**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 8, № 2, 2017
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.2.03

УДК 697.94

ПРОБЛЕМЫ МИКРОКЛИМАТА УЗЛОВ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ

А.А. Нечаева, А.И. Бурков, Г.С. Мишнева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 10 января 2017
Принята: 15 марта 2017
Опубликована: 30 июня 2017

Ключевые слова:

телекоммуникационные центры, технологические помещения, прецизионный кондиционер, оптимальные параметры микроклимата, оборудование АТС, температурный и влажностный режимы помещения, резервный кондиционер, холодопроизводительность

АННОТАЦИЯ

Любые современные коммуникационные центры оснащены различным электронным оборудованием, составляющим ядро его информационной системы. Система кондиционирования таких помещений должна отвечать самым высоким требованиям надежной эксплуатации для соблюдения требований непрерывности работы, независимости от сезона и постоянного поддержания оптимальных условий микроклимата данных помещений. В связи с этим изготовители компьютерного и телекоммуникационного оборудования устанавливают допуски изменения микроклиматических параметров воздушной среды, которые обеспечивают оптимальные условия работы технических средств. Для большинства технических средств оптимальные температурно-влажностные параметры воздуха, обеспечивающие надежный технологический процесс управления и обработки данных, находятся в достаточно узком диапазоне значений. В статье выявлены проблемы, которые встречаются при эксплуатации узлов связи и телекоммуникационных центров, если не соблюдаются оптимальные параметры. Приведены требования к климатическому оборудованию, которые определяются согласно требованиям к самому технологическому оборудованию. Все требования в той или иной мере определяют комплектность поставляемых систем вентиляции и кондиционирования. По характерным требованиям и назначению технологического помещения их разделяют на две группы. К первой группе относятся помещения, оборудование в которых требует регулирования температурно-влажностного режима, и системы кондиционирования в таких помещениях должны быть надежными и пригодными к круглогодичной эксплуатации. Ко второй группе технологических помещений относятся те, где эксплуатируется оборудование с менее жесткими требованиями к температурному режиму и где не требуется регулирование влажности. В ряде случаев для повышения надежности системы технологического кондиционирования применяется установка резервного оборудования. В таких системах важны равномерная выработка ресурса кондиционеров и автоматическое включение резервного оборудования при отказе основного. Для наглядности в статье представлена система управления кондиционерами при использовании резервного агрегата, исследованы их функции. Подробно рассмотрены кондиционеры точного контроля Montair и Uniflair, которые разработаны специально для систем телекоммуникаций и способны обеспечить точное поддержание оптимальных рабочих параметров и высочайшую степень надежности вне зависимости от условий наружной среды.

© ПНИПУ

Нечаева Алена Андреевна – студентка, e-mail: alena.nechaeva.93@mail.ru.

Бурков Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: ale-burkov1@yandex.ru.

Мишнева Галина Степановна – доцент.

Alena A. Nechaeva – Student, e-mail: alena.nechaeva.93@mail.ru.

Aleksandr I. Burkov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: ale-burkov1@yandex.ru.

Galina S. Mishneva – Associate Professor.

PROBLEMS OF CLIMATE UNITS OF COMMUNICATION AND TELECOMMUNICATIONS CENTRES

A.A. Nechaeva, A.I. Burkov, G.S. Mishneva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 10 January 2017

Accepted: 15 March 2017

Published: 30 June 2017

Keywords:

telecommunication centers, technological facilities, precision air conditioning, optimum parameters of microclimate, automatic telephone station equipment, temperature and humidity modes of a room, the backup air-conditioning, cooling

