Стратегические задачи научно-методической поддержки инженерной деятельности

Анатолий СОТНИКОВ,
д. т. н., профессор

Базируясь на анализе существующей технической литературы, разрабатываются концепции, которые закладываются в основу перспективных публикаций. Приводится развернутая система требований к содержанию раскрываемых проблем современной техники, теории и практики вентиляции, кондиционирования воздуха и сопутствующих им системам холодоснабжения и автоматизации.

Based on the analysis of the available technical literature, concepts that lay a framework for future publications are developed. A developed system of requirements to the content of reviewed problems in modern technologies, theory and practice of ventilation, air conditioning and supporting systems of refrigeration and automation is suggested.

Системы микроклимата

Деятельность специалистов по системам микроклимата и других инженерных специальностей, обслуживающих строительную отрасль, в последние десятилетия кардинально изменилась. Проектная работа из больших, трудно управляемых и замкнутых на себе организаций заметно переместилась: теперь значительную часть таких работ, по крайней мере по небольшим объектам, выполняют мелкие и мобильные проектные группы в составе инженерно-коммерческих организаций с конечной целью – создание систем «под ключ». Сегодня не существует однозначного представления о том, что и как должны «делать» современные системы микроклимата – у инвесторов, проектировщиков, эксплуатирующего персонала и непосредственных пользователей нет единого мнения на этот счет.

Существующей литературы явно недостаточно для обучения и работы специалистов разного уровня (от выпускника вуза до технического руководителя крупных объектов). Анализируя ее, следует различать издания общего характера (например, учебники и монографии), издания, специализирующиеся по видам систем, подсистем, отдельного оборудования, видам объектов (производственные, общественные, жилые и другие), по проблемным вопросам (энергосбережение, надежность, комфорт, специальные технологические требования – чистота, точность).

Принципы и книги

В основу книг должны быть положены следующие принципы:

– использование системного подхода при изложении материала и выборе принципиальных решений систем обеспечения микроклимата [4, 7];
– единство теории и практики, совместное объективное обсуждение основных систем и подсистем в последовательности от исходных данных до режимов работы, методов

