

Использование естественного охлаждения для систем термостабилизации дата-центров

Коротке Юлия Владимировна
Научный руководитель: Горяев Андрей Борисович
Национальный исследовательский университет «МЭИ»

1. Актуальность применения естественного охлаждения

На сегодняшний день применение холодопотребляющего оборудования огромно. О масштабах применения техники низких температур говорит тот факт, что потребление электроэнергии холодильным оборудованием, включая системы кондиционирования воздуха и бытовые холодильники, в общем энергобалансе развитых стран, оценивается от 15 до 20%.

Холодильные установки являются крупными потребителями энергии. В стремлении оптимизировать традиционную схему, специалисты пытались отводить тепло путем применения более эффективных хладагентов и за счет выбора оптимальных параметров работы системы, но эти меры не позволили добиться существенной экономии. Самое энергоемкое звено в традиционной схеме охлаждения — это компрессор и конденсаторные агрегаты. Отказ от этих компонентов в сочетании с использованием холода наружного воздуха — freecooling стал резким шагом на пути к оптимизированной, низкочувствительной в отношении энергоресурсов системе охлаждения.

Климат России позволяет широко внедрять технологии охлаждения с применением естественного холода в различных производствах почти на всей ее территории. На сегодняшний день системы охлаждения с фрикулингом получили наибольшее распространение в технологическом кондиционировании воздуха в пищевой промышленности для охлаждения продуктов питания, в химической промышленности при производстве различных изделий из пластмасс, а также для охлаждения серверных помещений дата-центров.

Основные преимущества применения фрикулинга:

- поддержание требуемого температурного уровня

Для современного оборудования, а особенно для вычислительной техники типа серверов или рабочих модульных станций, важно чтобы температура воздуха в помещении поддерживалась в установленных пределах.

- поддержание уровня влажности

Уровень влажности подаваемого системой промышленного кондиционирования воздуха в обязательном порядке поддерживается на достаточном уровне для работоспособности серверного и иного оборудования. Необработанный воздух с улицы может быть как излишне сухим, так и перенасыщенным влагой, что в первом случае ведет к образованию статического электричества, а во втором – к коррозии важных компонентов оборудования.

- защита от пыли

Исключается опасность накопления пыли в помещении серверной, что могло бы привести к засорению вентиляционных отверстий и дальнейшему перегреву серверов и рабочих станций.

- распределение воздуха для устранения зон перегрева

Это обеспечивает защиту серверов и оборудования, на которые в данный момент приходится большая нагрузка, и защищает серверную от внештатных ситуаций, например в часы «пик».

Среди недостатков фрикулинга стоит отметить:

- стоимость решений с использованием технологии свободного охлаждения выше, нежели без них

- системы свободного охлаждения характеризуются большими габаритами

Технология прямого свободного охлаждения подразумевает использование наружного воздуха для охлаждения внутреннего без промежуточных теплопередающих сред, какими, например, являются вода или хладагент. При этом воздух имеет существенно более низкую плотность. Как результат — системы свободного охлаждения работают с большими объемами среды (воздуха), что и приводит к увеличению габаритов климатических установок.

Среди зарубежных стран технология естественного холода для систем кондиционирования воздуха наиболее активно применяется и развивается в Японии, Соединенных Штатах Америки, Канаде и Швеции. Применение естественного холода в несколько раз снижает затраты электроэнергии на системы охлаждения в переходный период года.

Целью данной работы является разработка и проектирование системы кондиционирования, в состав которой входит линия естественного охлаждения, а также оценка целесообразности и эффективности такой системы в климатических условиях Центральной полосы России. В ходе работы будут проведены сравнительный анализ такой системы кондиционирования с классической системой, работающей на базе фреоновой холодильной установки и оценка преимуществ и недостатков обеих систем с технической и

экономической точек зрения. Основная **целевая аудитория** проекта – физические и юридические лица, занимающиеся энергосбережением и повышением энергетической эффективности в сфере кондиционирования и вентиляции.

2. Классификация систем холодоснабжения

Территория России обладает огромными запасами холода, который может успешно использоваться. Естественные источники холода находятся в окружающей нас среде и снижают свою температуру в результате естественных процессов. В качестве таких источников можно использовать лед, воды рек и водоемов, снег, холодный наружный воздух, воду горных рек, ночной холод в районах с резко континентальным климатом, массив вечномёрзлых пород, артезианскую воду.

Структурная схема холодоснабжения систем кондиционирования и вентиляции, так же как и теплоснабжения, как правило, может быть представлена в виде трех основных элементов: генератора – источника холода; холодопроводов, передающих холод от генератора к потребителю; потребителя – стока холода. Одна из основных классификаций источников холода – по способу производства. В этой классификации источники разделяют на природные (естественные) и искусственные. Классификация систем холодоснабжения приведена на рисунке 1.

