/ч	Конденсатор, кВт/ч	Общая мощность потребления, кВт/ч
От -40 до +40	3,97	0	1,18	0,9	6,05

Таблица 4

Итоговая потребляемая мощность

Table 4

Total power consumption

Оборудование	Мощность, кВт/ч	Одновременная работа, кол.	Общая мощность, кВт/ч
Шкафной прецизионный кондиционер (Машзал)	36,81	2	73,62
Шкафной прецизионный кондиционер (ИБП)	6,05	1	6,05
Итого:			79,67

Поскольку система кондиционирования имеет единственный режим работы на фреоновом контуре, а режим работы ЦОД – $24 \times 7 \times 365$, то при допущении 100 % проектной ИТ-нагрузки в 170 кВт годовое потребление системы кондиционирования в натуральных и денежных единицах при средней стоимости 1 кВт/ч, равной 6 руб., приведено в табл. 5.

Таблица 5

Затраты на электроэнергию

Table 5

Electricity costs

Режим	Мощность системы кондиционирования, кВт/ч	Кол-во часов в году	Общая потребленная энергия в год, кВт/ч	Стоимость 1 кВт/ч, руб.	Общие затраты на электроэнергию, руб.
Круглогодичный	79,67	8760	697 909,20	6,00	4 187 455,20

Ниже рассмотрим аналогичные расчетные проектные данные, опираясь на ранее полученные данные о времени работы в различных режимах, но для фреоновой DX-системы охлаждения с функцией *Free Cooling*.

Максимальное электропотребление фреоновой DX-системы охлаждения ЦОД с функцией *Free Cooling* в диапазоне уличных температур воздуха от +2 °С и выше не будет отличаться от максимального потребления систем кондиционирования без функции *Free Cooling* и составит 79,67 кВт/ч.

Максимальное электропотребление одного фреонового шкафного прецизионного кондиционера в режиме *Free Cooling* (+2 °С и ниже), установленного для охлаждения машинного зала, представлено в табл. 6.

Таблица 6

Электропотребление *Free Cooling* системы (зимний режим).
Шкафной прецизионный кондиционер (Машзал)

Table 6

Electrical consumption of *Free Cooling* system (winter mode).
Cabinets precision air conditioner (Machine room)

Температура на улице, °С	Компрессор, кВт/ч	Пароувлажнитель, кВт/ч	Вентилятор внутреннего блока, кВт/ч	Конденсатор, кВт/ч	Насос, кВт/ч	Общая мощность потребления, кВт/ч
От -40 до +2	0	7,5	3,6	3,2	0,6	14,9

Максимальное электропотребление одного фреонового шкафного прецизионного кондиционера в режиме *Free Cooling* (+2 °С и ниже), установленного для охлаждения помещения ИБП, представлено в табл. 7.

Таблица 7

Электропотребление *Free Cooling* системы (зимний режим).
Шкафной прецизионный кондиционер (ИБП)

Table 7

Electrical consumption of *Free Cooling* system (winter mode).
Cabinets precision air conditioner (UPS)

Температура на улице, °С	Компрессор, кВт/ч	Пароувлажнитель, кВт/ч	Вентилятор внутреннего блока, кВт/ч	Конденсатор, кВт/ч	Насос, кВт/ч	Общая мощность потребления, кВт/ч
От -40 до +2	0	0	1,18	0,9	0,3	2,38

Максимальное электропотребление системы кондиционирования ЦОД с применением фреоновых *DX*-систем охлаждения в режиме *Free Cooling* при 100 % проектной ИТ-нагрузке 170 кВт представлено в табл. 8).

Таблица 8

Итоговая потребляемая мощность (система в режиме *Free Cooling*)

Table 8

Total power consumption (system in "Free Cooling" mode)

Оборудование	Мощность, кВт/ч	Одновременная работа, кол.	Общая мощность, кВт/ч
<i>DX</i> + <i>Free Cooling</i> шкафной прецизионный кондиционер (Машзал)	14,9	2	29,8
<i>DX</i> + <i>Free Cooling</i> шкафной прецизионный кондиционер (ИБП)	2,38	1	2,38
Итого:			32,18

Рассматриваемая система кондиционирования имеет несколько режимов работы при допущении 100 % проектной ИТ-нагрузки в 170 кВт. Годовое потребление системы кондиционирования в натуральных и денежных единицах при средней стоимости 1 кВт/ч, равной 6 руб., приведено в табл. 9.

