

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Аверковой Ольги Александровны

на диссертационную работу **Дмитриева Юрия Александровича**

«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 темы диссертационного исследования

Современная тенденция цифровизации во всех сферах жизнедеятельности неизбежно требует развития технологий для обработки, хранения и передачи информации в специальных центрах обработки данных (ЦОД). Функционирование серверного оборудования сопровождается значительными тепловыделениями, сопоставимыми с горячими цехами производственных предприятий. Учитывая ограниченные объемно-планировочные решения и особенности размещения технологического оборудования в ЦОД, несомненно, актуальным является исследование теплового и воздушного режимов в ЦОД с целью выявления влияния различных факторов и разработки технических решений для обеспечения надежной работы серверного оборудования.

Структура и краткое содержание диссертационной работы

Диссертация включает планирование натурных экспериментов, проведение численного моделирования теплового и воздушного режимов в ЦОД при различных вариантах изоляции «горячих» и «холодных» коридоров, анализ результатов исследований, разработку рекомендаций по установке потолочных и фальш-панелей. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 120 наименований. Общий объем диссертационной работы: 116 страниц машинописного текста, 5 приложений на 14 страницах.

Во **Введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель и задачи, определены предмет и объект исследования, установлены научная новизна и практическая значимость полученных

результатов, определены защищаемые положения, а также приведены сведения о публикациях и апробации.

Глава 1 посвящена анализу отечественных и зарубежных исследований в области создания и поддержания воздушно-теплого режима помещений центров обработки данных с учетом особенностей серверного оборудования, его размещения в ЦОД, применяемого климатического оборудования, схемы организации воздухообмена. Необходимо отметить четкую структуру выполненного анализа состояния воздушной среды, что позволило автору выявить актуальность исследования, сформулировать цель и задачи диссертационной работы.

В **Главе 2** представлены результаты натурного эксперимента при использовании различных способов изоляции тепловых потоков для выявления влияния на воздушный режим помещения серверного оборудования центра обработки данных. В главе представлена процедура планирования натурного эксперимента, методика проведения и статистическая обработки данных. При проведении численного моделирования выполнено обоснование принятых допущений, выбора модели турбулентности. На современном уровне представлена интерпретация результатов численного моделирования для оценки адекватности методов исследования.

Глава 3 посвящена численному исследованию различных способов изоляции тепловых потоков с учетом возможных вариантов расположения технологических коридоров и степени загрузки серверным оборудованием. Результаты исследований позволили оценить влияние на воздушно-тепловой режим машинного зала ЦОД потребляемой электрической мощности серверного оборудования.

В **Главе 4** представлены рекомендации по проектированию и эксплуатации систем кондиционирования воздуха для ЦОД на основе выполненных натурных и численных экспериментов автора и анализе известных результатов других авторов. Разработана оригинальная методика расчета производительности кондиционеров в ЦОД в зависимости от потребляемой электрической мощности серверного оборудования на основе данных натурных исследований, которая

может быть использована для проектирования подобных объектов различной мощности.

В Заключении приведены общие выводы, отражающие актуальность, обоснованность полученных результатов натурных и численных исследований, определены перспективы дальнейших исследований. Таким образом, можно отметить, что по уровню актуальности, содержанию, объему теоретических и экспериментальных исследований, с учетом оценки достоверности полученных результатов диссертация является законченной квалификационной научной работой.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

В диссертации поставлены и решены следующие задачи:

- проведен обзор и анализ отечественных и зарубежных исследований в области обеспечения воздушно-теплого режима ЦОД системами кондиционирования воздуха различных типов при различных способах компоновки серверного оборудования;
- выполнены натурные эксперименты по оценке распределения параметров воздушной среды в действующем машинном зале ЦОД при различных способах изоляции воздушных потоков;
- разработаны численные модели воздушно-теплого режима машинного зала ЦОД для исследования влияния различных способов изоляции тепловых и воздушных потоков при различной потребляемой электрической мощности стоек;
- разработана численная модель воздушно-теплого режима машинного зала ЦОД для исследования влияния вариантов размещения технологических коридоров и степени загрузки стоек серверным оборудованием при различной потребляемой электрической мощности стоек;
- разработаны рекомендации по проектированию и эксплуатации систем кондиционирования воздуха ЦОД.

Степень достоверности научных положений не вызывает сомнений, поскольку исследования опираются на положения теории тепломассообмена и аэродинамики, и соответствует современным требованиям.

