

УДК 697.94

## Состояние и перспективы развития систем кондиционирования воздуха

Д-р техн. наук **А. В. ЦЫГАНКОВ**

cigankov.zav.kaf@irbt-itmo.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Д-р техн. наук **А. М. ГРИМИТЛИН**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4

**Сформулированы требования к системам кондиционирования воздуха. Показаны основные направления совершенствования климатической техники: повышение энергетической эффективности за счет улучшения характеристик рабочих веществ (хладагентов и абсорбентов), использование приводов с частотным регулированием и антифрикционных композитных материалов, оптимизация систем управления климатической техникой на основе методов нечеткой логики. Предложен новый подход к организации воздухообмена на основе малорасходных регенеративных теплоутилизаторов и результатов имитационного моделирования вентиляционных и конвективных потоков методами вычислительной гидродинамики. Сформулированы требования к подготовке специалистов в области климатической техники.**

**Ключевые слова:** кондиционирование воздуха, параметры комфорта, распределение воздуха, энергетическая эффективность, холодильный агент, избирательный перенос, тепловой насос, имитационное моделирование, нечеткая логика.

### Development of air-conditioning systems: current status and prospects

D. Sc. A. V. TSYGANKOV

cigankov.zav.kaf@irbt-itmo.ru

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies  
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

D. Sc. A. M. GRIMITLIN

Saint-Petersburg State University of Architecture  
and Civil Engineering

2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4,  
190005 St. Petersburg, Russia

**The requirements for air-conditioning systems are formulated. Major trends in climate technology modernization are shown: increase of energy efficiency by improving characteristics of working substances (refrigerants and absorbents), use of frequency regulation drives and anti-friction composite materials, and optimization of climate control equipment based on fuzzy logic methods. A novel approach to air exchange is offered, based on low-consumption regenerative heat exchangers and the results of simulation of ventilation and convection currents obtained by the methods of computational fluid dynamics. Requirements for the training of specialists in climate technology are set forth.**

**Keywords:** air conditioning, comfort parameters, air distribution, energy efficiency, refrigerant, selective transfer, heat pump, simulation, fuzzy logic.

Системы кондиционирования — активно развивающийся инновационный сегмент инженерных систем зданий, сооружений и автономных объектов.

Объем российского рынка климатической техники, по данным Ассоциации предприятий индустрии климата, за последние десять лет увеличился более чем в 10 раз, ежегодно растет с темпом 12–15% и, по оптимистичному сценарию, может достигнуть 30% [1]. Такой бурный рост объясняется рядом причин. Прежде всего, это рост требований к качеству жизни. Здоровый образ жизни становится не только личным выбором, но и во многих случаях частью «корпоративной культуры» работодателя. Второе — это ухудшение качества окружающей среды вследствие урбанизации, автомобилизации и глобальных климатических изменений.

Формирование комфортных параметров среды в обитаемых помещениях — основная функция систем жизнеобеспечения. Создание комфортной среды предполагает возможность поддержания индивидуальных параметров микроклимата (температура, влажность, подвижность, газовый состав воздуха, его загрязненность аэрозолями, акустическое давление, инсоляция и освещенность помещений) при безусловном соблюдении санитарно-гигиенических норм и требований. Таким образом, в самом общем случае, систему кондиционирования воздуха можно рассматривать как единый комплекс инженерных подсистем (вентиляции, отопления, охлаждения, и пр.), обеспечивающий поддержание требуемых параметров внутренней среды (помещения, группы помещений, здания) вне зависимости от внешних климатических условий с учетом архитектурно-строительных и теплофизических характеристик ограждающих конструкций.

Очевидно, что в зависимости от конкретных требований к комфорту и технических условий какие-то подсистемы могут либо отсутствовать полностью, либо иметь ограниченные возможности по производительности и диапазону регулирования.

Отдельным видом климатических систем являются системы технологического кондиционирования. Для многих современных производств воздух является технологической средой, параметры которой носят прецизионный характер и определяют качество и стоимость продукции. В дальнейшем речь будет идти только о системах комфортного кондиционирования, так как объекты технологического кондиционирования, как правило, являются единичными или мелкосерийными и могут успешно развиваться экстенсивным путем, за счет совершенствования технологических процессов и методов управления ими.

Вне зависимости от вида системы качество проектного решения определяется поддерживаемым диапазоном регулирования параметров кондиционирования и размером капитальных и эксплуатационных затрат. Так как более 40% всей конечной энергии, производимой в РФ, потребляется системами жизнеобеспечения, а стоимость энергетических ресурсов постоянно растет, то сокращение эксплуатационных затрат является приоритетной задачей для разработчиков систем кондиционирования воздуха [2].