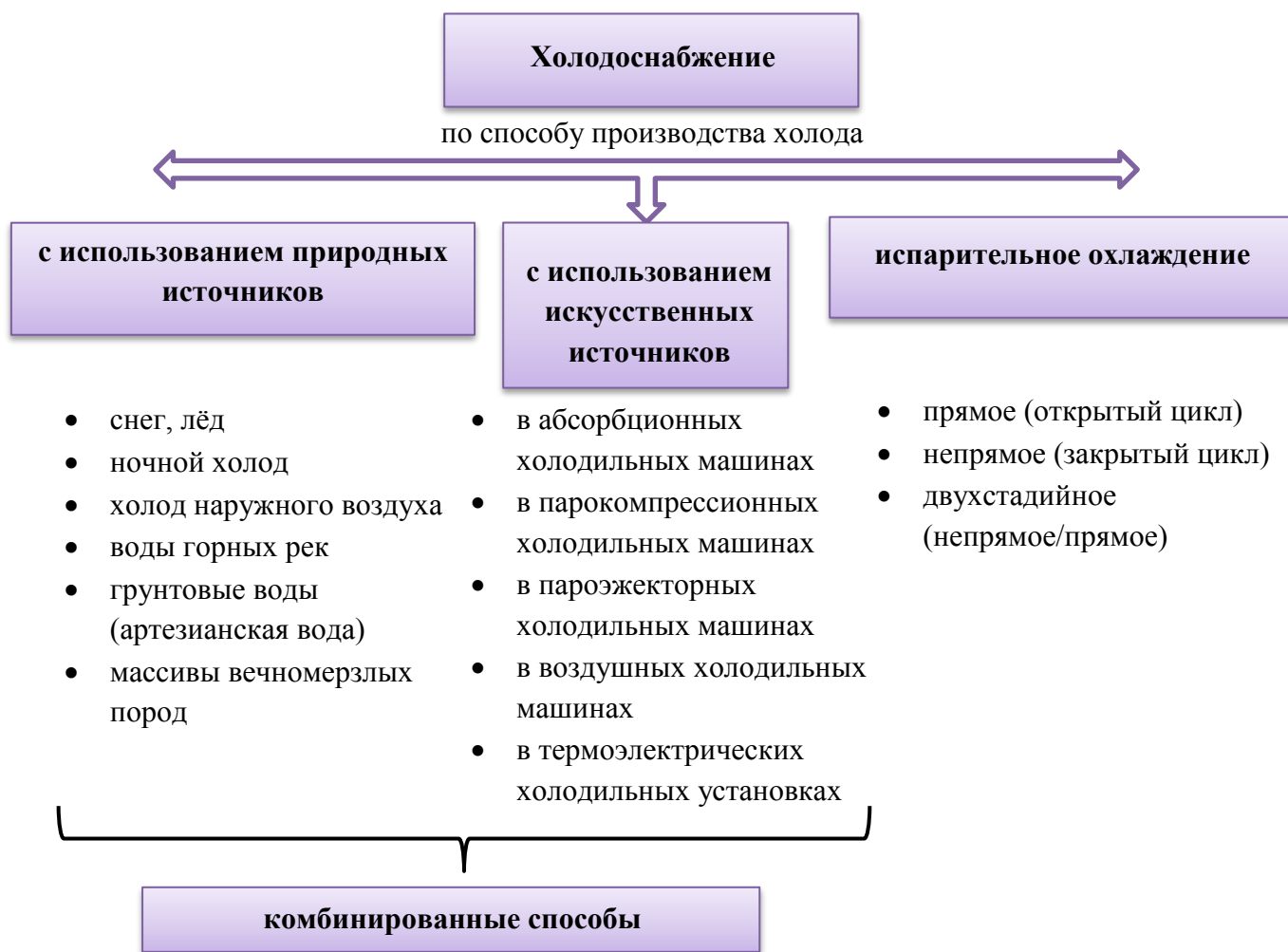


Рисунок 1 – Классификация систем холодоснабжения

3. Рынок коммерческих дата-центров в России

По данным iKS–Consulting, на конец 2013 года российский рынок коммерческих дата-центров насчитывал более 170 крупных и средних коммерческих дата-центров. В 2013 году было введено в строй 12 крупных и средних площадок коммерческих дата-центров общей площадью машинных залов 5,1 тыс. м². Таким образом, общая площадь машинных залов коммерческих дата-центров в 2013 году выросла на 9% и составила 67 тыс. м². Число установленных коммерческих стоек выросло на 23% и составило 21 тыс. В 2014 году российский рынок дата-центров вырос еще почти на 30%. Потенциал роста рынка дата-центров в РФ далеко не исчерпан. По результатам 2014 года Россия занимает 0,2% мирового рынка коммерческих центров обработки данных (ЦОД) по общей площади технических залов.

Ожидается, что к 2018 году объем рынка вырастет почти в 2 раза и превысит 26,3 млрд. руб., а количество установленных стоек в коммерческих дата-центрах увеличится до

48,3 тыс. [1]. Именно здесь использование источников свободного охлаждения, холодного наружного воздуха, имеет огромную актуальность. Структура рынка дата-центров России изображена на рисунке 2.

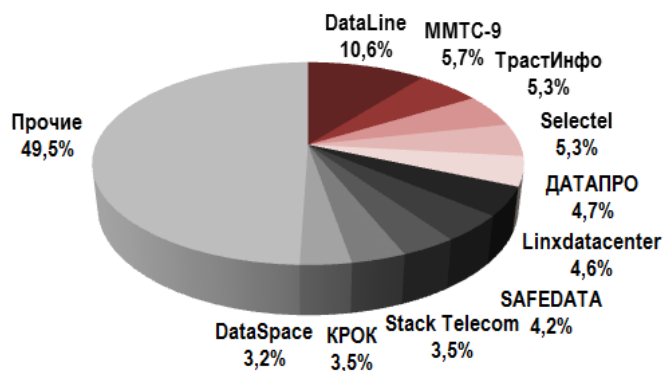


Рисунок 2 – Структура рынка коммерческих дата-центров России

4. Объект исследования

В качестве объекта исследования был выбран центр обработки данных (ЦОД) или дата-центр, расположенный в Центральной полосе России – в г. Москва. В ЦОД размещено серверное и сетевое оборудование крупного банка, исполняющего функции хранения, обработки и распространения данных организации. Серверные помещения дата-центра имеют площадь 125 м², в которых расположены телекоммуникационные стойки в количестве сорока штук номинальной мощностью 200 кВт. Также серверная оборудована источниками бесперебойного питания (ИБП) номинальной мощностью 20 кВт, системами освещения и электрораспределительной аппаратурой номинальной мощностью 5 кВт, персонал, находящийся одновременно в помещении, составляет не более 5 человек. Все коммуникации и трубопроводы системы охлаждения серверного помещения, электрическая проводка будут помещены под фальшпол, высота которого для заданной площади составит не менее 500-700 мм. Оборудование в помещении расположено так, что между стойками образованы коридоры, условно называемые «холодными» и «горячими»: так холодный воздух от кондиционера подается к оборудованию по «холодному» коридору, а горячий воздух отводится в фальшпол по «горячему» соответственно. Так как центры обработки данных и дата-центры относятся к помещениям с повышенными требованиями к безопасности и надежности, то система охлаждения должна в обязательном порядке включать резервные кондиционеры, источники бесперебойного питания и байпасную линию для проведения работ по техническому обслуживанию. Также для дата-центров существуют требования к микроклимату в серверных помещениях.

Российские нормы СН 512-78 (п.3) предъявляют следующие требования к микроклимату:

- температура воздуха в помещениях – $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ (не более 25°C). При подаче охлажденного воздуха непосредственно в устройства (стойки с аппаратурой) температура его на входе не должна быть ниже 14°C ;
- относительная влажность воздуха – 20–70 % (не более 75 % в холодный период, в теплый для 25°C – не более 65 %, для 24°C и ниже – не более 70 %);
- оптимальная скорость потока воздуха – 0,2 м/с (не более 0,3 м/с для холодного, 0,5 м/с для теплого периодов);
- запыленность воздуха помещений не должна превышать: в серверной – $0,75\text{ мг/м}^3$, с размерами частиц не более 3 мкм (атм. пыль, сажа, дым, споры, асбест); в помещениях обработки данных – 2 мг/м^3 [2].

5. Анализ и выбор схемы охлаждения оборудования дата-центра

Для выбора и конкретизации системы кондиционирования дата-центра рассмотрим несколько вариантов возможных схем охлаждения, проведем их сравнительный анализ и оценим преимущества и недостатки.

В первую очередь, рассмотрим классическую схему охлаждения, включающую в себя воздухоохлаждающую парокомпрессионную холодильную машину или чиллер, работающую на фреоновом цикле. Схема изображена на рисунке 3. Стоит отметить, что в зимний холодный период года, когда температура наружного воздуха достигает значений меньше допустимых, холодильная машина может работать в режиме теплового насоса, подогревая воздух, подаваемый в телекоммуникационные стойки.

