



Определение перепада давления воздуха между коридорами технологического помещения

Ю. А. Дмитриев, канд. техн. наук, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Н. С. Пономарев, канд. физ.-мат. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В. К. Аверьянов, д-р техн. наук, профессор, АО «Газпром промгаз»,

А. В. Цыганков, д-р техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет ИТМО

Ключевые слова: численное моделирование, холодный коридор, горячий коридор, центр обработки данных, перепад давления воздуха.

При проектировании систем кондиционирования воздуха технологических помещений ЦОД для обеспечения нормируемого значения температуры воздуха на входе в пространство серверного оборудования важным является определение необходимого перепада давления воздуха между технологическими коридорами. В статье представлены результаты численного определения перепада давления воздуха между холодным и горячим коридорами в технологическом помещении при потребляемой электрической мощности серверного оборудования в шкафу 1–6 кВт и при различных режимах работы кондиционера, предназначенного для установки внутри ряда серверных шкафов. Для обеспечения нормируемого значения температуры воздуха на входе в пространство серверного оборудования определены перепады давления воздуха между коридорами в зависимости от потребляемой электрической мощности оборудования.

Введение

Выделяемые в процессе работы серверного оборудования в технологических помещениях центров обработки данных (ЦОД) теплоизбытки удаляются, как правило, с помощью системы кондиционирования воздуха. При проектировании систем кондиционирования воздуха в ЦОД следует предусматривать мероприятия для снижения влияния циркуляции воздуха в серверных шкафах на тепловой режим серверного оборудования, т. к. смешение потоков нагретого и охлажденного воздуха

внутри серверного шкафа может способствовать выходу из строя серверного оборудования за счет перегрева. Для предотвращения перегрева широкое применение получили следующие технические решения:

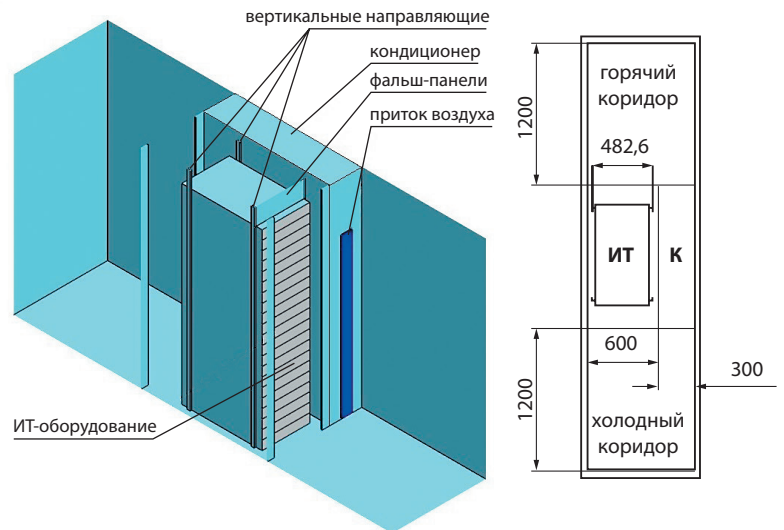
- рядная планировка построения серверных шкафов с образованием горячих и холодных коридоров;
- установка потолочных панелей над горячим или холодным коридорами и фальш-панелей в свободном пространстве серверных шкафов.

В настоящее время выявлено [1], что применение указанных решений в ЦОД не исключает риска образования зон с температурой воздуха, превышающей нормируемое значение [2, 3], и для снижения циркуляции воздуха дополнительно требуется обеспечивать перепад давления между коридорами технологического помещения. Результаты исследований в данной области представлены в работах [4–6] для кондиционеров, расположенных по периметру помещения ЦОД. Выявлено, что для обеспечения требуемой температуры воздуха на входе в серверное оборудование перепад давления между коридорами должен составлять $\Delta p = 15\text{--}20$ Па. Цель данного исследования заключается в определении необходимого значения перепада давления воздуха между коридорами, позволяющего обеспечить нормируемую температуру воздуха на входе в пространство серверного оборудования при различных значениях потребляемой электрической мощности. В качестве оборудования системы кондиционирования воздуха в исследовании принят кондиционер, предназначенный для установки внутри ряда серверных шкафов.

Методы

Для проведения исследования использован гидродинамический пакет STAR CCM+. Работа данного программного комплекса заключается в дискретизации уравнений Навье–Стокса, осредненных по Рейнольдсу, методом контрольных объемов. Геометрическая модель в программном комплексе представляет собой помещение, в котором расположены серверный шкаф с серверным оборудованием и прецизионный кондиционер (рис. 1). Высота шкафа составляет 2000 мм, ширина – 600 мм. Расстояние между направляющими для размещения серверного оборудования в шкафу – 482,6 мм (19 дюймов). Высота помещения равна высоте серверного шкафа. В модели принято, что в качестве серверного оборудования в шкафу находятся серверы стоечного типа в количестве 21 шт. Свободное от серверного оборудования пространство шкафа закрыто фальш-панелями. Геометрические характеристики серверного оборудования приняты на основании данных [7]. Геометрические характеристики кондиционера приняты на основании данных [8].