Сравнение затрат электроэнергии

Table 9

Comparison of electricity costs

Режим	Мощность системы кондиционирования, кВт/ч	Кол-во часов в году	Общая потребленная энергия в год, кВт/ч	Стоимость 1 кВт/ч, руб.	Общие затраты на электроэнергию, руб.
Летний	79,67	4 272	340 350,24	6,00	2 042 101,44
Зимний	32,18	4 488	144 423,84	6,00	866 543,04
Итого:			484 774,08		2 908 644,48

Обсуждение и заключение

Из всего вышеописанного можно сделать вывод, что, согласно приведенным выше расчетам, суммарное годовое электропотребление двух типов систем кондиционирования отличается на 31 %, а в денежном выражении применение системы кондиционирования с функцией *Free Cooling* позволит ежегодно экономить только на электроэнергии около 1,3 млн руб., что успешно продемонстрировано в таблицах. Учитывая срок службы ЦОД и систем кондиционирования в частности, на протяжении 10 лет экономия средств составит более 13 млн руб. Учитывая разницу стоимости двух типов систем не более 26 %, система кондиционирования с функцией *Free Cooling* окупается за короткий срок (около 2 лет). Помимо существенной экономии на электроэнергии, в системах с функцией *Free Cooling* выше срок службы (на 40 %) самого дорогостоящего компонента любых фреоновых систем – компрессора, так как при работе в режиме *Free Cooling* компрессор не участвует.

Эффективность предложенной схемы была рассмотрена с экономической точки зрения, в ходе исследования был предложен метод вычисления экономии при введении естественного охлаждения в различных климатических регионах. Предложенный способ позволяет рассчитывать экономический эффект от применения классической системы регулировки климата и реализации *Free Cooling*. Наибольшую эффективность режим свободного охлаждения имеет в зимний и переходный периоды года. В летний период фрикулинг применим в регионах с низким показателем температур наружного воздуха.

Список литературы

1. Andrae A.S.G., Edler T. On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030 // Challenges. 2015. Vol. 6. P. 117–157. DOI: 10.3390/challe6010117
2. Koronen C., Åhman M., Nilsson L.J. Data centres in future European energy systems – energy efficiency, integration and policy // Energy Efficiency. 2020. Vol. 13, no. 1. P. 129–144. DOI: 10.1007/s12053-019-09833-8
3. Lawrence A. Rack Density is Rising // Uptime Institute Blog. New York, 2020. URL: <https://journal.uptimeinstitute.com/rack-density-is-rising>.
4. Ascierio R., Lawrence A. 2020 Data Center Industry Survey Results. New York: Uptime Institute, 2020. 443 p.
5. Rasmussen N. Guidelines for specifications of data center power density. American Power Conversion, 2005. 25 p.
6. СН 512-78. Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин. М.: Стройиздат, 1979. 28 с.
7. Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices. ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9, 2016. 60 с.
8. Rasmussen N. Calculating Total Cooling Requirements for Data. American Power Conversion, 2003. 9 с.
9. СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2020. 153 с.
10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2013 год. М.: Росгидромет, 2014. 109 с.

11. Чернов А.Н. Повышение эффективности работы кондиционеров, охлаждающих оборудование в центрах обработки данных: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2012. 123 с.
12. Данилов О.Л., Гаряев А.Б., Яковлев И.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и тепло-технологиях. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 424 с.
13. Климатические данные. Просмотр климатических данных Practices [Электронный ресурс]. URL: <http://pogoda-service.ru/climate.php> (дата обращения: 13.12.2022).
14. Расписание погоды. Архив погоды [Электронный ресурс]. URL: https://tp5.ru/Погода_в_мире (дата обращения: 14.12.2022).
15. Плехов П.В., Мордвинова В.Д. Статистическая проверка примет о погоде применительно к Астраханской области // Астраханский вестник экологического образования. 2021. № 4 (64). С. 142–146. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-4-142-146
16. Zatonkiy A., Bazhenov R., Beknazarova S. Advantages of freeware-based simulation tools for technical and technological modeling // Proceedings – 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021. 2021. P. 786–790.