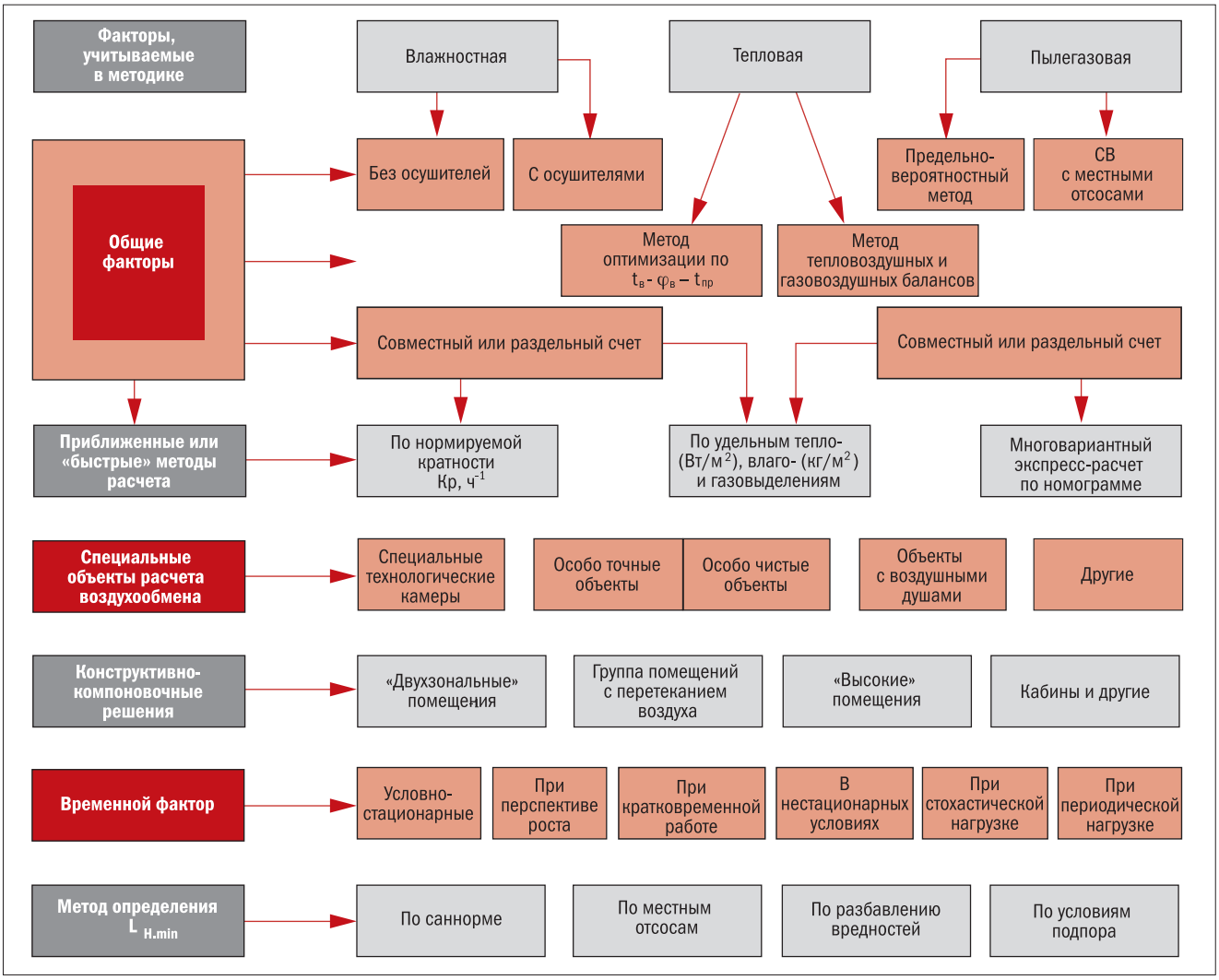

Рис. 1. Приближенная классификация методов расчета воздухообмена в помещениях при тепло-, влаго-, пыле- и газовыделениях

выбора, испытания, наладки и эксплуатации, что максимально соответствует условиям работы многих организаций «под ключ»;
– систематизированный, а не отрывочный учет и анализ основных наиболее интересных публикаций в обсуждаемом материале, учет опыта наладки и эксплуатации как обратной стороны задачи проектирования;
– подготовка обзорных, интегрирующих материалов, а не единичных отрывочных и «мелкотемных» публикаций [3];
– единый подход к проектированию данных систем, но с учетом конкретного типа и производителя оборудования, многообразных режимов работы, в том числе расчетных, предпусковых, нерабочих, аварийных, при сдаче объекта в любых условиях.

Рекомендации специалистам

Основные публикации, максимально помогающие инженерной деятельности, должны раскрывать и совершенствовать следующие вопросы:

1) методы расчета впоследствии фактически наблюдаемых нагрузок помещений с учетом их физической природы, неравномерности, распределенности, нестационарности и другое (рис. 1) [2]. Характерный пример: уточнение фактических конвективных теплопоступлений в воздух от оргтехники [12], в два-четыре раза уменьшенных от традиционно определяемого «джоулевого» тепла ($Q = N_{эл}$). Расчеты тепловлагоизбытков помещений иногда делаются без особого разбора выделяемых масс и потоков теплоты по нижней и верхней зонам помещений, без разбора во

внутренней зоне или у наружных ограждений, без разделения теплоты на конвективную, лучистую и кондуктивную составляющие. Известно, что в воздух переходит только конвективная теплота и поэтому принимаемые цифры могут быть завышенными. Не приходится говорить об учете неравномерности теплоисточников и естественной нестационарности. Обсуждая совместно работающие системы отопления и охлаждения, инженеры не обращают внимания на самопроизвольно происходящее вычитание текущей радиационной теплоты и теплопотерь. Без этого немыслимо реализовать на практике сокращение затрат теплоты и холода. Нет серьезных публикаций по испытанию тепловоздушного баланса помещений, особенно в условиях релейно-управляемых кондиционеров, и сравнение этих данных с расчетом аналогично тому, как это сделано в работе [12] с шокирующим результатом;

2) методы учета изменения нагрузок при выборе принципиальных решений и технологических схем систем кондиционирования и вентиляции (СКВ) и систем вентиляции (СВ). К этому примыкает так называемый «бездиаграммный» выбор [7] технологической схемы по уравнениям, записанным через исходные данные [4], то есть нагрузки и параметры воздуха. Ошибки при неучете этого очевидны.