Созданная геометрическая модель помещения преобразована в расчетную область пространства,



■ Рис. 1. Геометрическая модель и план помещения: ИТ – серверное оборудование в шкафу; К – кондиционер

для которой сгенерирована расчетная сетка и задана трехмерная физическая модель $k\text{--}\epsilon$ -турбулентности стационарного потока идеального газа.

Для постановки граничных условий расчетная область пространства разделена на границы: «приток воздуха» и «удаление воздуха» для кондиционера, «забор воздуха» и «выброс воздуха» для серверного оборудования. Параметры среды, задаваемые в пределах указанных границ в зависимости от принятой потребляемой электрической мощности серверного оборудования, вычислены на основании экспериментальных данных.

Объем воздуха, проходящего через серверное оборудование, определяется по эмпирической зависимости, полученной в результате обработки данных натурального эксперимента [9]:

$$L_{c.o.} = -23,5 \cdot E_{c.o.}^2 + 301,5 \cdot E_{c.o.} - 33,4, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где $E_{c.o.}$ – потребляемая электрическая мощность серверного оборудования в шкафу, кВт.

Аналогично перепад температур воздуха в серверном оборудовании в шкафу вычисляется по зависимости [9]:

$$\Delta T_{c.o.} = 6,80 \cdot \ln E_{c.o.} + 4,89, \text{ К}. \quad (2)$$

Для исследования влияния перепада давления воздуха между коридорами на тепловой режим серверного оборудования в программном комплексе рассмотрены три режима работы кондиционера:

- производительность кондиционера по воздуху L_k ($\text{м}^3/\text{ч}$) равна объему воздуха, проходящего через серверное оборудование $L_{c.o.}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$);

Таблица 1

Граничные условия

№	Потребляемая электрическая мощность серверного оборудования в шкафу $E_{c.o.}$, кВт	Режим работы кондиционера	Объем воздуха, м ³ /ч				Перепад температур воздуха в серверном оборудовании в шкафу $\Delta T_{c.o.}$, К
			Граница «приток воздуха»	Граница «удаление воздуха»	Граница «забор воздуха»	Граница «выброс воздуха»	
1	1	$L_k = L_{c.o.}$	245	245	245	245	4,9
2		$L_k = 1,2 L_{c.o.}$	294	294	245	245	
3		$L_k = 1,4 L_{c.o.}$	342	342	245	245	
4	2	$L_k = L_{c.o.}$	476	476	476	476	9,6
5		$L_k = 1,2 L_{c.o.}$	571	571	476	476	
6		$L_k = 1,4 L_{c.o.}$	666	666	476	476	
7	3	$L_k = L_{c.o.}$	660	660	660	660	12,4
8		$L_k = 1,2 L_{c.o.}$	792	792	660	660	
9		$L_k = 1,4 L_{c.o.}$	923	923	660	660	
10	4	$L_k = L_{c.o.}$	797	797	797	797	14,3
11		$L_k = 1,2 L_{c.o.}$	956	956	797	797	
12		$L_k = 1,4 L_{c.o.}$	1115	1115	797	797	
13	5	$L_k = L_{c.o.}$	887	887	887	887	15,8
14		$L_k = 1,2 L_{c.o.}$	1064	1064	887	887	
15		$L_k = 1,4 L_{c.o.}$	1241	1241	887	887	
16	6	$L_k = L_{c.o.}$	930	930	930	930	17,1
17		$L_k = 1,2 L_{c.o.}$	1116	1116	930	930	
18		$L_k = 1,4 L_{c.o.}$	1301	1301	930	930	

- производительность кондиционера по воздуху $L_k = 1,2 L_{c.o.}$, м³/ч;
- производительность кондиционера по воздуху $L_k = 1,4 L_{c.o.}$, м³/ч.

В табл. 1 представлены граничные условия, заданные на каждом этапе численного моделирования. Температура подаваемого кондиционером воздуха для всех случаев принята 22 °С. Для границ «забор воздуха» и «удаление воздуха» задан тип «давление на входе», позволяющий фиксировать температуру воздуха на входе в серверное оборудование и кондиционер.

В процессе программного расчета выполнена проверка зависимости результатов моделирования от размеров расчетной сетки. Для оценки сходимости решения выбрано значение температуры воздуха в объеме помещения. Выявлено, что результаты расчета не меняются после 3000 итераций для сеток объемом 758 312 ячеек.

