

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.380.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «12» декабря 2023 года № 8

О присуждении Дмитриеву Юрию Александровичу, гражданину
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Тепловой и воздушный режимы центров обработки данных» по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение принята к защите 25 сентября 2023 г. (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.2.380.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», почтовый индекс 190005, адрес организации Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 717/нк от 09.11.2012 г., приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 590/нк от 25.05.2016 г., приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 124/нк от 19.12.2017 г., приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 37/нк от 30.01.2019 г., приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 35/нк от 27.01.2020 г., приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 681/нк от 18.11.2020 г., приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 968/нк от 24.09.2021 г., приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 2153/нк от 27.11.2023 г.

Соискатель Дмитриев Юрий Александрович, «25» ноября 1989 года рождения.

В 2012 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» с присвоением квалификации «инженер» по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция».

В период подготовки диссертации с 01.09.2020 по настоящее время соискатель Дмитриев Юрий Александрович обучается в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по направлению подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства» по образовательной программе «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 321 от 07.06.2023 г. выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

С 2019 года по настоящее время работает в Северо-Западном главном управлении Центрального банка Российской Федерации, секторе эксплуатации систем инженерного обеспечения центров обработки данных, г. Санкт-Петербург, в должности ведущего инженера.

Диссертация выполнена на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Пономарев Николай Степанович, работает в должности заведующего

кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Аверкова Ольга Александровна – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», кафедра теплогазоснабжения и вентиляции, профессор;

Мансуров Рустам Шамильевич – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» кафедра теплогазоснабжения и вентиляции, заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» в своем положительном отзыве, подписанном Сафиуллиным Ринатом Габдулловичем, доктором технических наук (специальность 05.23.03 – «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение»), заведующим кафедрой «Теплоэнергетика, газоснабжение и вентиляция», указала, что диссертация является законченной и выполнена автором самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. Вопросы, решенные диссертантом в работе, имеют существенное значение для области исследований. Диссертация написана литературным языком, грамотно, стиль изложения доказательный. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с изм. от 11.09.21 №1539), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени

кандидата технических наук, а её автор, Дмитриев Юрий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 - «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

Соискатель имеет 4 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 4 работы, из них в рецензируемых научных изданиях 3 работы.

Работы, опубликованные в ведущих научных рецензируемых изданиях, перечень которых размещён на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии и приравненные к ним:

1. Дмитриев, Ю. А. Определение теплопоступлений от серверного оборудования / Н. С. Пономарев, А. Ю. Мартыанова, Ю. А. Дмитриев // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 2 (85). – С. 166–172 (0,44 п.л., авторский вклад 50%);

2. Дмитриев Ю. А. Анализ влияния различных факторов на температуру воздуха на входе в IT-оборудование / Ю. А. Дмитриев // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № S1. – С. 224–229 (0,37 п.л., авторский вклад 100%);

3. Dmitriev Y. Analysis of cooling system efficiency / Y. Dmitriev // Architecture and Engineering. – 2022. – Vol. 7. – P. 49–59 (0,68 п.л., авторский вклад 100%)

Работа, опубликованная в другом издании:

4. Дмитриев, Ю. А. Анализ влияния габаритов помещения на эффективность системы охлаждения IT-оборудования в центре обработки данных / Ю. А. Дмитриев, Н. С. Пономарев // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы XX Международной научной конференции. Волгоградский государственный медицинский университет. – Волгоград: Волгоградский государственный медицинский университет, 2022. – С. 107–113 (0,44 п.л., авторский вклад 50%).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение», член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор **Кочев Алексей Геннадьевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- в автореферате следовало более подробно показать сравнительный анализ результатов численного моделирования и натурного эксперимента;

- из автореферата не представлены режимы работы систем вентиляции.

2) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, доцент **Белова Елена Михайловна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- при проведении натурного эксперимента с целью определения зависимости объемного расхода воздуха от потребляемой мощности измерялись скорости воздуха, но не указано, как определен расход воздуха или площадь сечения;

- в методике расчета производительности систем кондиционирования воздуха для ЦОД не учтен минимальный расход наружного воздуха (около 10-15%), нет расчета расхода холода на обработку воздуха в прецизионном кондиционере.

3) ООО «АЙСБЕРГ СПб», г. Санкт-Петербург, генеральный директор **Зятев Илья Александрович**.

Отзыв положительный, имеется замечание:

- в работе рассматривается только охлаждение вычислительного оборудования. Однако в центрах обработки данных, как правило, также присутствует оборудование систем хранения данных и телекоммуникационных систем, которое также выделяют избыточную теплоту во время работы.

4) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, директор Департамента Энергетических систем, доктор технических наук, профессор **Штым Константин Анатольевич**; профессор Департамента Энергетических систем, кандидат технических наук, доцент **Черненко Владимир Петрович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- из автореферата неясно, почему при исследовании полей распределения температуры воздуха при различных способах размещения потолочных и фальш-панелей в центре обработки данных «система вентиляции выключена»;

- для серверного оборудования типа шасси с блейд-серверами и стойечного типа определена зависимость (2) объемного расхода воздуха на выходе из оборудования от потребляемой электрической мощности. Поскольку объемный расход воздуха зависит от температуры воздуха на выходе, то следовало определить и привести зависимость массового расхода от потребляемой электрической мощности;

- в автореферате неоднократно указывается безразмерный коэффициент RCI_{high} , но нет объяснения, что это за коэффициент; его физический смысл.

5) ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Физика и высшая математика», доктор физико-математических наук, профессор **Некучаев Владимир Орович**.

Отзыв положительный, имеется замечание:

- при описании k-ε модели турбулентности следовало указать, какие пристеночные функции используются при расчете скорости в пристенном турбулентном пограничном слое.

6) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», заведующий кафедрой теплогазоснабжения и нефтегазового дела, кандидат технических наук, доцент **Тульская Светлана Геннадьевна**;

доцент кафедры «Теплогазоснабжение и нефтегазовое дело», кандидат технических наук, доцент **Китаев Дмитрий Николаевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- не ясно, какие требования предъявляются к микроклимату машинных залов ЦОД;

- отсутствует расшифровка обозначений к рисунку 5;

- на рисунке 3 в диапазоне мощности от 1 до 2,9 кВт отображена только одна экспериментальная точка, а в диапазоне от 3 до 4 кВт 5 точек. Не понятно как планировался эксперимент и чем обосновано проведение одного экспериментального замера в указанном диапазоне мощности;

- чем обосновано ограничение мощности в экспериментальных исследованиях (рисунок 4 и рисунок 7) не более 6 кВт, если в дальнейших исследованиях используется 10 кВт;

- не приведён экономический эффект при реализации рекомендаций полученных в работе.

7) **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»**, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, профессор **Малявина Елена Георгиевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- нет оценки сравнения натурных и расчетных результатов.

- не ясно, чем обоснован именно 5% запас для исключения циркуляции воздушных потоков из «горячего» коридора в «холодный».

8) **ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»**, г. Владивосток, профессор военного учебного центра, доктор технических наук, доцент **Федюк Роман Сергеевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- раздел «Степень разработанности темы исследования» не показывает эту степень и не доказывает необходимость выполнения настоящей диссертации;

- объем диссертации (116 с.) несколько ниже, чем средний объем работ по данной специальности. То же касается перечня исследуемых источников литературы (120);

- количество публикаций во введении (4) и в конце диссертации (6) разное.

9) ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой «Теплоснабжение и инженерные системы в строительстве», доктор технических наук, профессор **Цветков Николай Александрович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- название представленной темы диссертации «Тепловой и воздушный режимы центров обработки данных» могло бы быть более точным. Например – «Тепловые и воздушные режимы машинных залов центров обработки данных», поскольку в работе представлены результаты по тепловым и воздушным режимам в машинном зале ЦОД;

- из автореферата неясно, каким образом получены результаты численного моделирования, представленные в таблицах 3 и 4;

- рисунок 6 практически невозможно рассмотреть и понять.

10) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, заведующий кафедрой теплогазоснабжения, водоотведения и вентиляции, доктор физико-математических наук, кандидат технических наук, доцент **Зоря Ирина Васильевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- почему при проведении исследований не предусмотрена работа системы вентиляции для холодных коридоров в холодный и переходный периоды года? Работа системы вентиляции в данные периоды смогла бы уменьшить нагрузку на кондиционеры, вплоть до их отключения. Это даст хороший экономический эффект, т.к. кондиционеры включались бы в работу только в теплый период года;

- какого типа применялись прецизионные кондиционеры – с выведенным вовне или встроенным конденсатором? Если конденсатор встроенный, то каким образом учитывались теплопритоки, полученные при его обдуве?

- в автореферате отсутствует таблица 2.

11) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, доцент **Ширяева Нина Павловна**; доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, доцент **Комаров Евгений Александрович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- из автореферата неясно, в каком режиме работает система вентиляции в ЦОД;

- требует уточнения размер живого сечения серверного оборудования, при котором вычислен объемный расход воздуха;

- на странице 14 автореферата представлена таблица 1. За ней приведена ссылка на табл. 3 и 4. Не совсем понятно, по каким причинам отсутствует таблица 2. Сами таблицы 3 и 4 расположены на стр. 14 и 15.

12) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, кандидат технических наук, доцент **Щукина Татьяна Васильевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- не указаны типы прецизионных кондиционеров, установленные в машинных залах центра обработки данных;

- из автореферата не ясно, представленный на рис.4 перепад температуры соответствует какой высоте замеров.

13) ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», доцент кафедры Урбанистика и инженерные

системы, кандидат технических наук, доцент **Старкова Лариса Геннадьевна.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

- для получения большей наглядности рисунки 2 и 3 стоило более адекватно привязать к плану помещения, показанному на рисунке 1;
- в автореферате отсутствует описание инструментария, выбранного для построения численной модели процессов: тип задачи, описание процессов, модель турбулентности и т.д.;
- в описании результатов численного моделирования (таблицы 3 и 4) неясно по каким стойкам выполнен разрез модели потоков, как менялось расположение и количество «горячих» и «холодных» коридоров.

14) ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение», кандидат технических наук **Гришков Алексей Александрович**; доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение», кандидат технических наук, доцент **Бурков Александр Иванович.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

- отсутствуют данные по основным характеристикам установленных кондиционеров;
- отсутствуют схемы установки потолочных панелей;
- не приведены данные по схемам движения воздуха в коридорах.

15) ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук **Баканова Светлана Викторовна.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

- отсутствуют сведения по экономической оценке полученных результатов;
- в работе не рассматривается влияние влажностного режима в помещении машинного зала на работу электронного оборудования;

- неясно, какие методы статистической обработки данных применялись при натурных исследованиях;

- из реферата не ясна методика проведения экспериментов при определении температурного графика.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается научными достижениями ученых, компетентных в данной отрасли науки, обладающих глубокими профессиональными знаниями по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, которой соответствует диссертация, что подтверждается публикациями в данной области, а также сформулированными замечаниями и изложенными выводами в отзывах на диссертационную работу. Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» является одним из ведущих на сегодняшний день национальных отраслевых университетов в России, на базе которого созданы научно-образовательные центры.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научно обоснованные технологические решения, заключающиеся в установке потолочных панелей над технологическим коридором, вертикальных фальш-панелей в свободном пространстве стоек, способствующие повышению эффективности охлаждения серверного оборудования центров обработки данных (ЦОД);

предложена научная гипотеза повышения эффективности систем охлаждения серверного оборудования центров обработки данных за счет использования конструктивных и технологических решений, снижающих влияние тепловыделений технологического оборудования на тепловой и воздушный режимы ЦОД;

доказана перспективность использования предложенного способа установки потолочных панелей над технологическим коридором и вертикальных фальш-панелей в свободном пространстве серверных стоек с учетом особенностей циркуляции потоков охлаждающего воздуха;

введены зависимости для расчета теплопоступлений серверного оборудования с учетом количества и эффективности блоков питания, коэффициент загрузки, учитывающий заполнение стоек серверным оборудованием разного типа.

Теоретическая значимость исследований обусловлена тем, что:

доказаны положения, устанавливающие зависимости перепада температур воздуха в стойках от потребляемой электрической мощности при различной загрузке серверных стоек; объемного расхода воздуха, проходящего через серверное оборудование, от потребляемой электрической мощности; градиента температуры воздуха по высоте машинного зала от количественного соотношения «горячих» и «холодных» коридоров, потребляемой электрической мощности стоек и степени их загрузки серверным оборудованием;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных натурных и численных методов исследования, который позволил получить зависимости перепада температур воздуха в стойках от потребляемой электрической мощности при различной загрузке серверных стоек; объемного расхода воздуха, проходящего через серверное оборудование, от потребляемой электрической мощности; градиента температуры воздуха по высоте машинного зала от количественного соотношения «горячих» и «холодных» коридоров, потребляемой электрической мощности стоек и степени их загрузки серверным оборудованием;

изложены методика построения математических моделей теплового и воздушного режимов машинного зала ЦОД и серверного оборудования различной компоновки, методы получения экспериментальных зависимостей

перепада температур воздуха в стойках от потребляемой электрической мощности при различной загрузке серверных стоек, объемного расхода воздуха, проходящего через серверное оборудование, от потребляемой электрической мощности и градиента температуры воздуха по высоте машинного зала от количественного соотношения «горячих» и «холодных» коридоров, потребляемой электрической мощности стоек и степени их загрузки серверным оборудованием;

раскрыты закономерности формирования температурного режима в машинных залах центров обработки данных при использовании кондиционеров, расположенных внутри ряда серверных стоек;

изучены принципы моделирования теплового и воздушного режимов ЦОД с использованием k-ε модели турбулентности, которые обеспечивают точность описания процессов теплопереноса и аэродинамики, а также соотношения между характеристиками тепло- и воздухообмена, соответствующими реальным физическим процессам; закономерности влияния размещения потолочных и фальш-панелей;