ABSTRACT

Any modern communication center is equipped with a variety of electronic equipment which constitutes the core of its information system. The conditioning system of such premises is to meet the highest requirements to ensure the reliable operations, to provide an operational continuity of work regardless of the season and to guarantee the constant optimum indoor climate for such premises. Therefore, computer and telecommunication equipment manufacturers establish the acceptable changes of microclimatic parameters of air which provide optimal conditions for the equipment operations. For most equipment, the optimized air temperature and humidity which ensure a reliable control and processing of data are established in a fairly narrow range of values. The paper reveals the problems that might occur when the operations of communication and telecommunications centers do not comply with the optimal parameters. The requirements to climatic control systems have been specified which are determined by the requirements of the electronic equipment itself. To some extent, all the requirements determine the completeness of the supplied ventilation and air conditioning systems. According to the characteristic requirements and purposes of technological premises, there are two types of them. The first type includes facilities, equipment which requires the regulation of temperature and humidity; so air-conditioning systems in these areas must be reliable and suitable for a year-round operation. The second type of technological premises are those where equipment is operated with less restricted requirements to temperature and humidity control. In some cases, to improve the reliability of technological air-conditioning systems, the backup equipment is installed. In such a system it is important to steadily manage the conditioner resources and install an automated switching of the backup equipment, if the main one is out of order. As an example, the paper presents the air conditioning control system using a backup unit and describes their functions. We have thoroughly studied the precise control Uniflair and Montair conditioners which are specially designed for telecommunication systems and are able to provide a precise optimized performance and the highest degree of reliability regardless of the external environment conditions.

© PNRPU

Скоротечное накопление информации на цифровых носителях, начавшееся с появлением компьютеров, поспособствовало росту количества устройств, обеспечивающих ее хранение и возможность использования в любое время. Любые современные коммуникационные центры оснащены различным электронным оборудованием, составляющим ядро его информационной системы. Исследования, проведенные в коммуникационных центрах, центрах связи, хранилищах средств информации и других помещениях, где расположены компьютерная техника и электронное оборудование, показывают непосредственную связь между ходом производственных процессов, надежностью оборудования, с одной стороны, и качеством воздушной среды в помещениях – с другой [1]. Работа компьютерной техники и электронного оборудования при высокой степени загруженности сопровождается значительным выделением тепла, поэтому обязательным условием его нормального функционирования является постоянное кондиционирование помещения информационных систем [2]. Отсутствие такового приведет к скорому отказу и выходу из строя систем ЭВМ, затраты на восстановление которых могут существенно превысить затраты на приобретение и обслуживание климатического оборудования. Важно отметить, что система кондиционирования воздуха для помещений ЭВМ не должна объединяться с другими системами кондиционирования воздуха [3].

Характеристики климатической техники обычно определяются на стадии проектирования конкретного помещения при выполнении теплового расчета помещения, в котором учитываются суммарная мощность и особенности расположения ЭВМ. При проектировании систем кондиционирования в помещениях информационных систем необходимо учесть параметры

(влажность, температуру), которые не всегда учитываются при расчете данных систем [4, 5]. Расчет систем кондиционирования воздуха производится, как правило, из условий поддержания оптимальных параметров микроклимата. Кондиционеры для помещений ЭВМ должны сохранять воздействующие факторы постоянными в приемлемом режиме [6].

Исходя из назначения, кондиционирование серверных помещений должно отвечать ряду требований: это непрерывность работы и независимость от сезона. Первое подразумевает, что кондиционирование помещения информационных систем осуществляется все время, пока работает основное функциональное оборудование хранилища. Практически единственный способ обеспечения этого требования – резервирование. Имеется в виду, что вся климатическая техника помещения имеет по два или более блоков, работающих попеременно. Это делается из расчета, что во время выполнения ремонта или технического обслуживания одного кондиционера, которые рано или поздно потребуются, другой будет продолжать поддерживать заданные условия [7]. В такой схеме равномерно распределяются ресурсы между блоками, они включаются поочередно, что помогает достичь сбалансированности нагрузки. За это отвечает блок автоматики системы кондиционирования, задающий переключение либо интервал в несколько часов в зависимости от производителя и характеристик системы.

В зависимости от общей мощности телекоммуникационной системы суммарных тепловыделений рассчитываются тип и мощность климатического оборудования, которое должно обслуживать данное помещение. При этом в помещении необходимо поддерживать определенные значения климатических показателей. Они детально отражены в инструкции по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин СН 512-78. Сюда входят:

- 1) температура воздуха: она должна быть не более 25 °С (предельное значение), оптимально – от 19 до 23 °С в холодный и переходный периоды и от 20 до 24 °С в теплый;
- 2) относительная влажность воздуха: она должна быть не более 75 % в холодное время года и не более 65 % (при предельных 25 °С) – в теплое;
- 3) запыленность: должна быть не более 0,75 мг/м³ при допустимых размерах частиц не более 3 мкм;
- 4) скорость воздушных потоков: должна быть не более 0,3 м/с в холодное время года и не более 0,5 м/с – в теплое, оптимально – 0,2 м/с;
- 5) уровень шума: должен быть не более 65 дБ, вибрация в залах ЭВМ не должна превышать по амплитуде 0,1 мм и по частоте 25 Гц [8];
- 6) материалы поверхностей стен и пола не должны выделять пыль или накапливать ее (поверхность пола должна обладать также антистатическим свойством).