Приведем краткий пример. Пусть в помещении $t_в = 18$ °C, $Q_{пом} = 5...10$ кВт, $\Delta t_{пр} = 2$ °C, $G_{пр} = 1{,}5$ кг/с, $G_Н = 0{,}3$ кг/с. При построениях в *i-d* диаграмме, учитывающих максимальные теплоизбытки, получаем, что нагрев наружного воздуха (или смеси) в условиях Москвы и Санкт-Петербурга не нужен:

$$t_{Н.\,гран.} = t_В - (Q_{пом} + \Delta t_{пр})/G_Н c_В = 18 - (10 + 1{,}5 \times 1 \times 2)/0{,}3 \times 1 = -25\ °C.$$

Другой результат получается при учете $Q_{пом} = 5$ кВт. В этом случае нагрев неизбежен, но инженер не привык учитывать разные уровни нагрузок. Физический аппарат такого учета несложен: максимальное, среднее и минимальное значение суммы определяют как суммы соответствующих слагаемых, но с учетом их возможной корреляции – положительной или отрицательной (например, «радиация–освещение», «рабочий–станок–лампа», «инженер–компьютер–лампа», «хозяйка–плита–вытяжка» и др.). Пропагандируя новый бездиаграммный метод выбора технологической схемы СКВ, СВ, напомним, что не все владеют построением процессов в *i – d* диаграмме, имеющих переменное направление, в условиях разных способов управления. Некоторые формально правильные построения могут приводить к неточным выводам, например если температура смеси перед воздухонагревателем оказалась +7 °C, делается вывод об отсутствии опасности замерзания воды, пренебрегая при этом несовершенством смешения потоков наружного и рециркуляционного воздуха и неоднородностью температур перед аппаратом;

3) совершенствование климатологической информации для приближенного и точного компьютерного расчета и анализа работы инженерных систем зданий в разных пунктах России. Это важно для объективного расчета энергопотребления [5]. Мнения специалистов о путях получения результатов расчетов различаются из-за неоднозначности понимания инженерами термина «климатологическая информация», большого числа метеоэлементов, их видов и методов получения (одних только видов температур существует более 500), а также характера решаемых многообразных задач;

4) систематизация методов расчета ключевой величины – воздухообмена помещения с учетом физических условий разных объектов, режимов их работы, видов и закономерностей изменения нагрузок (рис. 1), что позволяет в конечном счете получать более обоснованные значения, хорошо корреспондирующиеся с тепло-, влаго- и газовоздушным балансом. Существует не менее 20 вариантов расчета воздухообмена [7].

Эта тема требует особого внимания. Результат такой систематизации очевиден – в большинстве случаев (и объектов) обеспечивается снижение расчетного воздухообмена и соответствующих затрат. Исключение составляют только эпизоды, когда в методике повышают обеспеченность (процент людей или площадь помещения), при увеличении уровня комфорта – это так называемый предельно вероятностный метод расчета (по Л.Б. Успенской). Другой случай – объекты с известной перспективой возрастания нагрузок. Кроме передовых технологий сюда можно отнести и объекты торговли с переменным видом реализуемого товара;

5) систематизация и обоснование принципов выбора основных решений

СКВ и СВ по комплексу технико-экономических показателей [4], требований инвесторов [9,10], а не по рекламным публикациям;

6) систематизация и обоснование информационных сигналов и алгоритмов функционирования современных СКВ и СВ [7] как основа разработки систем автоматического управления и систем диспетчеризации. Известно, что система управления собирает и особым способом обрабатывает параметры различных сред (информационные сигналы). Поэтому их классификации, видам, закономерностям изменения, местам и периодичности измерения, ранжировке следует уделять первостепенное внимание, особенно в системах диспетчеризации. Большая неопределенность существует в проблеме алгоритмов годового функционирования сложных, особенно многоуровневых СКВ, например, таких как зонально-поэтажно-центральные. Приходится учитывать большое число как помещений, так и режимов работы (до 12), многочисленное оборудование и регулирующие устройства;