В настоящее время, в арсенале проектировщиков имеются разнообразные машины и аппараты систем кондиционирования воздуха, которые позволяют решать широкий круг задач по формированию микроклимата в помещениях зданий и автономных объектов. Общим направлением совершенствования климатической техники является агрегатирование, т. е. компоновка различного вида оборудования из унифицированных блоков, используемых как в системах жизнеобеспечения различного назначения, так и в смежных областях. Улучшение технико-экономических характеристик оборудования идет за счет оптимизации рабочих процессов обработки воздуха, интенсификации теплообмена, совершенствования технологии производства и использования новых материалов и комплектующих. Можно выделить несколько основных направлений таких работ.

Повышение энергетической эффективности пароконденсационных и резорбционно-компрессионных тепловых насосов, прежде всего за счет улучшения характеристик рабочих веществ (хладагентов и абсорбентов). Рабочее вещество термодинамического цикла должно обладать совокупностью теплофизических и физико-химических характеристик, которые обеспечивают высокую удельную холодопроизводительность теплового насоса, низкое гидравлическое сопротивление циркуляции теплоносителя в системе, высокую химическую стабильность при взаимодействии со смазочными маслами и конструкционными материалами компрессоров, насосов и теплообменного оборудования. Для использования в системах жизнеобеспечения к хладагентам предъявляются жесткие требования по токсичности, взрыво- и пожаробезопасности, взаимодействию с окружающей средой (Монреальский (1987 г.) и Киотский (1997 г.) протоколы по сохранению

озонового слоя). Существенную роль играет стоимость и возможность применения новых рабочих веществ в существующем оборудовании. Очевидно, что требования, предъявляемые к хладагентам весьма противоречивы. Так, для уменьшения расхода энергии на перекачивание рабочего вещества в системе желательно иметь минимальные значения вязкости, но с уменьшением вязкости увеличиваются перетечки в компрессоре и, следовательно, возрастают необратимые потери. Прекрасным холодильным агентом является аммиак. Он имеет низкую нормальную температуру кипения, высокую объемную холодопроизводительность, хорошо растворяет синтетические масла, но, к сожалению, токсичен и взрывопожароопасен.

В настоящее время возрастает внимание специалистов к таким природным хладагентам, как углеводороды, диоксид углерода, вода, воздух. Можно предположить, что основной тенденцией 21 века станет переход от синтетических к природным холодильным агентам [3, 4].

Помимо работ по совершенствованию термодинамических процессов при разработке нового оборудования, значительное внимание уделяется уменьшению необратимых потерь вследствие трения и увеличению ресурса работы механических узлов. Характерной особенностью систем кондиционирования является широкий годовой и суточный диапазон регулирования производительности компрессорно-вентиляционного оборудования для компенсации изменения наружных климатических параметров. Регулирование производительности может проводиться либо с использованием повторно-кратковременного режима работы, либо за счет применения частотного регулируемого привода. Известно, что основной износ в узлах трения происходит на режимах пуска и остановки, при этих же режимах возникают максимальные температурные деформации в узлах уплотнений, поэтому переход к частотному регулированию является оправданным и перспективным. Следует учесть, что в климатическом оборудовании частота вращения привода может уменьшаться до нескольких герц. Снижение относительных скоростей в подшипниках, подпятниках и уплотнениях приводит к уменьшению гидродинамической подъемной силы, и как следствие, к переходу на смешанный или даже граничный режим трения [5]. Для компенсации износа при продолжительной работе на этих режимах разрабатываются конструкции, в которых реализован эффект избирательного переноса металлогидрокарбонидов присадок из смеси смазочного материала и фреона на опорную поверхность трения [6]. Другим средством уменьшения износа и тепловыделений в зоне трения является использование новых композитных материалов, например фторопластов армированных графитом или бронзой [7].

Применение частотного регулирования в совокупности с использованием мультисистем, в которых отдельные компрессорно-конденсаторные блоки обеспечивают большое количество внутренних блоков, поддерживающих индивидуальные параметры микроклимата, требует совершенствования систем управления оборудованием. Многие современные задачи управления микроклиматом просто не могут быть решены классическими методами из-за очень большой сложности математичес-

ких моделей, их описывающих Перспективным представляется использование в системах управления методов нечеткой логики (*fuzzy logic*) [8]. Отличительными особенностями *fuzzy*-систем по сравнению с традиционными являются:

— возможность оперировать входными данными, заданными нечетко, например, непрерывно изменяющаяся во времени совокупность внешних и внутренних климатических параметров;

— возможность использовать данные, значения которых невозможно интерпретировать однозначно (результаты статистических опросов, индивидуальные предпочтения и т. д.);

— возможность нечеткой формализации критериев оценки и сравнения: «холодно», «тепло», «жарко», «душно» и т. д.;

— возможность проведения качественных оценок входных и выходных результатов с учетом степени их достоверности;