Установлено, что, если относительная влажность воздуха помещения падает до 30 % и ниже, происходит накопление электростатических зарядов, вызывающих нарушения в работе электрических цепей. Температура воздуха также оказывает интенсивное влияние на надежность оборудования и сроки проведения профилактических работ. Существует еще одна проблема – пыль. Она оседает на электронных элементах, вызывая перегрев, сокращение сроков службы оборудования и появление неисправностей, поэтому изготовители компьютерного и телекоммуникационного оборудования и носителей информации устанавливают допуски изменения микроклиматических параметров воздушной среды, которые обеспечивают оптимальные условия работы технических средств.

В основном для систем кондиционирования помещений ЭВМ используются ведущие мировые производители, поставляющие до 70 % технологического оборудования АТС:

- станция EWSD (производители – Iskratel (Словения), Siemens (Германия));
- AXE-10 (производители – Nicola Tesla (Хорватия), Ericsson AB (Швеция));

- А-1000 S-12 (производитель – Alcatel Bell Telephone (Бельгия));
- DX-200 (производитель – Nokia (Финляндия));
- Linea UT (производитель – Italtel (Италия)).

В таблице определены оптимальные и экстремальные параметры воздушной среды, предъявляемые фирмами-поставщиками телекоммуникационного оборудования.

Параметры воздушной среды
Parameters of the air environment

№ п/п	Параметр	Единица измерения	EWSD	AXE-10	A-1000	DX-200	Linea UT
1	Емкость коммутационной системы	Тыс. аб. линий	250	40	100	37	100
2	Напряжение электропитания	В	60	47–51	43–72	47–72	54–72
3	Потребляемая мощность	Вт/аб. линия	1,7	2	2,2	2	1,3
4	Занимаемая площадь пола	М2/10000 аб. линий	50	110	64	40	50
5	Температура оптимальная	С	16–25	18–24	18–27	18–24	17–26
6	Температура экстремальная	С	5–40	4–35	5–40	4–40	0–45
7	Влажность оптимальная	%	40–75	45–65	35–80	40–70	35–68
8	Влажность экстремальная	%	10–90	20–80	10–90	10–85	10–90

Формирование требований к климатическому оборудованию на узлах АТС определяется в первую очередь следующими требованиями к технологическому оборудованию:

- бесперебойная, круглосуточная, круглогодичная работа системы на протяжении десятилетий;
- возможность трансформирования под изменения техпроцесса;
- стойкость оборудования к качеству электроснабжения (скачки напряжения);
- резервирование основных, наиболее часто выходящих из строя элементов систем;
- оперативная поставка запасных частей, по возможности без остановки технологического процесса;
- сервисное обслуживание оборудования.

Перечисленные требования в той или иной мере определяют комплектность поставляемых систем вентиляции и кондиционирования [9].

По характерным требованиям и, соответственно, особенностям реализации технологические помещения делятся на две группы.

Первая группа – это технологические помещения, в которых находится оборудование, требующее регулирования температуры и влажности. Как правило, постоянных рабочих мест персонала в таких помещениях нет. Системы кондиционирования таких технологических помещений должны быть надежными, малообслуживаемыми и пригодными к круглогодичной эксплуатации.

Необходимость регулирования влажности определяется требованиями производителей к условиям работы оборудования. Так, диапазон допустимой относительной влажности для телефонных станций DEFINITY – от 20 до 80 %, цифровых АТС пятого поколения – 43–47 %, для станций МТ-10, МТ-20 – от 35 до 80 %, при этом диапазон оптимальных параметров составляет 40–60 %.

Для обеспечения технологических параметров помещений первой группы необходимо применять автономные прецизионные кондиционеры технологического назначения.

К основным достоинствам технологических кондиционеров можно отнести возможность эксплуатации систем с воздушным охлаждением конденсатора при температуре на-

ружного воздуха от -45 до $+50$ °С. Это достигается за счет размещения компрессора во внутреннем блоке и применения жидкостного ресивера. Все модели кондиционеров могут управляться дистанционно и могут быть подключены к системе мониторинга, базирующейся на ряде протоколов.