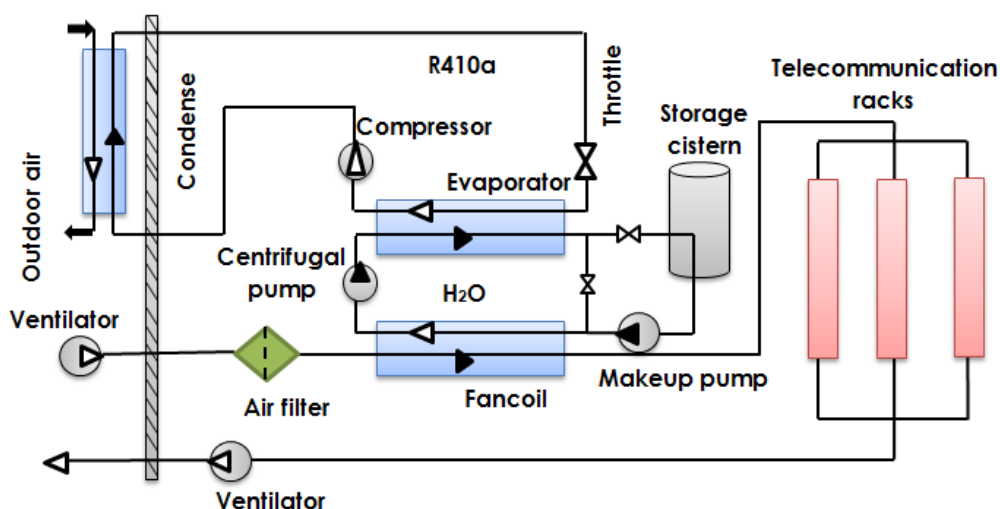


Рисунок 3 – Схема охлаждения с чиллером и баком-аккумулятором

К преимуществам такой схемы можно отнести:

- безопасность (потенциально летучие газы (газовый хладагент) сосредоточены в чиллере, устанавливаемом, как правило, на воздухе (на крыше или непосредственно на земле). Аварии трубной разводки внутри здания ограничены риском залива, который может быть уменьшен автоматической запорной арматурой);
- минимальный объём и площадь (система кондиционирования крупного здания может содержать единственный чиллер, занимающий минимальный объём и площадь, сохраняется внешний вид фасада за счет отсутствия внешних блоков кондиционеров);
- диапазон температур (для таких систем диапазон рабочих температур весьма широк, они одинаково эффективно работают как в летний, так и в зимний периоды года).

Недостатки схемы:

- энергоёмкость (компрессор, вентиляторы и насосы являются крупными потребителями электроэнергии);
- обязательное наличие фильтров (в противном случае быстрое засорение элементов схемы);
- применение незамерзающего теплоносителя в среднем на 15-20% снижает эффективность работы системы холодоснабжения;
- высокий уровень вибраций системы.

Проанализировав недостатки предыдущей схемы, рассмотрим следующую схему, изображённую на рисунке 4 и включающую в себя аппарат воздушного охлаждения (АВО), с помощью которого может быть реализовано свободное охлаждения – не прямой фрикулинг.

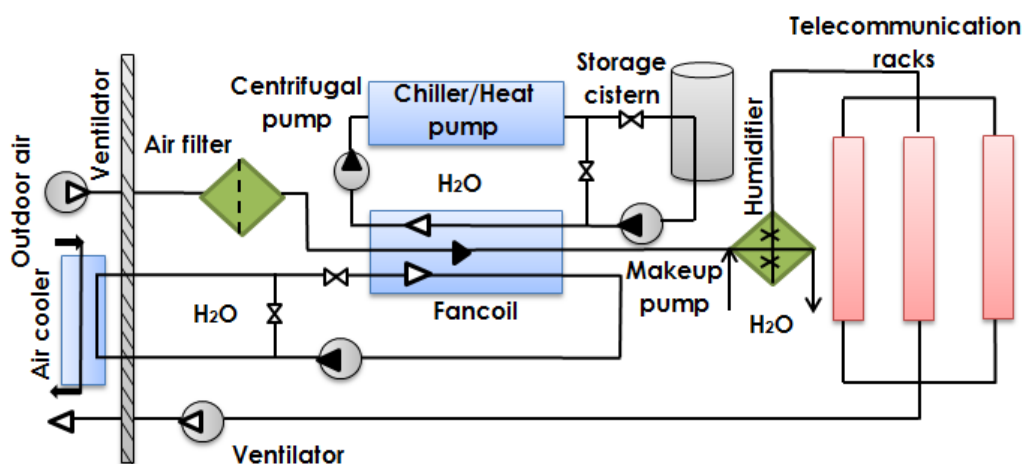


Рисунок 4 – Схема кондиционирования с аппаратом воздушного охлаждения

В данной схеме фрикулинг реализуется с помощью дополнительного водяного контура, таким образом, в те дни года, когда температура наружного воздуха позволяет осуществлять свободное охлаждение, схема может работать с отключенной холодильной машиной, что уменьшит энергопотребление системы. Также достоинством подобного схемного решения

является то, что горячий воздух из стоек не смешивается с окружающим, а охлаждается за счет испарения воды с поверхности теплообменника. Следует отметить, что косвенное естественное охлаждение возможно только при плюсовой температуре и в определенном диапазоне относительной влажности окружающего воздуха, а также наличие дополнительного водяного контура несколько усложняет схему охлаждения серверного помещения. Наиболее эффективными системами являются те, которые могут комбинировать режим фрикулинга с работой фреонового контура в зависимости от температуры и относительной влажности окружающей среды.

В связи с этим предлагается рассмотреть схему, изображенную на рисунке 5. Схема включает в себя линию прямого фрикулинга (естественного охлаждения), а также рекуперацию теплоты посредством теплообменного аппарата.

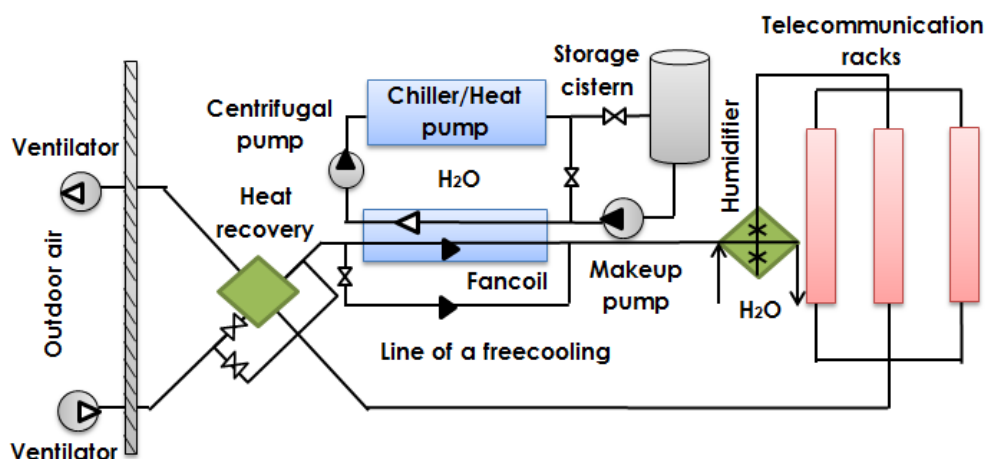


Рисунок 5 – Схема охлаждения с линией прямого фрикулинга и утилизатором теплоты

Утилизатор теплоты обеспечивает полное разделение приточного и вытяжного воздуха, а соответственно исключает передачу влаги, запахов, вредных примесей или микроорганизмов, а также обладает высоким коэффициентом полезного действия (КПД) и относительно низкой стоимостью, что позволяет экономить значительную часть тепла на подогрев наружного воздуха. В тоже время такой утилизатор требует периодической очистки поверхностей нагрева и установки тканевых фильтров и жируловителей. Также существенный недостаток таких теплообменников — обмерзание во время сильных морозов. При резких перепадах температуры теплообменная поверхность рекуператора со стороны удаляемого воздуха обмерзает — требуются специальные технологии по оттайке, что влечет за собой снижение эффективности теплопередачи.