7) систематизация данных о подсистемах СКВ и СВ, а не только об оборудовании [7]. В этом вопросе существует определенная подмена понятий. Например, говорят «воздухонагреватель», хотя скорее всего речь идет о целой подсистеме нагрева (рис. 2), включающей кроме самого аппарата другие важные элементы: циркуляционный насос, балансировочные и обратные клапаны, трубопроводы, перемычки, датчики, показывающие приборы для испытания и наладки, водяной фильтр, воздухосборник и другие элементы. В такой подсистеме одновременно протекают аэродинамические, гидравлические и тепловые процессы. Аналогично следует представлять, что за термином «воздухоохладитель» стоит своеобразный «слуга двух господ», одновременно влияющий на температуру воздуха и влагосодержание. Режимы управления таким аппаратом неоднозначны и сложны. Современные аппараты под общим названием «увлажнитель» разнообразны по типам (более десяти), принципам работы, организации поверхности контакта, у них разные технические и энергетические характеристики, способы управления. Очень многообразны «фильтры» (17 классов), обладающие различными характеристиками: коэффициентами очистки и проскока, начальным и конечным сопротивлением, пылеемкостью, сроком службы, габаритами, стоимостью. Подобные примеры можно продолжить, последовательно распространяя их на теплоутилизаторы, вентиляторные установки и сети воздуховодов, устройства воздухораспределения;

8) систематизация методов испытания, наладки и эксплуатации систем и подсистем (рис. 2) включает:

- четкое формулирование цели;
- единство методов расчета и испытания;
- искусственное воспроизведение (моделирование) расчетных режимов, не дожидаясь их естественного наступления;
- совместный учет тепловых, аэродинамических, гидравлических и акустических процессов;
- обобщение опыта эксплуатации.

На рис. 2 приведен характерный пример: здесь показаны почти все совместно работающие элементы узлов (подсистем) тепло- и холодоснабжения в единстве и взаимосвязи. К сожалению, такие узлы трудно типизировать, а тем более свести к одному, как это пытаются делать некоторые производители. Слишком разнообразны климатологические факторы, качество и график теплоносителя, виды и условия нагрева, опасность замерзания воды. Для оценки последнего явления предлагается так называемое дерево ошибок [7], которое недавно использовали американцы в поисках причин трагедии «Шаттла»;

9) систематизация сведений о разнообразных специальных СКВ в технологических объектах [6]. К таким объектам можно отнести:

- современные производства и технологии, требующие высокой чистоты воздушной среды (фармацея, микроэлектроника, оптика, космическая техника, операционные и др.);
- производства и технологии, требующие точного поддержания температуры воздуха, его влажности или влагосодержания или обоих параметров;
- пищевые и биотехнологии, связанные с производством, выращиванием, переработкой и хранением различных продуктов и сырья;
- камеры разного назначения (испытание приборов и изделий, обработка кинофотоматериалов, фитотроны, камеры сушки, кабины кранов, пульты управления и т. д.).