В настоящее время оборудование для таких систем выпускает ряд производителей, из них наиболее известны Montair, Uniflair, Stultz, Libert–Hiross.

Для технологических помещений *второй группы*, в которых находится оборудование с менее жесткими требованиями к температурному режиму и где не требуется регулирование влажности, целесообразно применение канальных или шкафных кондиционеров серии Commercial. Анализ рынка свидетельствует о том, что именно это оборудование занимает нишу высококачественных, надежных и относительно недорогих систем, пригодных для технологического кондиционирования. Это оборудование предназначено для интенсивной коммерческой эксплуатации, способно работать на охлаждение при температуре наружного воздуха до -28 °С. Работоспособность при низких температурах обеспечивается за счет дополнительных элементов в комплектации кондиционера – контроллера скорости вращения вентилятора наружного блока и встроенного обогревателя масла в компрессоре. Стоимость таких систем составляет примерно 40–50 % от стоимости оборудования первой группы той же холодопроизводительности. В ряде случаев для повышения надежности системы технологического кондиционирования применяется установка резервного оборудования. В таких системах важны вопросы равномерной выработки ресурса кондиционеров и автоматического включения резервного оборудования при отказе основного [10].

Кондиционеры точного контроля Montair и Uniflair разработаны специально для систем телекоммуникаций, обеспечивают точное поддержание оптимальных рабочих параметров и высочайшую степень надежности вне зависимости от условий наружной среды. В диапазон прецизионных кондиционеров для систем телекоммуникаций входят четыре модели (охлаждение, охлаждение + электроподогрев, охлаждение + контроль влажности, контроль температуры и влажности). Отличительной чертой кондиционеров фирмы Montair является возможность установки вентилятора на необходимую производительность по расходу воздуха и свободному напору, в то время как остальные заводы-изготовители придерживаются унифицированных типоразмеров крыльчаток и электродвигателей (стандартный напор, как правильно, составляет от 30 до 180 Па). Поскольку при увеличении напора вентилятора возникает уровень звуковой мощности, корпус кондиционера выполняется из двойных звукоизолирующих панелей. Модельный ряд данных кондиционеров представлен достаточно широкой линейкой по холодопроизводительности (от 6 до 90 кВт) и имеет два вида исполнения: с подачей воздуха вверх и обратного воздуха вниз, что является одним из достоинств при использовании фальш-полов для транспортировки и воздухораспределения. Кроме того, климатическое оборудование фирмы Montair может быть укомплектовано электрическими воздухонагревателями мощностью от 3 до 24 кВт и парогенераторами производительностью от 1 до 13 кг/ч независимо от типоразмера установки. Имеется также возможность комплектации кондиционера водяным воздухонагревателем с контуром управления теплопроизводительностью.

Все прецизионные кондиционеры могут поставляться как с конденсаторами водяного охлаждения, так и с выносными конденсаторами воздушного охлаждения [11, 12].

Все автономные кондиционеры для систем телекоммуникаций оснащены современными микропроцессорными контроллерами, посредством которых осуществляются мони-

торинг и регулирование рабочих режимов, а также поддержание функциональной безопасности агрегата. В систему управления входят два основных компонента:

1) смонтированная в электрической панели кондиционера плата микропроцессора МРЗ с программой управления;

2) терминал пользователя с жидкокристаллическим дисплеем и светодиодами для визуализации и установки параметров функционирования. С помощью одного терминала можно производить обмен данными с микропроцессорами всех агрегатов, входящих в комплексную зону. При этом система управления модифицируется в зависимости от особенностей объекта. Для режима естественного охлаждения предусмотрены два варианта алгоритма управления: с фиксированной температурой ввода режима и с варьирующейся в зависимости от действующей тепловой нагрузки.

При использовании в одной системе двух кондиционеров можно выполнить их соединение либо посредством электроподключения контроллеров без привлечения внешней системы управления, либо через локальную вычислительную сеть. При этом обеспечиваются следующие функции:

- функционирование одного кондиционера, в то время как другой находится в режиме ожидания (резервный агрегат);

- запуск резервного кондиционера при возникновении аварийной ситуации с основным агрегатом;

- функционирование агрегатов в соответствии с установленной программой таймера;

- включение резервного агрегата в случае превышения верхнего порога рабочей температуры как результата избыточной тепловой нагрузки в помещении;

- управление режимами функционирования агрегатов (при наличии системы естественного охлаждения) для достижения максимальной энергетической эффективности.