Проанализировав недостатки рекуператоров тепла, рассмотрим схему с частичной рециркуляцией отводимого воздуха, изображенную на рисунке 6. В данной схеме организована рециркуляция воздуха, т.е. подмешивание части вытяжного воздуха в

приточный. Как и в схеме с рекуператором теплоты такое техническое решение снижает затраты на подогрев воздуха, поступающего в телекоммуникационную стойку, причем отказавшись от такого дополнительного элемента схемы, как утилизатор, что снижает затраты на реализацию подобного способа охлаждения и упрощает схему.

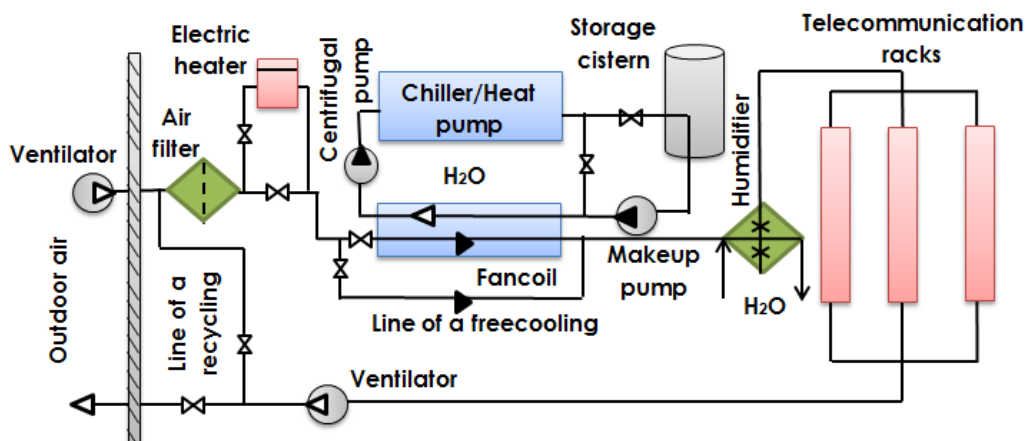


Рисунок 6 – Схема охлаждения с частичной рециркуляцией отводимого воздуха

Среди недостатков такого решения стоит отметить следующее: если воздух в помещении ассимилирует вредные вещества, жировые испарения и т.п., использование его для рециркуляции не допускается. А также при эксплуатации системы в условиях холодного климата минус системы заключается в недостаточно хорошем смешивании наружного и рециркуляционного воздуха.

Таким образом, для серверных помещений дата-центра предлагается система охлаждения с автоматическим переключением с прямого охлаждения наружным воздухом на косвенное охлаждение с помощью фреоновой холодильной установки. В летнее и ночное время система кондиционирования работает с помощью парокомпрессионной холодильной установки, использующей в качестве хладагента фреон R410a, это связано с температурой наружного воздуха и пониженными тарифами на электроэнергию в ночное время суток. В дневное время суток система работает по принципам фрикулинга, т.е. с помощью охлаждения наружным воздухом и с отключением холодильной установки, также предусмотрен режим совместной работы холодильной установки и системы естественного охлаждения. Во время зимнего, неотапительного, периода года в данную систему предлагается включить систему мультивоздух, это связано с требованиями, предъявляемыми к микроклимату серверных помещений, а также линию частичной рециркуляции вытяжного воздуха, снижающую затраты на подогрев холодного зимнего воздуха.

6. Оценка тепловыделений в помещении и подбор оборудования

Для подбора оборудования системы охлаждения необходимо произвести оценку суммарного тепловыделения в помещении, для этого рассмотрим источники выделения тепла в серверной, согласно методике [3], отображенные в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка тепловыделений в центре обработки данных

Источники тепла	Характеристики	Расчёт тепловыделения	Итоги
ИТ-оборудование	совокупная мощность, Вт	та же величина = 5 000·40	200 кВт
Источники бесперебойного питания (ИБП) с батареями	номинальная мощность, Вт	$(0,04 \cdot \text{номинальную мощность ИБП}) + (0,05 \cdot \text{совокупную мощность ИТ-нагрузки}) = 0,04 \cdot 20\,000 + 0,05 \cdot 200\,000$	10 800 Вт
Электрораспределительная аппаратура	номинальная мощность, Вт	$(0,01 \cdot \text{номинальную мощность электрораспределительной системы}) + (0,02 \cdot \text{совокупную мощность ИТ-нагрузки}) = 0,01 \cdot 5\,000 + 0,02 \cdot 200\,000$	4 050 Вт
Освещение	площадь помещения, м ²	$21,53 \cdot \text{площадь помещения, м}^2 = 21,53 \cdot 125$	2 691,25 Вт

Продолжение таблицы 1

Персонал	максимальная численность персонала в помещении	$100 \cdot \text{максимальную численность персонала в помещении} = 100 \cdot 5$	500 Вт
----------	------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	--------

Согласно методике, изложенной выше, и исходным данным из п. 4 было найдено, что суммарный тепловыделения в серверном помещении составляют 218 кВт. Исходя из рассчитанных тепловыделений серверного помещения, из каталога с типоразмерным рядом оборудования выбираем соответствующую установку. Таким образом, был выбран моноблочный чиллер с воздушным охлаждением конденсатора и системой естественного охлаждения CUBIC–LI–FC, производство компании General Climate, работающий на фреоне R410a [4].

В качестве телекоммуникационного монтажного оборудования был выбран шкаф напольный серии ST2H, производство компании Энергомера. модели ST2H 810. Каркас состоит из стоек и верхнего с нижним оснований. Верхнее основание имеет отверстие 46x215 мм для установки кабельного ввода и отверстие 720x720 мм для установки блока вытяжной вентиляции. Нижнее основание имеет аналогичное отверстие 46x215 мм, выламываемое отверстие 720x720 мм и элементы крепления регулируемых ножек, роликов или цоколя [5].

7. Анализ климатических условий

Объект исследования данной работы, центр обработки данных, расположен в средней полосе России в г. Москве. Для более подробных данных об изменениях температуры наружного воздуха в данном регионе был произведен литературный обзор, а также обзор источников сети Интернет [6], [7]. Проанализировав данные источники, были получены значения среднесуточных температур наружного воздуха в г. Москве за 2014 год, по которым построен график, приведенный на рисунке 7.

