

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научно-
исследовательской деятельности
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет»

Вдовин Евгений Анатольевич



акт

2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Казанский государственный
архитектурно-строительный университет»

на диссертационную работу **Дмитриева Юрия Александровича** на
тему: **«Тепловой и воздушный режимы центров обработки данных»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.3 - «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование
воздуха, газоснабжение и освещение»

Актуальность выбранной темы диссертационной работы определяется значительным развитием инфраструктуры обеспечения цифровизации всех отраслей промышленности и экономики страны. Одним из важных звеньев этой инфраструктуры являются специализированные помещения или здания – центры обработки данных (ЦОД), которые наполнены высокотехнологичным и тепловыделяющим оборудованием. При этом для нормального функционирования такого оборудования требуется строгое поддержание параметров микроклимата и отвод выделяющейся теплоты. На эти цели требуются существенные затраты энергетических ресурсов. Учитывая особенности компоновки серверного оборудования в ЦОД, основной задачей обеспечения нормируемых параметров наряду с выбором способа охлаждения становится разработка технических решений для наиболее рационального распределения воздуха.

Для проектирования систем воздухораспределения широко используются инженерные методы расчета, которые не в полной мере могут учесть существенное загромождение помещений оборудованием, а также стеснен-

ные условия развития течений внутри оборудования. В настоящее время в связи с высоким уровнем развития численного моделирования появляется возможность получения более детальной информации о взаимодействии воздушных течений с ограждающими конструкциями и элементами серверного оборудования. С другой стороны, корректность проведенных численных исследований может быть подтверждена только достоверными экспериментальными или аналитическими данными. Поэтому только комплексные исследования, включающие натурные и численные эксперименты, позволяют разработать необходимые технические решения, обеспечивающие нормируемые параметры воздушной среды и снижение энергопотребления системами обеспечения микроклимата в ЦОД.

Личное участие автора в получении результатов диссертации

Автором выполнен значительный объем натурных и численных экспериментов для помещений ЦОД при различных вариантах размещения ограждающих конструкций (потолочных и фальш-панелей), при разной степени загрузки стоек серверным оборудованием и использовании прецизионных кондиционеров, предназначенных для установки внутри ряда стоек. Разработаны рекомендации по проектированию предлагаемых технических решений, а также методика расчета систем кондиционирования воздуха для ЦОД. Результаты исследований представлены в статьях, опубликованных в рецензируемых изданиях.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, сделанных выводов и рекомендаций подтверждается хорошим совпадением результатов численных и натурных исследований, использованием верифицированного программного комплекса, а также стандартной методики экспериментальных исследований и обработки полученных результатов, необходимым уровнем значений статистических критериев.

Новизна полученных результатов исследования заключается в следующем:

1. Автором на основе натурных измерений получены подробные количественные данные о распределении температуры воздуха при различных способах размещения потолочных и фальш-панелей.
2. Установлено влияние потребляемой электрической мощности серверных стоек на их тепловой режим при использовании прецизионных кондиционеров, предназначенных для установки внутри ряда стоек.
3. Получены данные, позволяющие определить производительность системы кондиционирования воздуха для серверного оборудования типа шасси с блейд-серверами и стоечного типа.

4. На основании экспериментальных и численных исследований предложена зависимость градиента температуры воздуха по высоте помещения ЦОД от степени загрузки стоек серверным оборудованием и их потребляемой электрической мощности для различных вариантов организации «горячих» и «холодных» коридоров.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Научная значимость исследований заключается в определении закономерностей распределения температурных и скоростных полей в помещениях ЦОД для разных способов организации воздухообмена. Практическая значимость полученных результатов заключается в разработанных методиках расчета параметров вентилирования, которые могут быть использованы при проектировании систем вентиляции и кондиционирования ЦОД для разного типа серверного оборудования и схем его компоновки в стойках в зависимости от потребляемой электрической мощности стоек. Проведенные исследования можно характеризовать как научно обоснованные разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач в области создания нормируемых микроклиматических условий.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Предложенные автором теоретические зависимости могут быть применены при разработке технических решений по выбору типа и компоновки серверного оборудования, а также при проектировании систем кондиционирования воздуха ЦОД. Полученные в исследовании экспериментальные данные распределения температуры при различной потребляемой электрической мощности серверного оборудования в стойках рекомендуется учитывать при организации «горячих» и «холодных» коридоров, а также при устройстве потолочных и фальш-панелей.

Результаты исследований были использованы при модернизации системы кондиционирования воздуха ЦОД в Северо-Западном главном управлении Центрального банка Российской Федерации. Материалы диссертации используются в учебном процессе по дисциплинам «Вентиляция» и «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» при подготовке бакалавров по направлению подготовки 08.03.01 Строительство и при подготовке магистров по направлению подготовки 08.04.01 Строительство в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете.

Соответствие диссертации научной специальности

Представленная диссертационная работа соответствует разделам п. 1 и п.2 паспорта научной специальности 2.1.3 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

Замечания по диссертационной работе:

1. В таблице 4.1 на стр.23 на схеме непонятно, куда отводится нагретый и как подаётся охлажденный воздух.
2. На С.40 на рис. 2.4 нужно было привести схему мест установки фальш-панелей, это улучшило бы ясность в представлении полученного распределения температуры и его анализ.
3. На С.41 следовало пояснить методику проведения измерений: количество и повторяемость замеров, на каком расстоянии от вентиляторов находилась точка замера, как учитывалась неравномерность поля скорости вблизи вентилятора.
4. С. 47. На каком основании была выбрана именно k- ε модель турбулентности?
5. С. 49. Каким образом проводилось исследование на «сеточную зависимость», каковы параметры окончательной сетки, а также, каков порядок невязок по уравнениям при итерационном процессе считающемся сошедшимся?
6. С.100. Для обоснования целесообразности использования разработанной методики расчёта, следовало бы привести расчёт экономии электроэнергии при изменении количества работающих кондиционеров.

Приведенные замечания не снижают ценности проведенных исследований, полученных результатов и общего положительного впечатления.

Заключение

Диссертационная работа Дмитриева Ю.А. состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит достаточное для понимания количество исходных данных, пояснений, рисунков, графиков, таблиц и подробных расчетов. Общий объем работы составляет 130 страниц машинописного текста и включает в себя 14 страниц приложений, 8 таблиц, 56 рисунков и список литературы из 120 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. По каждой главе и работе в целом имеются выводы. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Представленные в диссертации материалы достаточно полно отражены в 4 публикациях автора, 2 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 опубликована в издании, входящем в базу SCOPUS.

Диссертационная работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. Вопросы, решенные диссертантом в работе, имеют существенное значение для области исследований. Текст диссертации написан хорошим литературным языком, грамотно, стиль изложения доказательный. Основные этапы работы, выводы и результаты исследования представлены в автореферате. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная 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».

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Теплоэнергетика, газоснабжение и вентиляция» «12» октября 2023г., протокол № 3.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Телефон: +7(843)510-46-01

Официальный адрес электронной почты: info@kgasu.ru

Web-сайт: www.kgasu.ru

Заведующий кафедрой
теплоэнергетики, газоснабжения и
вентиляции
ФГБОУ ВО «Казанский
государственный архитектурно-
строительный университет», доктор
технических наук, доцент



Р. Г. Сафиуллин

Подпись Сафиуллина Р. Г. заверяю