Системы технологического кондиционирования второго класса обеспечивают стабильные параметры воздушной среды в выделенном технологическом объеме. Для телекоммуникационного оборудования аналогового принципа действия допустимо косвенное поддержание относительной влажности, что говорит в пользу использования таких кондиционеров:

- капитальные затраты на установку кондиционеров второго класса ниже в несколько раз относительно систем первого класса;

- имеется возможность для работы на группы помещений и для зонального регулирования параметров;

- внутренний блок может быть установлен вертикально либо горизонтально;

- имеется возможность для подмешивания наружного воздуха.

При проектировании систем кондиционирования воздуха для эксплуатации их в узлах связи большое значение имеет схема транспортировки и воздухораспределения.

Одним из наиболее распространенных способов эффективного воздухораспределения является использование фальш-полов, позволяющих осуществить независимую установку гидравлических, электрических и других сетей с независимым расположением точек подключения и возможностью дальнейшего развития коммуникационной сети. Фальш-полы являются важным звеном при создании оптимальной инфраструктуры в помещениях вычислительных центров, АТС и других помещений с установленным электронным оборудованием. Кроме того, использование фальш-полов для воздухораспределения позволяет подавать воздух непосредственно в стойки телекоммуникационного оборудования, что позволяет экономить на требуемой холодопроизводительности за счет локального поддержания параметров (не требуется охлаждение всего объема помещения) [13].

Характерной чертой многих объектов связи является то, что они находятся в регионах, температура наружного воздуха в которых может достигать -40°C и ниже. При этом довольно часто технологическое оборудование СКВ должно поддерживать нормируемые параметры воздушной среды, работая в режиме охлаждения.

Однако предлагаемое заводами-изготовителями климатическое оборудование зачастую может работать с допустимым давлением конденсации, соответствующим температуре наружного воздуха $-20\text{--}30^{\circ}\text{C}$.

В большей степени это относится к канальным и шкафным кондиционерам второй группы, так как выносные компрессорно-конденсаторные блоки не имеют в стандартной комплектации жидкостных ресиверов и обводных линий на конденсаторе, в то время как в прецизионных кондиционерах предусмотрена установка ресиверов и компрессоры находятся в блоке, устанавливаемом в помещении (в испарительно-вентиляционном агрегате).

Разработан ряд мероприятий, дополнительных узлов обвязки выносных конденсаторов и компрессорно-конденсаторных агрегатов, позволяющих добиться устойчивой работы указанного климатического оборудования при достаточно низких температурах наружного воздуха [14].

Подобные мероприятия были осуществлены на ряде ведомственных объектов связи ОАО «ГАЗПРОМ» (АО «ЮГОРСКИЙ ГАЗТЕЛЕКОМ») и зарекомендовали себя с наилучшей стороны для работы в подобных климатических условиях.

Кроме ОАО «ГАЗПРОМ», основными заказчиками в области климатического оборудования для телекоммуникационных систем являются:

- Санкт-петербургский телеграф;
- АТС ОАО «Электросвязь» в Минске, Новосибирске, Тихвине, Курске;
- ОАО «Балтика» (СКВ Северный);
- ЛАЭС и др.

Таким образом, при проектировании систем кондиционирования в помещениях информационных систем и подборе климатического оборудования необходимо помнить, что оно должно обладать не только привычной для офисных систем функцией поддержания заданной температуры, но и оснащаться системой контроля и регулирования влажности, особыми фильтрами пыли и др. Наилучшим образом с данными задачами справляются прецизионные устройства. Они характеризуются повышенной точностью. К примеру, в случае их использования, отклонения от установленной температуры не превысят $0,5^{\circ}\text{C}$, а влажности – 5 %. Кроме того, они, в отличие от офисных вариантов, изначально рассчитаны на длительную безостановочную работу в течение долгих лет, что является оптимальным решением для применения их в помещениях, телекоммуникационных центрах.

Библиографический список

1. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006. – 640 с.
2. Краснов Ю.С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для производственных и общественных зданий. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с.
3. Полосин И.И., Новосельцев Б.П., Шершнев В.Н. Теоретические основы создания микроклимата в помещении. – Воронеж, 2005. – 143 с.

4. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат здания). – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учебник для вузов. – 3-е изд. – СПб.: АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД, 2006. – 400 с.
6. Павлов Н.Н., Шиллер Ю.И. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стройиздат, 1992. – 320 с.
7. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2003. – 272 с.
8. Полосин И.И., Новосельцев Б.П., Шершнева В.Н. Теоретические основы создания микроклимата в помещении. – Воронеж, 2005. – 143 с.
9. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция: учебник. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 615 с.
10. Кувшинов Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения: монография. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 184 с.
11. Кувшинов Ю.Я., Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий: учебник для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 200 с.
12. ASHRAE handbook – Refrigeration. – Ch. 33. – URL: <http://www.ashrae.org> (дата обращения: 12.12.2016).
13. Mumma S.A. Ceiling panel cooling systems // ASHRAE Journal. – 2001. – November.
14. Fanger P.O. Thermal comfort. – New York, 1972. – 254 p.

References

1. Belova E.M. Tsentral'nye sistemy konditsionirovaniia vozdukha v zdaniikh [Central air conditioning systems in buildings]. Moscow, Evroklimat, 2006, 640 p.
2. Krasnov Iu.S. Sistemy ventiliatsii i konditsionirovaniia. Rekomendatsii po proektirovaniu dlia proizvodstvennykh i obshchestvennykh zdaniy [Ventilation and air conditioning systems. Design recommendations for industrial and public buildings]. Moscow, Termokul – RITs «Tekhnosfera», 2006, 288 p.
3. Polosin I.I., Novosel'tsev B.P., Shershnev V.N. Teoreticheskie osnovy sozdaniia mikroklimata v pomeshchenii [Theoretical basis for creating a microclimate in the room]. Voronezh, 2005, 143 p.
4. Il'inskii V.M. Stroitel'naia teplofizika (ograzhdaiushchie konstruksii i mikroklimat zdaniia) [Building Thermophysics (building envelopes and building microclimate)]. Moscow, Vysshiaia shkola, 1974, 320 p.
5. Bogoslovskii V.N. Stroitel'naia teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniia, ventiliatsii i konditsionirovaniia vozdukha) [Building Thermophysics (thermophysical basis of heating, ventilation and air conditioning)]. 3rd ed. Saint Petersburg, AVOK SEVERO-ZAPAD, 2006, 400 p.
6. Pavlov N.N., Shiller Iu.I. Spravochnik proektirovshchika. Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroistva. Ch. 3. Ventiliatsiia i konditsionirovanie vozdukha [Reference book of the designer. Internal sanitary facilities. Part 3. Ventilation and air conditioning]. Moscow, Stroizdat, 1992, 320 p.

7. Kokorin O.Ia. Sovremennye sistemy konditsionirovaniia vozdukha [Modern air conditioning systems]. Moscow, Izdatel'stvo fiziko-matematicheskoi literatury, 2003, 272 p.
8. Polosin I.I., Novosel'tsev B.P., Shershnev V.N. Teoreticheskie osnovy sozdaniia mikro-klimata v pomeshchenii [Theoretical basis for creating a microclimate in the room]. Voronezh, 2005, 143 p.
9. Kamenev P.N., Tertchnik E.I. Ventiliatsiia [Ventilation]. Moscow, Assotsiatsiia stroitel'nykh vuzov, 2006, 615 p.
10. Kuvshinov Iu.Ia. Teoreticheskie osnovy obespecheniia mikroklimata pomeshcheniia [Theoretical foundations of microclimate provision]. Moscow, Assotsiatsiia stroitel'nykh vuzov, 2007, 184 p.
11. Kuvshinov Iu.Ia., Samarin O.D. Osnovy obespecheniia mikroklimata zdanii [Fundamentals of microclimate buildings]. Moscow, Assotsiatsiia stroitel'nykh vuzov, 2012, 200 p.
12. ASHRAE handbook – Refrigeration. Ch. 33, available at: <http://www.ashrae.org> (accessed 12 December 2016).
13. Mumma S.A. Ceiling panel cooling systems. *ASHRAE Journal*, November, 2001.
14. Fanger P.O. Thermal comfort. New-York, 1972, 254 p.