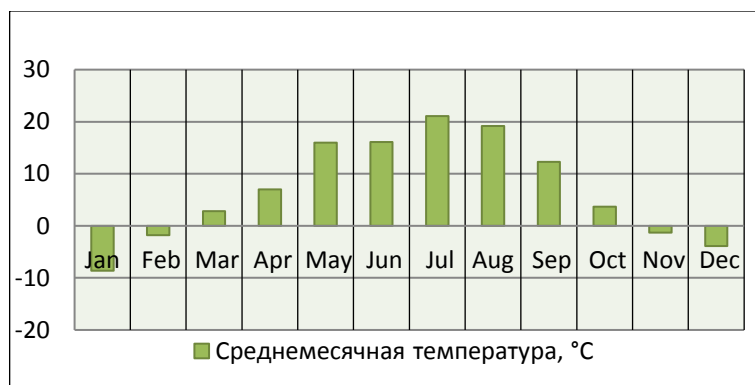


Рисунок 7 - Изменение среднесуточной температуры в г. Москве за 2014 г.

Для исследования эффективности и целесообразности фрикулинга в средней полосе России рассмотрим аналогичный центр обработки данных, но в диаметрально противоположных климатических зонах. Для проведения сравнительного анализа были выбраны г. Новосибирск и г. Сочи. Для каждого из выбранных городов был проведен аналогичный климатический анализ, графики изменения среднесуточной температуры в каждом из регионов приведены на рисунках 8 и 9 соответственно.

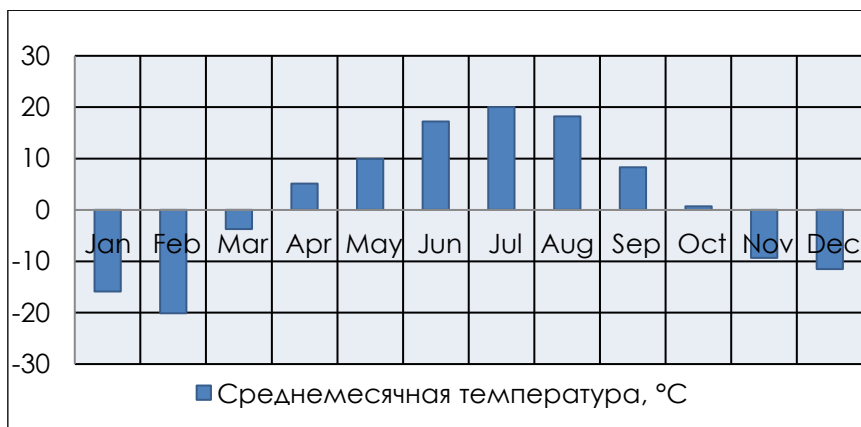


Рисунок 8 - Изменение среднемесячной температуры в г. Новосибирске за 2014 г.

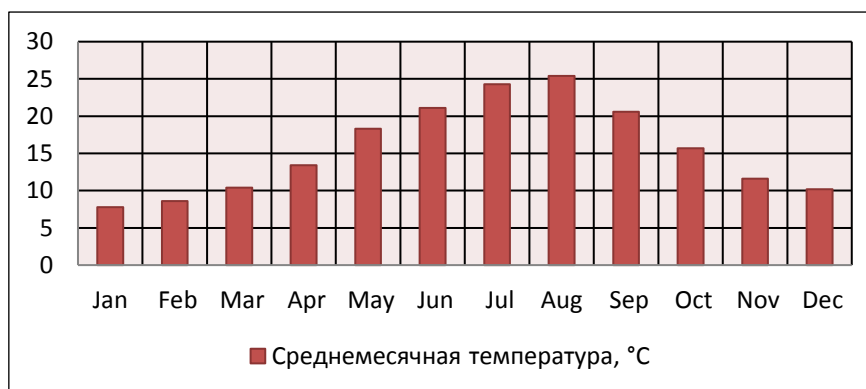


Рисунок 9 - Изменение среднемесячной температуры в г. Сочи за 2014 г.

Проанализировав полученные данные, стоит отметить, что схема охлаждения будет рассмотрена в трех характерных климатических зонах: в континентальной зоне с низкими температурами в холодный период, в умеренно континентальной зоне с ярко выраженной сезонностью и субтропическая зона, в которой в течение рассматриваемого периода среднемесячная температура не опускалась ниже нуля. В дальнейшем расчеты проводились, принимая температуры наружного воздуха в каждом месяце равными среднемесячным температурам.

8. Основные расчетные формулы и соотношения

Расчет проводился для двух основных режимов работы, а именно: классическая работа холодильной машины (теплового насоса) и режим совместной работы частичной рециркуляции и фрикулинга.

Найдем расход воздуха, необходимый для удаления избытков полной теплоты $Q_{\text{сумм}}$ по формуле (1) [8]:

$$L_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{сумм}}}{\rho \cdot c_p \cdot (t_y - t_{\text{п}})}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (1)$$

где t_y – температура воздуха, удаляемого за пределы обслуживаемой или рабочей зоны помещения, °С, принимаем равной 35 °С;

$t_{п}$ – температура воздуха, подаваемого в помещение системой вентиляции, °С, принимаем равной 20 °С;

ρ – плотность воздуха при средней температуре 27,5 °С;

$$L_{п} = \frac{218}{1,192 \cdot 1,005 \cdot (35 - 20)} = 12,13 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Оценим затраты холода или тепла для выбранной установки, в зависимости от режима работы – холодильная машина или тепловой насос соответственно. Для этого воспользуемся таблицей 5, в которой приведены сведения о среднемесячном распределении температуры наружного воздуха в городе Москва за 2014 год. Для сравнения возьмем четыре характерные точки: в зимний, летний и переходный периоды года, а именно в январе, июле, апреле и октябре. Затраты энергии на охлаждение или нагрев найдем по формуле (2) и сведем в таблицу 3 значения в течение года:

$$Q_o = L_{п} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{п} - t_{нро}), \text{кВт} \quad (2)$$

где $t_{нро}$ – температура наружного воздуха соответственно в каждом из месяцев года;

Рассматривая режим совместной работы рециркуляции и фрикулинга, найдем какая часть вытяжного воздуха будет смешиваться с приточным и идти на рециркуляцию, запишем материальный и тепловой балансы системы:

– материальный баланс по формуле (3)

$$L_{п} + L_{рц} = L_{у}, \quad (3)$$

где $L_{п}$ – расход приточного воздуха, м³/с; $L_{рц}$ – расход воздуха на рециркуляцию, м³/с; $L_{у}$ – расход удаляемого из помещения вытяжного воздуха, равный 12,13 м³/с;

– тепловой баланс по формуле (4)

$$Q_{\text{сумм}} + L_{п} \cdot \rho \cdot c_p \cdot t_{нро} + L_{рц} \cdot \rho \cdot c_p \cdot t_{у} = L_{\text{общ}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot t_{у} \quad (4)$$

Выразив из материального баланса $L_{п}$ и подставив его значение в тепловой баланс, получим:

$$Q_{\text{сумм}} + (12,13 - L_{рц}) \cdot \rho \cdot c_p \cdot t_{нро} + L_{рц} \cdot \rho \cdot c_p \cdot t_{у} = 12,13 \cdot \rho \cdot c_p \cdot t_{у}$$

Найдем расход воздуха на рециркуляцию в январе:

$$218 + (12,13 - L_{рц}) \cdot 1,33 \cdot 1,009 \cdot (-8,6) + L_{рц} \cdot 1,15 \cdot 1,005 \cdot 35 = 12,13 \cdot 1,15 \cdot 1,005 \cdot 35$$

Преобразовав выражение и выразив $L_{рц}$, получим, что:

$$L_{рц, \text{янв}} = 7,94 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Тогда расход приточного воздуха в январе равен:

$$L_{п, \text{янв}} = 12,13 - L_{рц, \text{янв}} = 12,13 - 7,94 = 4,19 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Аналогичным образом были найдены расходы рециркуляционного и приточного воздуха в течение года.