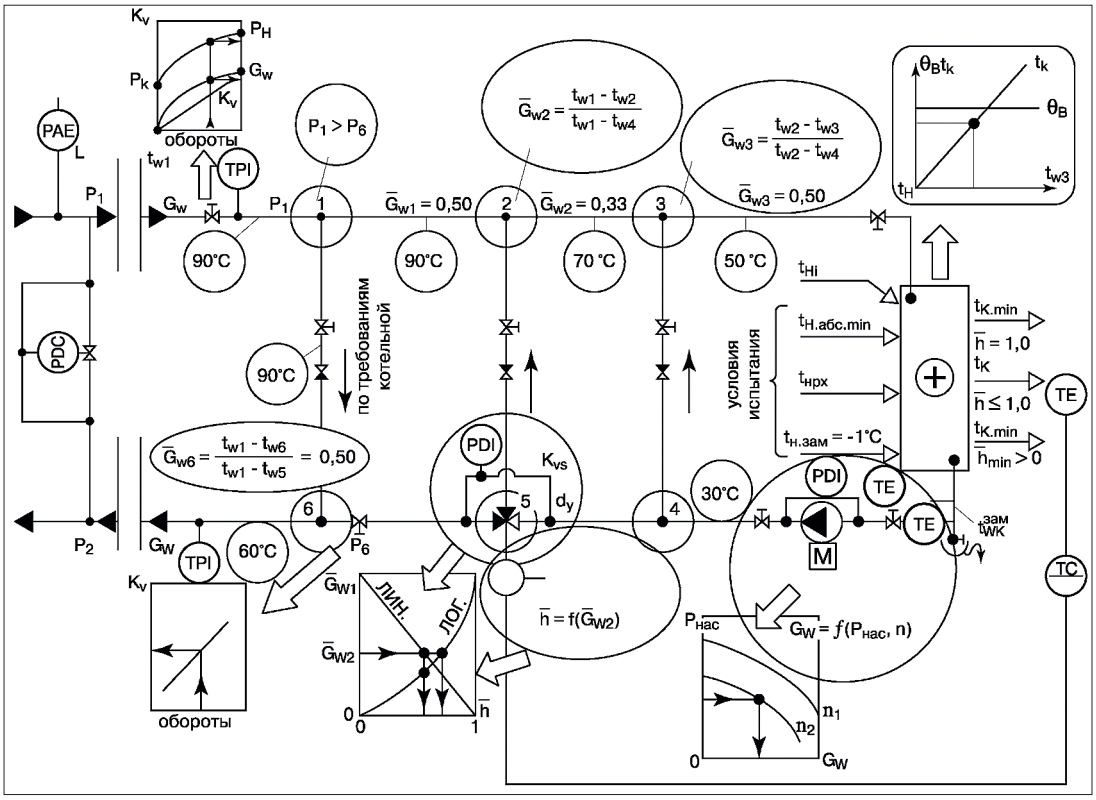

Рис. 2. Обобщенная структурная схема подсистемы нагревания (охлаждения-осушения) воздуха в СКВ и СВ с указанием основных элементов системы, их характеристик, приборов контроля и регулирования и условий испытания на разных режимах (в данной методике понятие «запас» определяется по положению плунжера водяного регулирующего клапана)

Этот перечень можно продолжить на другие объекты, имея в виду разнообразие современной техники и технологий;

10) систематизация результатов комплексного энерготеплопотребления систем отопления (СО), систем горячего водоснабжения (СГВ), СВ и СКВ энергоэффективных зданий аналогично статье [11], где определено суммарное энергопотребление административных зданий к началу 90-х годов – около 80 кВт·ч/м^2 год. Пока нет интересных отечественных статей на эту тему. Публикации ограничиваются самой простой отопительной нагрузкой жилых зданий, которая значительно снижена при усилении теплозащиты ограждающих конструкций. Однако баланс теплоэнергопотребления в многочисленных общественных и промышленных зданиях сложен и определяется в большей мере многочисленными системами вентиляции, кондиционирования, горячего водоснабжения, а также освещения, оргтехники, технологического оборудования. Только располагая подобными данными, можно представить, как наши решения приблизились к передовым зарубежным решениям энергоэффективных зданий;

11) совершенствование решений современных систем холодоснабжения зданий в условиях широкого спектра агрегатов, их возможностей, опций, получения холода и теплоты (рис. 3). Современные водоохлаждающие машины с водяными конденсаторами нужно рассматривать как источник одновременного или одновременно-поочередного получения и использования холода и теплоты (теплой воды с температурой до 55 °С). Суммарный холодильный (ε) и отопительный (μ) коэффициент в зависимости от режима работы может достигать EER=8 и больше. Это означает, что на 1 кВт мощности компрессора можно одновременно получить 8 кВт (и более) теплоты и холода. Современное административное и общественное здание – это источник потребления холода, иногда круглогодично, и в то же время источник потребления теплоты на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение. Относительно невысокая температура воды, получаемой от конденсаторов холодильных машин, пригодна для воздушного отопления, отопления вентиляторными доводчиками *(fan–coil)* для горячего водоснабжения. Несмотря на эти возможности, совмещенные системы холодотеплоснаб-