Результаты и обсуждение

В результате расчетов получены значения максимальных температур воздуха на входе в серверное оборудование при различных величинах потребляемой электрической мощности оборудования и режимах работы кондиционера (рис. 2).

Выявлено, что в режиме работы кондиционера $L_k = 1,4 L_{c.o.}$ отсутствует смешение потоков нагретого и охлажденного воздуха в зоне забора воздуха серверным оборудованием, т. к. обеспечивается необходимое смешение зоны температурной стратификации ближе к горячему коридору. На рис. 3 показан пример данного процесса при потребляемой электрической мощности серверного оборудования в шкафу 6 кВт.

Максимальное значение температуры воздуха на входе в серверное оборудование в режиме $L_k = 1,4 L_{c.o.}$ работы кондиционера незначительно отличается от значения температуры приточного воздуха. Расхождение составляет не более 4,8 %.

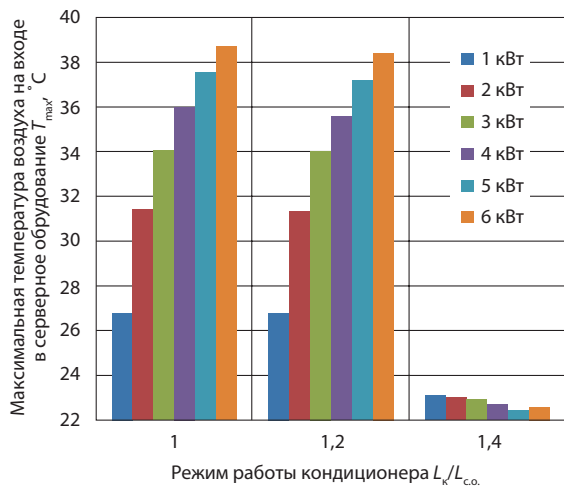


Рис. 2. Максимальная температура воздуха на входе в серверное оборудование T_{max} (°C) в зависимости от потребляемой электрической мощности оборудования $E_{c.o.}$ (кВт) и режима работы кондиционера $L_k/L_{c.o.}$.

На основании полученных результатов построена зависимость перепада давления воздуха между коридорами от потребляемой электрической мощности оборудования для данного режима работы кондиционера (рис. 4).

Таким образом, при использовании кондиционеров, предназначенных для установки внутри ряда шкафов, зависимость перепада давления воздуха между коридорами от потребляемой электрической мощности серверного оборудования в шкафу является степенной функцией, знание которой позволяет повысить качество функционирования ЦОД.

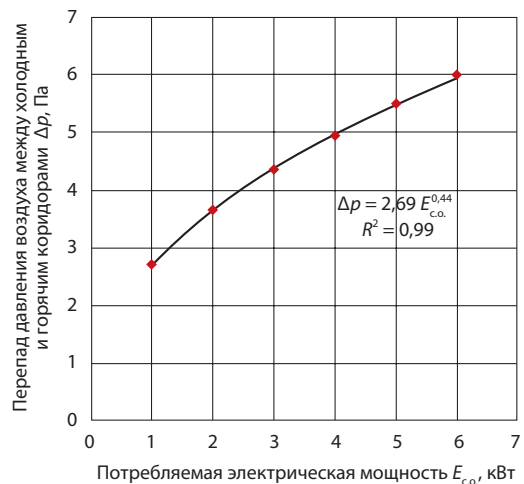


Рис. 4. Перепад давления между холодным и горячим коридорами Δp (Па) в зависимости от потребляемой электрической мощности оборудования $E_{c.o.}$ (кВт) и для режима $L_k = 1,4L_{c.o.}$ работы кондиционера

Выводы

1. Численные расчеты с помощью программного комплекса STAR CCM+ позволяют определять влияние различных параметров на температурные режимы в помещениях ЦОД.
2. В результате проведенного численного исследования выявлено, что для рассмотренного примера температура воздуха на входе в пространство серверного оборудования не превышает нормируемого значения в случаях, когда производительность кондиционера по воздуху