Оценим эффективность введенной в схему рециркуляции. Для этого определим температуру воздуха после смешения потоков наружного и рециркуляционного воздуха по формуле (5) для января, значения в течение года находятся аналогично:

$$L_{\text{п}} \cdot t_{\text{см}} = L_{\text{рц,январь}} \cdot t_{\text{у}} + L_{\text{п,январь}} \cdot t_{\text{нро}} \quad (5)$$

$$t_{\text{см,январь}} = \frac{L_{\text{рц,январь}} \cdot t_{\text{у}} + L_{\text{п,январь}} \cdot t_{\text{нро}}}{L_{\text{п}}} = \frac{7,94 \cdot 35 + 4,19 \cdot (-8,6)}{12,13} = 19,94 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Заметим, что получаемая после смешивания температура соответствует допусаемым СНиПом СН 512-78 (п.3) значениям температуры воздуха, подаваемого в телекоммуникационные стойки, следовательно, дополнительные затраты на подогрев воздуха не нужны, и схема в данном режиме может работать при выключенном тепловом насосе. Затраты на дополнительный подогрев оценены по формуле (2) в тех точках, где температура смешения оказалась ниже требуемой. Все полученные данные сведены в таблицу 3.

Тогда коэффициент эффективности рециркуляции в переходный период равен по формуле (6) и сведем в таблицу 2 значения в течение года:

$$\eta_{\text{рц}} = \frac{Q_0 - Q_{\text{рц}}}{Q_0} \cdot 100\% \quad (6)$$

Таблица 2 – Коэффициент эффективности рециркуляции в системе термостабилизации для г. Москвы за 2014 год

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
η	1	0,98	0,96	0,93	0,65	0,64	–	–	0,84	0,95	0,98	1

Стоит отметить, что в летние месяцы такие как, июль и август система охлаждения работала посредством чиллера и рециркуляция была нецелесообразна.

Система охлаждения оборудования дата-центра для г. Новосибирска и г. Сочи была рассчитана в тех же режим аналогичным образом по соотношениям, приведенным выше. Все полученные результаты были сведены в таблицы 4 и 5 соответственно.

Расчет экономических затрат на электроэнергию будем вести исходя из данных по энергопотреблению только холодильной машины или теплового насоса, затраты на транспортировку теплоносителей, хладагентов, капитальные затраты и вложения не учитываются. Для расчета воспользуемся формулой (7):

$$TC = Q \cdot n \cdot 24 \cdot P \cdot k_{\text{загр}}, \frac{\text{руб}}{\text{мес}} \quad (7)$$

где Q – затраты электроэнергии на нагрев или охлаждение приточного воздуха, подаваемого в телекоммуникационную стойку, зависит от режима работы схемы, значения принимаются из расчета, проведенного выше;

n – количество дней в месяце, в течение которого рассматривается энергопотребление;

24 – количество часов в одних сутках;

P – тариф на электроэнергию, зависит от рассматриваемого года и населенного пункта, для которого производится расчет. Принимается для 2014 года для юридических лиц первой ценовой категории с установочной мощностью от 150 до 670 кВт на низком напряжении [9] – для Московской области 4,68 руб/кВт·ч, для Новосибирской области 2,18 руб/кВт·ч, для Краснодарского края 3,76 руб/кВт·ч;

$k_{\text{загр}}$ - коэффициент загрузки, показывающий, на какую часть от максимально возможной мощности загружена система, т.к. расчет проводится для самых неблагоприятных условий, примем, что система загружена на 100%, т.е. коэффициент загрузки равен единице.

В качестве примера рассчитаем экономические затраты на электроэнергию для г. Москвы в январе 2014 года:

$$TC_{\text{январь}} = Q_{\text{январь}} \cdot n_{\text{январь}} \cdot 24 \cdot P_{\text{моск}} = 444,55 \cdot 31 \cdot 24 \cdot 4,68 = 1\,547\,887,5 \frac{\text{руб}}{\text{мес}}$$


Результаты расчетов для остальных месяцев 2014 года для г. Москвы, а также для г. Новосибирска и г. Сочи аналогичны и приведены в таблицах 3, 4 и 5.

9. Сводные таблицы полученных результатов

В данные таблицы сведены результаты расчета энергопотребления системы охлаждения дата-центра в двух основных режимах. В классическом режиме схема включает в себя холодильную машину или тепловой насос, в зависимости от температуры наружного воздуха. В режиме рециркуляции и фрикулинга во время холодного периода воздух, поступающий в серверное помещение подогревается вытяжным, а в наиболее жаркие месяцы схема работает в классическом режиме.

Таблица 3 – Сводная таблица результатов расчета системы термостабилизации для г. Москвы за 2014 год

Режимы работы		Классический режим ¹		Рециркуляция + фрикулинг	
		Расход энергии на охлаждение/нагрев воздуха, кВт·ч	Экономические затраты на эл. энергию, руб./мес.	Расход энергии на охлаждение/нагрев воздуха, кВт·ч	Экономические затраты на эл. энергию, руб./мес.
Холодный период	Янв.	444,55	1 547 887,5	–*	–
	Фев.	332,2	1 044 755,7	6,52	20 505,1
	Март	260,0	905 299,2	10,55	36 734,3
	Апр.	194,93	656 836,1	14,02	47 241,8
Теплый период	Май	59,0	205 433,3	20,42	71 100,8
	Июн.	57,53	193 853,1	20,75	69 919,2
	Июл.	16,1	56 058,9	16,1**	56 058,9
	Авг.	11,8	41 086,7	11,8	41 086,7
	Сент.	114,52	385 886,6	18,35	61 832,2
Холодный период	Окт.	246,4	857 945,1	11,36	39 554,6
	Нояб.	324,58	1 093 704,8	6,96	23 452,4
	Дек.	368,57	1 283 331,3	–	–
Итого:		2 430,2	8 272 078,3	136,83	467 486,0

 – расход электроэнергии на нагрев воздуха;

 – расход электроэнергии на охлаждение воздуха;

¹ – данный режим не является основным для работы системы охлаждения, он приведен для сравнительной характеристики, а также для оценки энергопотребления в наиболее жаркие месяцы, когда фрикулинг не целесообразен;

* – в данные месяцы реализация рециркуляции и фрикулинга позволяет получить оптимальные температуры подаваемого в помещение воздуха без дополнительных затрат на подогрев;

** – в месяцы, когда энергопотребление в режиме рециркуляции и фрикулинга совпадает с энергозатратами в классическом режиме, говорит о том, что в данный период естественное

охлаждение не целесообразно и схема работает с включенной холодильной машиной, эти значения учтены для оценки годовых затрат электроэнергии.