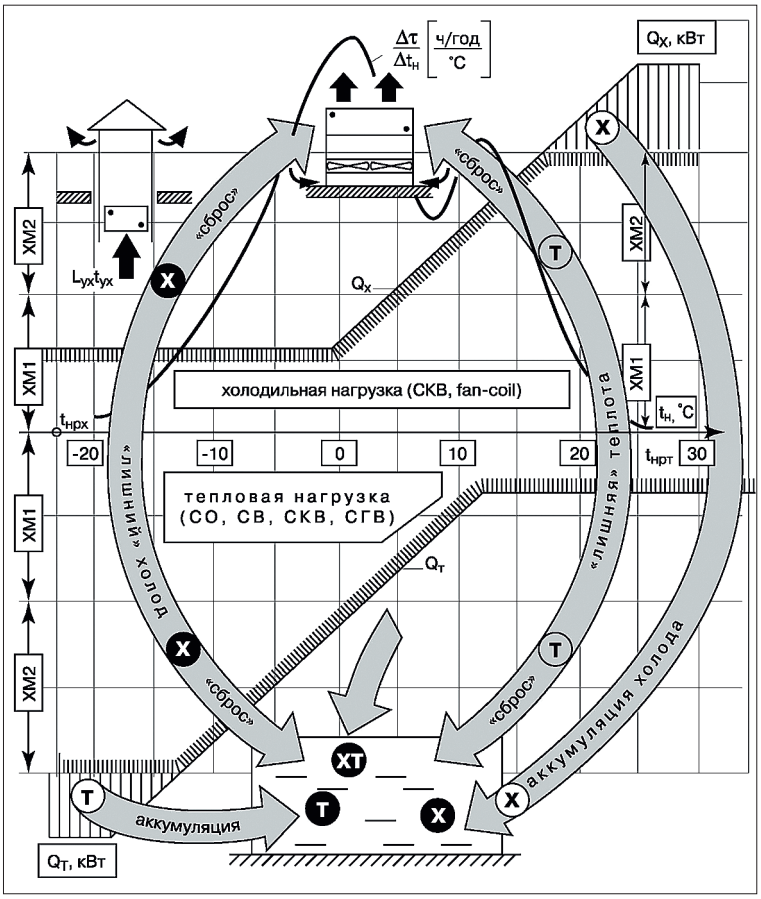

Рис. 3. Условная схема и годовой график одновременного потребления теплоты и холода инженерными системами современного функционального здания, график выработки холода, его аккумуляции и «сброса» лишней теплоты и холода в атмосферу

жения (СХТС) в отечественной практике, судя по публикациям, не применяются. Это объясняется недостаточной проработкой вопросов комплексной потребности и выработки теплоты и холода [7] во всех деталях, с учетом приоритетов, возможности сброса «лишнего» холода куда-то зимой (рис. 3). Между тем такие системы могут оказаться не только конкурентоспособными, но и даже единственно возможными при дефиците или отсутствии теплоты в центральной застройке городов и в сельской местности. В этих случаях известное удорожание СХТС за счет новых элементов и более низкого EEP существенно меньше затрат на котельную и холодильную машину.

Нельзя сбрасывать со счетов возможности абсорбционных холодильных машин в условиях дефицита электроэнергии на площадке строительства. Как видно из всего вышеизложенного, спектр возможностей научно-методической поддержки инженерной деятельности весьма широк и при желании может быть еще продолжен, например, на задачи промышленной вентиляции, многофункциональные здания в условиях многочисленных дефицитов (средств, теплоты, электроэнергии) ❍

Литература, использованная при подготовке материала:

1. *Баркалов Б.В., Карпис Е.Е.* Кондиционирование воздуха в жилых, общественных и промышленных зданиях.–М.: Стройиздат, 1982.–312 с.
2. *Богословский В.Н.* Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха).–М.: Высшая школа, 1982.–415 с.
3. *Гримитлин М.И., Баландина Л.Я., Гримитлин А.М., Машкова Л.П.* Сопоставительный анализ приточных вентиляционных решеток, выпускаемых различными фильтрами. //Инженерные системы. АВОК С-З № 4 (8), 2002, с. 42–46.
4. *Рымкевич А.А.* Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. Изд. 1–М.: Стройиздат, 1990.–300 с. Изд. 2 – СПб.: 2003.–272 с.
5. *Сотников А.Г.* Комплексное научно-методологическое обоснование расчетной информации для проектирования и оптимизации систем кондиционирования воздуха и вентиляции. Докторская диссертация в форме научного доклада.–Л.: ЛТИХП, 1994.–32 с.
6. *Сотников А.Г.* Автономные и специальные системы кондиционирования воздуха.–СПб.: AT-Kompani, 2005.–240 с.
7. *Сотников А.Г.* Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. В II томах. т. I–СПб.: AT-Kompani, 2005.–512 с.
8. *Сотников А.Г.* Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции.–Л.: Машиностроение. ЛО, 1984.–240 с.
9. *Bunn R.* Системы кондиционирования воздуха, предпочитаемые инвесторами.//АВОК № 5, 2001, с. 16–29.
10. *Elovitz D.* Обоснованный выбор систем ОВК.//АВОК № 5, 2002, с. 30–35.
11. *Todesco G.* Энергоэффективные здания или как далеко можно идти?//АВОК № 2, 1997.
12. *Wilkins C., Hosni M.* Учет в тепловом балансе теплопоступлений от офисного оборудования.//АВОК № 3, 2003, с. 70–74.