проведена модернизация технологических решений машинных залов ЦОД с использованием установки потолочных панелей над технологическим коридором и вертикальных фальш-панелей в свободном пространстве серверных стоек, позволяющих повысить эффективность и надежность работы технологического оборудования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены рекомендации по проектированию систем кондиционирования воздуха центров обработки данных; результаты диссертационного исследования внедрены в ОЭЦ «Санкт-Петербург» Северо-Западного главного управления Центрального банка Российской Федерации, что подтверждается полученным актом о внедрении; рекомендации по проектированию внедрены в учебный процесс на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» в лекционных курсах, практических

занятиях и курсовом проектировании при изучении дисциплин «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» (направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника), «Специальные разделы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха» (направление подготовки 08.04.01 Строительство) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»;

определены конструктивные решения по установке потолочных панелей над технологическим коридором и вертикальных фальш-панелей в свободном пространстве серверных стоек с учетом особенностей циркуляции потоков охлаждающего воздуха, позволяющих повысить эффективность и надежность работы технологического оборудования;

созданы конструктивные и технологические решения потолочных панелей над технологическим коридором и вертикальных фальш-панелей в свободном пространстве серверных стоек, позволяющих повысить эффективность и надежность работы технологического оборудования;

представлены рекомендации для разработки конструктивных и технологических решений, выбора способа охлаждения серверного оборудования, расположения кондиционеров в машинном зале и расчета холодопроизводительности кондиционеров.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовались: современное высокотехнологичное оборудование центра обработки данных, методы исследований и испытаний, регламентированные отечественными нормативными документами, с применением современных поверенных средств измерений, также численные методы с применением программных комплексов, позволившие получить обоснованные и достоверные результаты;

теория основана на применении общепринятых научных подходов физико-математического описания процесса теплообмена и аэродинамики, теории подобия, методов численного моделирования; результаты согласуются с

опубликованными данными экспериментальных исследований, полученными соискателем и другими авторами;

идея базируется на проведенном аналитическом обзоре научно-технической литературы, обобщающем фундаментальные и прикладные исследования отечественных и зарубежных ученых в области теплообмена и аэродинамики, посвященных способам обеспечения нормируемых параметров воздушной среды;

использованы результаты научных исследований, полученные российскими и зарубежными учеными;

установлена согласованность результатов натурных исследований, математического моделирования и инженерного расчета;

использованы современные методики проведения исследований с использованием поверенных средств измерений, сбора и статистической обработки данных при экспериментальных исследованиях, сопровождаемые достаточным количеством параллельных испытаний.

Личный вклад соискателя состоит в том, что непосредственно автором выполнена постановка проблемы, цели и задач диссертационного исследования, проведены литературный обзор, выбор объектов и методов исследований, проведены натурные и численные исследования, а также разработаны рекомендации по проектированию систем кондиционирования воздуха для центров обработки данных, подготовлены публикации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В докладе и в автореферате не показана динамика развития решений в области строительства центров обработки данных. Что было и что стало лучше?

2. В названии рисунка 11 в докладе указано, что зависимость объемного расхода воздуха от потребляемой электрической мощности приведена для серверного оборудования типа шасси с блейд-серверами и стоечного типа. Однако на рисунке показана только одна кривая.

3. В формуле коэффициента загрузки учитывалась высота зала? Или только высота стойки?

4. Какая у вас кратность воздухообмена?

Соискатель Дмитриев Ю.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел следующую аргументацию:

1. Значительные изменения произошли в области оборудования систем кондиционирования воздуха: вместо шкафных кондиционеров, предназначенных для установки по периметру помещения машинного зала центра обработки данных, стали применяться кондиционеры, располагаемые внутри рядов стоек. Также стали использоваться ограждающие конструкции для исключения циркуляции воздуха между «горячим» и «холодным» коридорами. Благодаря внедрению данных решений эффективность систем кондиционирования воздуха в центрах обработки данных увеличилась.

2. На рисунке 11 точки, обозначающие значения объемного расхода воздуха, полученные при потребляемой электрической мощности до 1 кВт, относятся к серверному оборудованию стойечного типа. Точки, обозначающие значения объемного расхода воздуха, полученные при потребляемой электрической мощности выше 1 кВт, относятся к серверному оборудованию типа шасси с блейд-серверами.

3. Учитывалась только высота стойки.

4. Система кондиционирования воздуха в центре обработки данных подает воздух в объеме, необходимом для обеспечения «теплосъема» от серверного оборудования. При численном моделировании максимальное значение объема воздуха, подаваемого одним кондиционером, составляло до 2000 м³/ч.

На заседании 12 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные конструктивные и технологические решения, позволяющие обеспечить оптимальный воздушно-тепловой режим в центрах обработки данных и имеющие существенное значение для

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Пухкал Виктор Алексеевич

17