Таблица 4 – Сводная таблица результатов расчета системы термостабилизации для г. Новосибирска за 2014 год

Режимы работы		Классический режим ¹		Рециркуляция + фрикулинг	
		Расход энергии на охлаждение/нагрев воздуха, кВт·ч	Экономические затраты на эл. энергию, руб./мес.	Расход энергии на охлаждение/нагрев воздуха, кВт·ч	Экономические затраты на эл. энергию, руб./мес.
Холодный период	Янв.	562,41	912 184,0	5,24	8 498,2
	Фев.	633,12	927 495,5	8,17	11 968,7
	Март	362,59	588 092,0	–*	–
	Апр.	225,23	353 521,0	12,17	19 102,0
Теплый период	Май	151,44	245 623,6	16,20	26 275,1
	Июн.	41,30	64 824,5	22,25	34 923,6
	Июл.	–	–	–	–
	Авг.	26,56	43 078,2	21,85	35 439,0
	Сент.	175,43	275 354,9	15,11	23 716,7
Холодный период	Окт.	294,10	477 006,7	8,57	13 899,9
	Нояб.	455,43	714 842,9	–	–
	Дек.	489,63	794 140,7	1,87	3 033,0
Итого:		3 417,24	5 396 163,9	111,43	176 856,8


 – в данный месяц среднемесячная температура совпала с требуемой температурой воздуха, подаваемого в телекоммуникационную стойку, нужно учитывать, что такой случай мог быть единичным.

Таблица 5 – Сводная таблица результатов расчета системы термостабилизации для г. Сочи за 2014 год

Режимы работы		Классический режим ¹		Рециркуляция + фрикулинг	
		Расход энергии на охлаждение/нагрев воздуха, кВт·ч	Экономические затраты на эл. энергию, руб./мес.	Расход энергии на охлаждение/нагрев воздуха, кВт·ч	Экономические затраты на эл. энергию, руб./мес.
Холодный период	Янв.	182,93	511 735,7	14,58	40 786,7
	Фев.	170,94	431 917,5	15,34	38 759,9
	Март	143,95	402 691,5	16,86	47 164,8
	Апр.	98,16	265 738,8	18,55	50 218,6
Теплый период	Май	25,08	70 159,8	22,03	61 627,6
	Июн.	16,09	43 558,8	16,09**	43 558,8
	Июл.	62,90	175 959,0	62,90	175 959,0
	Авг.	78,99	220 969,8	78,99	220 969,8
	Сент.	8,78	23 769,2	8,78	23 769,2
Холодный период	Окт.	63,95	178 896,3	21,89	61 236,0
	Нояб.	125,95	340 971,8	17,48	47 321,9
	Дек.	146,95	411 083,8	16,69	46 689,3
Итого:		1 124,67	3 077 452,0	310,18	858 061,5

Стоит отметить, что в данной работе оценка энергозатрат в системе охлаждения проводилась только из расчета энергопотребления холодильной машины или теплового насоса, затраты на прокачку воздуха, воды, а также иные капитальные и эксплуатационные затраты не учитывались.

10. Анализ полученных результатов

Для более наглядного обзора данных, полученных в результате расчета, построим гистограммы изменений расхода электроэнергии на охлаждение или нагрев воздуха в классическом режиме работы и в режиме совместной работы рециркуляции и фрикулинга. Гистограммы построим для трех рассчитанных городов, они приведены на рисунках 10, 11 и 12 соответственно.

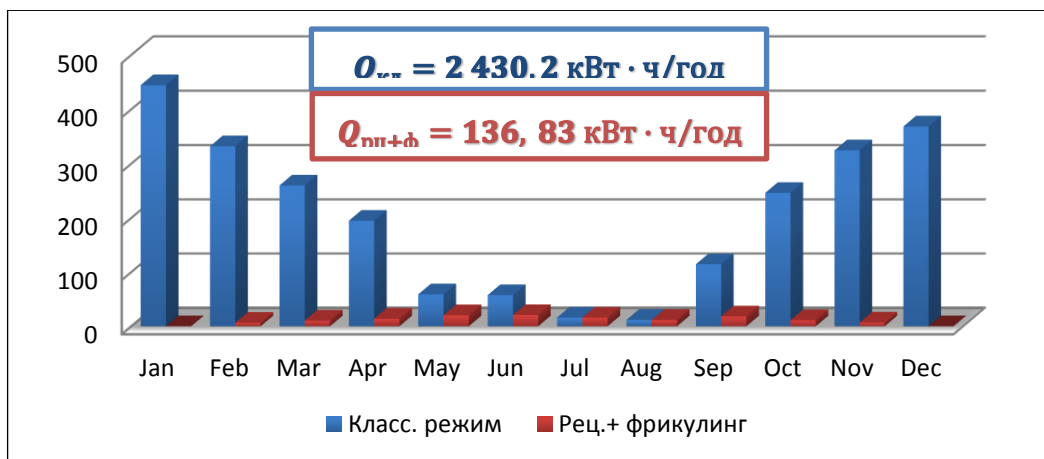


Рисунок 10 - Изменение энергопотребления для охлаждения или нагрева воздуха в двух расчетных режимах для г. Москвы

Анализируя полученные гистограммы, можно сделать вывод, что наибольшую эффективность система охлаждения имеет в режиме совместной работы рециркуляции и фрикулинга в холодные и переходный периоды года. В данный период наблюдается существенное снижение энергозатрат при использовании естественного охлаждения. Так, например, для г. Москвы в январе и декабре 2014 года включение в схему рециркуляции позволяет эксплуатировать систему охлаждения с выключенной холодильной машиной, осуществляя прямой фрикулинг за счет теплоты вытяжного воздуха. Данная эффективность была достигнута при температуре наружного воздуха примерно от -9 до -4 °С.

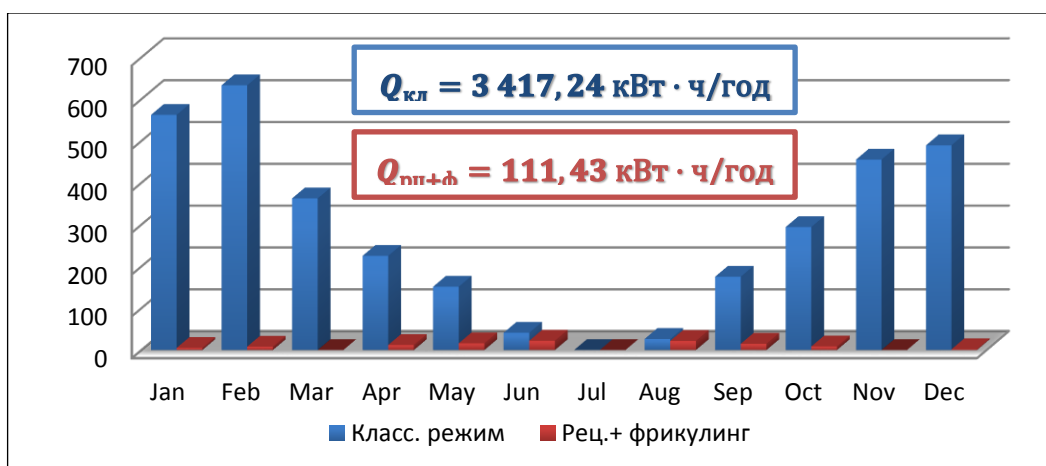


Рисунок 11 - Изменение энергопотребления для охлаждения или нагрева воздуха в двух расчетных режимах для г. Новосибирска

Из гистограммы видно, что наибольшая эффективность системы охлаждения для г. Новосибирска, а соответственно для всей холодной климатической зоны страны, наблюдается в марте и ноябре, т.е. в переходный период года. Это связано с тем, что в холодный период в этом регионе температура наружного воздуха достигает слишком низких значений и потенциала удаляемого воздуха не хватает, чтобы нагреть свежий приточный

воздух до требуемых значений. Из этого можно сделать вывод, что эффективность реализации фрикулинга имеет не только верхний (для теплого периода), но и нижний предел оптимальных температур наружного воздуха.

