

# **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

Мансурова Рустама Шамильевича

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 избранной темы диссертационного исследования**

Интенсивное развитие цифровых технологий сопровождается увеличением количества объектов, производящих обработку, хранение и передачу цифровой информации – центров обработки данных (ЦОД). Перегрев серверного оборудования является наиболее распространенной причиной снижения качества сохранности данных в ЦОД. Поэтому исследование влияния различных факторов на процесс формирования теплового и воздушного режимов в ЦОД является актуальной задачей.

## **Структура и краткое содержание работы**

Диссертация содержит натурные и численные исследования. Выполнено сопоставление результатов численного моделирования с данными, полученными экспериментальным путем.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, содержащего основные общие выводы, списка литературы, включающего 120 наименований. Общий объем диссертационной работы: 116 страниц машинописного текста, 5 приложений на 14 страницах.

Во **Введении** обосновывается актуальность выбранной темы исследования, характеризуется степень ее разработанности, формулируется цель и задачи, осуществляется выбор предмета и объекта исследования, приводятся научная новизна и практическая значимость полученных результатов, а также сведения об апробации и публикациях.

В **Главе 1** выполнен обзор и анализ отечественных и зарубежных исследований в области обеспечения воздушно-теплового режима центра

обработки данных системами кондиционирования воздуха различных типов и способов расположения. Положительным является то, что автор проанализировал и изложил в историческом аспекте работы отечественных и зарубежных авторов по рассматриваемой теме. Цель диссертационной работы, сформулированная автором, логически вытекает из современного состояния проблемы и восполняет пробел в рассматриваемой области знаний.

В **Главе 2** представлены результаты натурного исследования влияния различных способов организации воздушных потоков на воздушно-тепловой режим машинного зала центра обработки данных. Также определены зависимости объемного расхода воздуха, проходящего через серверное оборудование, и перепада температур воздуха в стойках от потребляемой электрической мощности серверного оборудования. При написании этой главы автор показал хорошие знания методов измерений параметров воздушной среды и статистической обработки данных. Продемонстрировал понимание теоретических основ математического моделирования турбулентных течений и умение использовать современное программное обеспечение в области численных экспериментов.

В **Главе 3** приведены результаты численного исследования влияния на воздушно-тепловой режим машинного зала ЦОД различных способов организации воздушных потоков, вариантов расположения технологических коридоров и степени загрузки стоек серверным оборудованием при различной потребляемой электрической мощности стоек. Положительным является использование экспериментальных данных при проведении численного исследования и многофакторного регрессионного анализа при обработке результатов исследования.

В **Главе 4** приведены рекомендации по проектированию систем кондиционирования воздуха для ЦОД. Следует отметить, что автор предложил рекомендации, являющиеся результатом не только его собственных экспериментальных и численных исследований, но и систематизировал выводы других авторов по данной тематике. Также интересной является методика расчета, проверенная на адекватность в натурных условиях, позволяющая



определить требуемое значение производительности кондиционеров в машинном зале.

Завершая общий анализ работы, можно отметить, что по актуальности исследуемых проблем, содержанию, объему теоретических и экспериментальных исследований, достоверности полученных результатов диссертация является законченным квалификационным научным исследованием.

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

В результате работы над диссертацией решены следующие задачи:

- проведен анализ отечественных и зарубежных исследований в области обеспечения воздушно-теплого режима ЦОД системами кондиционирования воздуха различных типов и способов расположения;
- выполнены натурные исследования воздушно-теплого режима действующего ЦОД при различных способах организации воздушных потоков;
- разработана численная модель для исследования влияния технологических решений и характеристик серверного оборудования на тепловой и воздушный режимы ЦОД;
- разработаны рекомендации по проектированию систем кондиционирования воздуха для ЦОД.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций соответствует современным требованиям. Не вызывают сомнения обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций.

Научная новизна диссертационного исследования включает в себя следующие положения:

- установлен характер влияния потолочных панелей над технологическим коридором и вертикальных фальш-панелей в свободном пространстве стоек на тепловой и воздушный режимы машинного зала ЦОД;
- экспериментально получена зависимость перепада температур воздуха в стойках от их потребляемой электрической мощности, позволяющая рассчитать производительность системы кондиционирования воздуха;
- в результате натурных измерений и на основании данных, полученных другими

авторами, получена зависимость объемного расхода воздуха, проходящего через серверное оборудование типа шасси с блейд-серверами и стоечного типа, от их потребляемой электрической мощности, которая может быть использована при проведении численного моделирования данного оборудования;

– на основании результатов численного исследования установлена зависимость градиента температуры воздуха по высоте машинного зала от количественного соотношения «горячих» и «холодных» коридоров, потребляемой электрической мощности стоек и степени их загрузки серверным оборудованием.

Обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций, научная значимость диссертационной работы не вызывают сомнений. Работа также имеет существенную практическую значимость. Результаты диссертационного исследования были апробированы в Северо-Западном главном управлении Центрального банка Российской Федерации, что подтверждается соответствующим актом о внедрении научных результатов.

#### **Степень завершенности диссертации в целом и качество ее оформления**

Диссертация Дмитриева Ю.А. является добротной, законченной научно-исследовательской работой. Оформление диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук. В диссертации выдержана стройность изложения и логическая взаимосвязь разделов. Каждый последующий вывод вытекает из ранее изложенного материала или литературы.

#### **Соответствие содержания автореферата диссертации**

Автореферат отражает основное содержание диссертации. Авторефератом охвачены все основные блоки исследования: актуальность, степень разработанности темы исследования, цели и задачи, объект и предмет исследования, методология и методы исследования, новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, степень достоверности и апробация результатов, список публикаций, основные положения и результаты исследований, выводы. Структурно автореферат диссертационного исследования соответствует современным требованиям.

#### **Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы**



Личный вклад автора состоит в следующем:

- проведение экспериментальных и численных исследований, проведение сравнительного анализа результатов;
- апробация результатов исследования;
- разработка методики расчета и рекомендаций по проектированию систем кондиционирования воздуха для центров обработки данных;
- подготовка основных публикаций по выполненной 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. Из описания экспериментальных исследований (стр.38-41) следует, что измерения скорости воздуха производились «на выходе из серверного оборудования». На мой взгляд, на выходе из серверного оборудования профиль скорости потока воздуха будет чрезвычайно неравномерным. Целесообразно было бы измерять скорость потока со стороны всасывания специальным приспособлением типа воронки Testovent 415, но с габаритными размерами соответствующим фронтальным размерам исследуемого серверного оборудования.
2. В параграфе 3.3. (стр.76) при описании влияния перепада давления между коридорами, автором не указано следующее: имеются ли помимо фальш-панелей потолочные панели? Если потолочные панели отсутствуют, то создать перепад давления между коридорами будет практически невозможно, так как воздушный поток будет циркулировать между коридорами в подпотолочном пространстве, выравнивая давление между ними. Поэтому положительный эффект от создания перепада давления между коридорами может быть достигнут только при наличии фальш-панелей и потолочных панелей, обеспечивающих движение воздуха только через серверное оборудование и кондиционеры.
3. Автором в параграфе 3.2 приведена формула 3.3 для расчёта градиента температуры (стр.74), в которой последнее слагаемое является отношением

количества «горячих» коридоров к «холодным». Данное отношение, на мой взгляд, не доказано ни моделированием, ни экспериментом. Например, имеется ЦОД с пятью коридорами: в одном случае 3 «холодных» и два «горячих» коридора, в другом 3 «горячих» и 2 «холодных». Из предшествующего описания исследований следует, что вариант, когда «горячий» коридор окружён с обеих сторон «холодными» более эффективен по всем параметрам, чем наоборот. Тогда лучшим вариантом для машинного зала будет всегда тот, у которого крайними коридорами должны быть «холодные».

4. Не объяснена высокая температура воздуха на входе в стойки №4 и №21, которая получена в результате натурных измерений до установки фальш-панелей в машинном зале (рисунок 2.3).

### **Заключение**

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. «...Исследования теплового, воздушного, влажностного режимов помещений, зданий и сооружений» и п.2 «Технологические задачи теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха...».

Замечания по диссертации не снижают её научной и практической ценности, а также положительного впечатления от выполненной работы. Диссертационная работа выполнена самостоятельно и является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технологические решения, позволяющие обеспечить требуемый воздушно-тепловой режим в ЦОД и имеющие существенное значение в области строительства, проектирования и эксплуатации ЦОД в народно-хозяйственном комплексе страны.

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:

кандидат технических наук по научной специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (ФГБОУ ВО «НГАСУ (СИБСТРИН)»).

Мансуров  
Рустам Шамильевич

630008, г. Новосибирск, улица Ленинградская, дом 113, НГАСУ (СИБСТРИН),  
Факультет инженерно-экологический (ИЭФ НГАСУ(СИБСТРИН)), кафедра  
теплогазоснабжения и вентиляции  
тел. +7 (383) 266-38-21.  
E-mail: tgiv@sibstrin.ru.