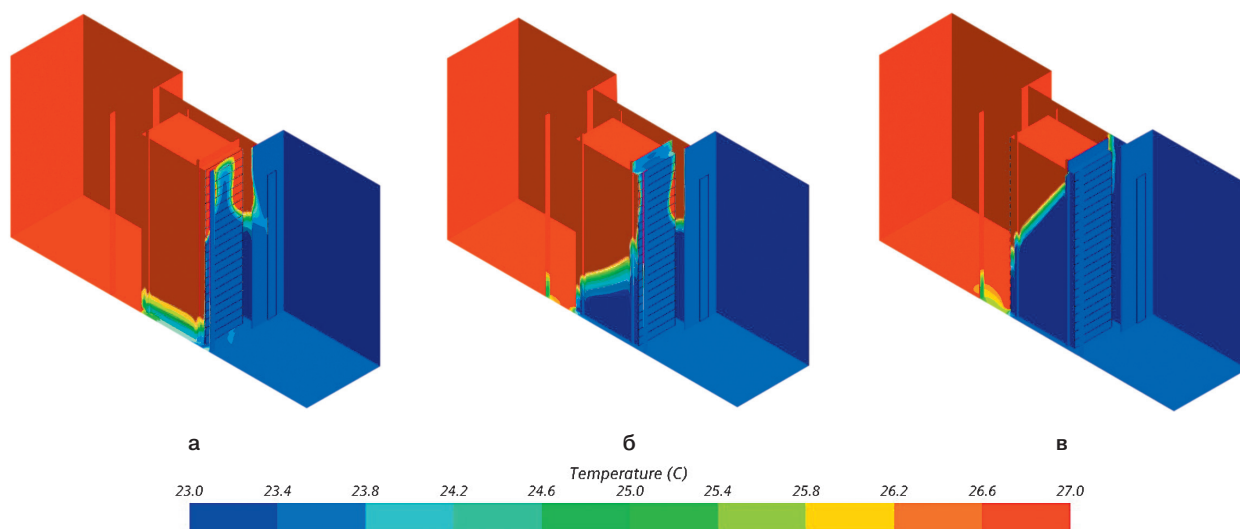


Рис. 3. Поля распределения температуры воздуха в помещении при потребляемой электрической мощности серверного оборудования в шкафу 6 кВт и различных режимах работы кондиционера: а - $L_k = L_{c.o.}$; б - $L_k = 1,2 \cdot L_{c.o.}$; в - $L_k = 1,4 \cdot L_{c.o.}$.

в 1,4 раза превышает объем воздуха, проходящий через серверное оборудование.

3. Полученная в результате численных экспериментов зависимость перепада давления воздуха между коридорами от потребляемой электрической мощности серверного оборудования в шкафу в диапазоне от 1 до 6 кВт может быть использована при проектировании помещений для ЦОД.

Литература

1. Tatchell-Evans M., Kapur N. et al. An experimental and theoretical investigation of the extent of bypass air within data centres employing aisle containment, and its impact on power consumption // Applied Energy. – 2017. – Vol. 186. – P. 457–469.
2. Стандарт TIA-942 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ups-info.ru/etc/tia_russkii.pdf (дата обращения 14.04.2024).
3. ASHRAE TC9.9 Data Center Networking Equipment – Issues and Best Practices Whitepaper prepared by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces, and Electronic Equipment [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/ASHRAE_TC0909_Power_White_Paper_22_June_2016_REVISED.pdf (дата обращения 14.04.2024).
4. Руперт Р. Методы регулирования охлаждения холодного коридора в ЦОД // Журнал сетевых решений/LAN. – 2014. – № 5. – С. 30–35.
5. Sundaralingam V., Arghode V.K., et al. Experimental characterization of various cold aisle containment configurations for data centers // Electron Package. – 2015. – № 137(1).
6. Тимонин Ю. Концепции организации охлаждения ЦОД: в поисках наибольшей эффективности // СТА. – 2018. – № 1. – С. 84.
7. Сервер HP Proliant DL380 Gen7 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.proliant.ru/catalog/servers/DL/servery_snjatye_s_proizvodstva/hp_proliant_dl380_g7.html (дата обращения: 14.04.2024).
8. Прецизионный кондиционер Liebert CRV [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vertiv.com/ru-emea/products-catalog/thermal-management/in-row-cooling/liebert-crv-row-based-cooling-unit/> (дата обращения: 14.04.2024).
9. Дмитриев Ю.А. Тепловой и воздушный режимы центров обработки данных: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: СПбГАСУ, 2023.

Радиальные вентиляторы с огнестойкими двигателями



Компания «Аэрдин» выпускает осевые и радиальные вентиляторы с огнестойкими двигателями, которые прошли огневые сертификационные испытания при установке внутри испытательной печи. Такие вентиляторы могут устанавливаться внутри помещений с возможным возникновением очага пожара.

Одна из серий таких вентиляторов – радиальные СТУД-РСН-300 со спиральным корпусом – позволяет при установке в венткамере отказаться от мероприятий по теплоизоляции корпуса и дополнительной вентиляции камеры.

В настоящее время осуществляется сертификация новых серий радиальных вентиляторов со спиральным и прямоугольным корпусом с огнестойким двигателем с пределом огнестойкости 400 °С / 2 ч.