Научная новизна диссертационного исследования включает в себя следующие положения:

- установлена зависимость, учитывающая влияние способов изоляции воздушных потоков потолочными панелями над технологическим коридором и вертикальными фальш-панелями в свободном пространстве стоек на тепловой и воздушный режимы машинного зала ЦОД;
- получена зависимость скорости изменения температуры воздуха по высоте стоек в «холодном» коридоре машинного зала ЦОД от вариантов расположения технологических коридоров, потребляемой электрической мощности стоек и степени загрузки стоек серверным оборудованием;
- установлена зависимость перепада температур воздуха в стойках с серверным оборудованием от потребляемой электрической мощности стоек.

Обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций, научная и практическая значимость диссертационной работы не вызывают сомнений. Результаты диссертационного исследования внедрены в Северо-Западном главном управлении Центрального банка Российской Федерации, что подтверждено актом о внедрении научных результатов.

Степень завершенности диссертации в целом и качество ее оформления

Диссертация Дмитриева Ю.А. является логически построенной законченной научно-исследовательской работой. Оформление диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертация написана грамотным техническим языком.

Соответствие содержания автореферата диссертации

Автореферат отражает основные результаты диссертационного исследования. Автореферат включает: актуальность, степень разработанности темы исследования, цели и задачи, объект и предмет исследования, методологию и методы исследования, новизну исследования, теоретическую и практическую значимость, степень достоверности и апробацию результатов, список публикаций, защищаемые положения и результаты исследований, выводы.

Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы

Личный вклад автора состоит в:

- проведении натурных и численных экспериментов;
- сравнительном анализе результатов исследований;
- апробации результатов исследования;
- разработке рекомендаций по проектированию и эксплуатации систем кондиционирования воздуха центров обработки данных;
- подготовке основных публикаций по диссертационной работе.

Полнота опубликованных основных результатов диссертации

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 4 научных работах, в том числе 2 в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК, 1 – в издании, индексируемом Scopus.

Замечания по диссертации

1. Методология и методы исследования записаны в слишком общем виде, нет необходимой конкретики.

2. В списке литературы нет публикаций ряда ученых, труды которых являются теоретической основой исследования, как заявлено в разделе «Степень разработанности темы исследования». Кроме того, этот пункт не раскрыт.

3. Нет пояснений при каком количестве испытаний, каком количестве степеней свободы и по какой формуле рассчитывался критерий Фишера при сравнении расчетных величин, полученных по уравнениям регрессии и экспериментальным данным.

4. Выражение «экспериментальная зависимость» понятно, но несколько некорректно. Необходимо было бы это словосочетание изложить более научным языком.

5. В главе 2 «Экспериментальное исследование теплового и воздушного режимов...» п.2.4. «Разработка численных моделей машинного зала» не соответствует названию главы и должен был бы помещен в главу 3, где производится численное исследование. Кроме того, название параграфа 2.4 является некорректным. Что такое «модель зала»?

В п. 2.4.3 не понятно почему адекватность модели устанавливается только по критерию Фишера, который выражает разброс данных относительно средних

значений. Целесообразно было бы установить тесноту связи расчетных и экспериментальных данных по критерию Пирсона, сравнить средние значения по критерию Стьюдента, определить среднее отклонение расчетных величин относительно экспериментальных.

Заключение

Указанные замечания по диссертации не снижают общей научной и практической ценности, положительного впечатления от выполненной работы. Диссертационная работа является самостоятельно выполненной, законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технологические решения, обеспечивающие оптимальный воздушно-тепловой режим в ЦОД и имеющие существенное значение при проектировании, строительстве и эксплуатации ЦОД в народно-хозяйственном комплексе страны.

Считаю, что разработанные автором теоретические положения и сформулированные практические выводы полностью соответствуют требованиям паспорта научной специальности ВАК: 2.1.3. «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение», а именно п.1. «Климатологическое обеспечение зданий. Тепломассообмен и гидроаэромеханика систем теплогазоснабжения и вентиляции, тепло и холодогенерирующего оборудования, ограждающих конструкций. **Исследования теплового, воздушного, влажностного режимов помещений, зданий и сооружений**» и п.2 «**Технологические задачи теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха**, разработка методов энергосбережения систем и элементов теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений. Очистка и расчет рассеивания загрязняющих веществ от вентиляционных выбросов».

Диссертационная работа Дмитриева Юрия Александровича соответствует требованиям, изложенным в п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. в

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

Официальный оппонент:

доктор технических наук по научной специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, профессор, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (ФГБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова»).

Аверкова Ольга
Александровна

Адрес: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д.46,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»
Тел. 8(4722) 54-20-87
E-mail: rector@intbel.ru
Сайт: <https://www.bstu.ru>

Подпись доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» О.А. Аверковой заверяю.

Проректор по научной и инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»,
доктор педагогических наук, профессор



Давыденко Татьяна Михайловна