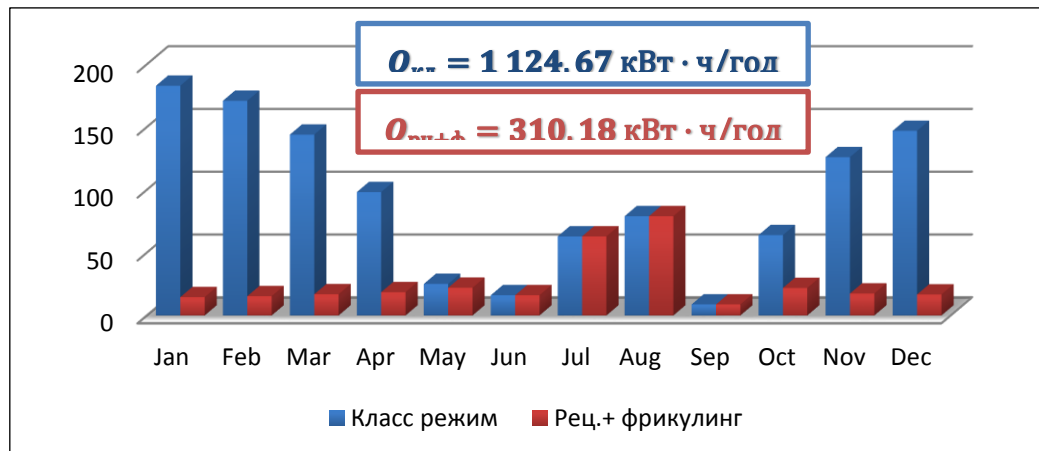


Рисунок 12 - Изменение энергопотребления для охлаждения или нагрева воздуха в двух расчетных режимах для г. Сочи

Для третьей климатической зоны, такой как Краснодарский край, а именно, г. Сочи, видно, что реализация фрикулинга дает эффективность по сравнению с классическим режимом работы системы, но существенно меньшую, чем для двух других климатических зон. Уже при повышении температуры наружного воздуха выше 25 °С реализация прямого и косвенного фрикулинга нецелесообразна, а энергозатраты в холодильной установке заметно растут.

Также из анализа полученных результатов можно заметить, что подобное проектное решение имеет не только экономический, но и экологический положительный эффект. Так для г. Москвы снижая энергопотребление фактически в 17,5 раз, существенно снижается объем сжигаемого топлива. В свою очередь, уменьшение объемов реализованного топлива, улучшает состояние окружающей среды, снижает количество таких выбросов, как оксиды азота, оксиды углерода, циклические полиуглеводороды, твердые частицы, оксиды серы, зола (для мазута и угля). Так, например, на 1 м³ природного газа приходится 5,1 г NO₂, 0,016 г полиуглеводородов, 0,002-0,005 г угарного газа и 2 000 г CO₂ [8].

11. Основные выводы по работе

- в работе были рассмотрены различные варианты схем систем охлаждения оборудования дата – центра. Подробно проанализировано было четыре схемы, из которых для данного дата–центра была выбрана и рассчитана одна схема, как наиболее перспективная. Эффективность схемы была рассмотрена с технической и экономической точек зрения;
- в ходе проекта был предложен метод, по которому может производиться вычисление экономии при введении естественного охлаждения в различные, с точки зрения

конфигурации, схемы, а также расположенные в различных климатических регионах. Предложенный способ позволяет рассчитывать схему охлаждения в разных режимах работы: классическая работа холодильной машины, реализация прямого фрикулинга, а также комбинированный режим рециркуляции и фрикулинга;

- наибольшую эффективность режим свободного охлаждения имеет в зимний и переходный периоды года. В летний период фрикулинг может быть применен лишь в регионах с холодным климатом, характеризующимся невысокими значениями температуры наружного воздуха. Важную роль в учете экономической составляющей систем с фрикулингом играет величина тарифов на электроэнергию и другие ресурсы в рассматриваемом регионе;
- предлагаемое энергосберегающее решение имеет несколько положительных эффектов. Во-первых, оно дает существенную экономию в энергопотреблении, что было продемонстрировано в сводных таблицах. Во-вторых, снижение энергопотребления приводит к существенному снижению объема сжигаемого топлива, а впоследствии уменьшение вредных выбросов в окружающую среду;
- проект имеет социальную значимость, во-первых благодаря улучшению состояния окружающей среды, что положительно влияет на здоровье население, особенно в таких крупных мегаполисах, как г. Москва. Во-вторых, более энергоэффективная работа дата-центров создает благоприятные условия ведения бизнеса, юридические лица могут позволить себе большие установочные мощности, все это является стимулом к энергосбережению в дальнейшем;
- проект имеет пути для дальнейшего развития и модернизации, планируется решение вопроса об излишней влажности наружного воздуха, т.е. предложение дополнительной степени осушки. Также в перспективе планируется программная реализация предложенного метода расчета для конкретных объектов, программа сможет учитывать различные климатические условия регионов, тарифы на энергоресурсы, различные режимы работы схем охлаждения в зависимости от времени года и суток. Все это служит основой для оптимизации, как самих схем, так и конструктивных элементов, помогая организации выбрать наиболее энергоэффективное решение для конкретной ситуации.

Библиографический список

1. Российский рынок коммерческих дата-центров 2013-2017 / Сервер Iks-consulting.» / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.iks-consulting.ru/markets-44.html>
2. Строительные нормы и правила: СН 512–78. Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин от 22 декабря 1978 г. № 244, п. 3.: нормативно–технический материал. – Москва: [б.и.], 1978. – 23 с.

3. Рассмусен Н. Расчет технических требований для общего охлаждения в центрах обработки данных / Н. Рассмусен // Информационная статья American Power Conversion. – 2003. – № 25. – 9 с.
4. Холодильные машины серии EuroWell / Сервер «Generalclimate» / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.generalclimate.ru/catalog/kholodilnye-mashiny-kkb-serii-eurowell/CUBIC-LI/>
5. Телекоммуникационное монтажное оборудование Энергомера: каталог технического оборудования.– Ставрополь, 2012.–76 с.
6. Климатический мониторинг/ Сервер «Pogodaiklimat» / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/>
7. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2013 год. — М.: Росгидромет, 2014— 109 с.
8. Данилов, О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев и др.; под ред. А.В. Клименко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.: ил.
9. Тарифы на электрическую энергию, поставляемую для юридических лиц с 1 января 2014 года/ Сервер «Newtariffs» / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://newtariffs.ru/>