References

1. Andrae A.S.G., Edler T. On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*. 2015;6:117–157. DOI: 10.3390/challe6010117
2. Koronen C., Åhman M., Nilsson L.J. Data centres in future European energy systems – energy efficiency, integration and policy. *Energy Efficiency*. 2020;13(1):129–144. DOI: 10.1007/s12053-019-09833-8
3. Lawrence A. Rack Density is Rising. *Uptime Institute Blog*. New York; 2020. Available at: <https://journal.uptimeinstitute.com/rack-density-is-rising>.
4. Ascierio R., Lawrence A. *2020 Data Center Industry Survey Results*. New York: Uptime Institute; 2020. 443 p.
5. Rasmussen N. *Guidelines for specifications of data center power density*. American Power Conversion; 2005. 25 p.
6. SN 512-78. *Instruktsiya po proyektirovaniyu zdaniy i pomeshcheniy dlya elektronno-vychislitel'nykh mashin* [Instructions for the design of buildings and premises for electronic computers]. Moscow: Stroyizdat; 1979. 28 p. (In Russ.)
7. *Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices*. ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9; 2016. 60 p.
8. Rasmussen N. *Calculating Total Cooling Requirements for Data*. American Power Conversion, 2003. 9 p.
9. SP 60.13330.2020 “SNiP 41-01-2003 Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha”. [SP 60.13330.2020 “SNiP 41012003 Heating, ventilation and air conditioning”]. Moscow: Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation; 2020. 153 p. (In Russ.)
10. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2013 god* [Report on the peculiarities of climate on the territory of the Russian Federation in 2013]. Moscow: Rosgidromet; 2014. 109 p. (In Russ.)
11. Chernov A.N. *Povyshenie effektivnosti raboty konditsionerov, okhlazhdayushchikh oborudovanie v tsentrakh obrabotki dannykh: dis. kand. tekhn. nauk* [Improving the efficiency of air conditioners that cool equipment in data centers. Cand. sci. diss.]. Tyumen'; 2012. 123 p. (In Russ.)
12. Danilov O.L., Garyayev A.B., Yakovlev I.V., *Energoberezheniye v teploenergetike i teplotekhnologiyakh* [Energy Saving in Heat and Power Engineering and Heat Technology]. Moscow: MPEI Publishing House; 2010. 424 p. (In Russ.)
13. *Klimaticheskie dannye. Prosmotr klimaticheskikh dannykh Practices* [Climate data. Viewing climate data]. (In Russ.) Available at: <http://pogoda-service.ru/climate.php> (accessed 13.12.2022).
14. *Raspisaniye pogody. Arkhiv pogody* [Weather Schedule. Weather archive]. (In Russ.) Available at: https://tp5.ru/Pogoda_v_mire (accessed 14.12.2022).
15. Plekhov P.V., Mordvinova V.D. Statistical check of weather omens apply to Astrakhan region. *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*. 2021;4(64):142–146. (In Russ.) DOI: 10.36698/2304-5957-2021-4-142-146

16. Zatonkiy A., Bazhenov R., Beknazarova S. Advantages of freeware-based simulation tools for technical and technological modeling. In: *Proceedings – 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021*. 2021. P. 786–790.

Информация об авторах

Затонский Андрей Владимирович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; z Xenon@narod.ru.

Плехов Павел Владимирович, канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; onim@rambler.ru.

Захаров Вадим Владимирович, ведущий инженер кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; metkol@yandex.ru.

Христолюбов Николай Николаевич, студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; nikolay.hristolubov@yandex.ru.

Information about the authors

Andrey V. Zatonkiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; z Xenon@narod.ru.

Pavel V. Plekhov, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; onim@rambler.ru.

Vadim V. Zakharov, Leading engineer of the Department of Information and Analytical Support for Management in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; metkol@yandex.ru.

Nikolay N. Khristolubov, Student, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; nikolay.hristolubov@yandex.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.02.2023

The article was submitted 17.02.2023