— возможность быстрого превентивного «переобучения» системы управления и диспетчеризации с использованием методов искусственного интеллекта (искусственные нейронные сети, эволюционные и генетические алгоритмы оптимизации)

Перечисленные выше направления повышения эффективности систем жизнеобеспечения (энергопотребление, стоимость, весогабаритные характеристики) во многом являются традиционными. Такой эволюционный путь обеспечивает повышение эффективности на доли, редко единицы процентов. В то же время высокая потребность в системах кондиционирования воздуха при дефиците энергоресурсов заставляет искать новые пути решения этой проблемы. Фактически речь идет о поиске новых направлений решения проектных задач в области создания и модернизации систем кондиционирования воздуха. Очевидно, что подходы при разработке систем жизнеобеспечения в новых зданиях могут значительно отличаться от решений, эффективных при модернизации существующего жилого и офисного фонда.

Для объектов нового строительства как многоэтажного, так и индивидуального, магистральным направлением является широкое использование возобновляемых энергетических ресурсов и технологий когенерации и /или тригенерации энергии в теплоэнергетических системах (домовых, зональных, квартальных). Кондиционирование воздуха в таких зданиях, как правило, организуется на основе централизованных систем с индивидуальным и /или зональным регулированием и индивидуальным учетом потребленных энергетических ресурсов.

По данным Госкомстата, жилищный фонд России довольно изношен: 59% всех зданий и 50% многоквартирных зданий были построены до 1970 г. Объем капитальных ремонтов в 2007 г. составил 0,2% площади всех жилых зданий, т. е. упал в 4 раза по сравнению с 1990 г., а по сравнению с 1970 г. — почти в 7 раз.

Таким образом, типичным объектом, для которого необходимо обеспечить комфортные параметры микроклимата с одновременным снижением энергопотребления, является находящийся в эксплуатации многоквартирный дом с центральным отоплением и естественной приточно-вытяжной вентиляцией, модернизация отопле-

ния и вентиляции которого должна проводиться без выезда дома на капитальный ремонт. При такой постановке возможным подходом к решению сформулированной задачи является организация вентиляционных потоков в жилых и офисных помещениях, обеспечивающих необходимый воздухообмен и микроклимат при низких энергетических затратах. Эффективные схемы воздухораспределения могут быть созданы на базе малорасходных приточно-вытяжных систем вентиляции с регенерацией или рекуперацией теплоты вытяжного воздуха [9, 10]. Такой подход к организации воздухообмена позволяет сформировать движение воздушных потоков внутри помещений между регенеративными теплообменниками. Изменяя расход воздуха через регенераторы и продолжительность циклов регенерации и аккумуляции, можно поддерживать необходимые параметры воздухообмена и микроклимата во всем помещении, одной или нескольких рабочих зонах.

Новизна предлагаемого подхода связана с тем, что выбор конструктивных и режимных параметров регенераторов, их количество и места установки определяется индивидуально для каждого помещения (группы помещений) с учетом его особенностей по результатам имитационного моделирования процессов теплопереноса вентиляционных и конвективных потоков методами вычислительной гидродинамики [11]. Модель строится с учетом всех основных факторов и процессов, влияющих на движение воздуха: планировки помещения, теплофизических характеристик ограждений и источников тепловыделений, параметров естественной вытяжной вентиляции, тепловых и гидродинамических характеристик теплообменного оборудования и внешних климатических условий.

Эта же имитационная модель используется для разработки алгоритмов управления инженерными системами здания в целом или отдельных помещений (группы помещений с общим воздухообменом).

Фактически речь идет о создании внутренней воздушной среды для «здорового образа жизни», отвечающей требованиям медиков и дизайнеров при оптимизации энергетических затрат.

При таких прогнозах развития отрасли требуются специалисты, обладающие фундаментальными знаниями и широкой эрудицией, что позволит легко ориентироваться в быстроизменяющемся потоке научно-технической информации, и принимать эффективные проектные решения при создании систем жизнеобеспечения различных типов и назначения.

С 2010 г. российские вузы перешли на двухуровневую структуру обучения бакалавриат-магистратура. Не оценивая целесообразность этого шага, можно констатировать, что для подготовки специалистов должной квалификации в ближайшие годы потребуются кардинальное изменение учебного процесса и участие в нем предприятий отрасли.

Федеральный государственный образовательный стандарт отводит на обучение бакалавра-инженера (формулировка ФГОС) четыре года, а на его профессиональную подготовку менее трети учебного времени. Высокий темп технических инноваций в климатической технике требует постоянного обновления учебно-лабораторной



базы, что с учетом высокой стоимости оборудования и ограниченного финансирования практически невозможно. В таких условиях даже при наличии современного методического и информационного обеспечения можно подготовить специалиста, имеющего только самое общее представление о профессии. Работодатель должен понимать, что бакалавра придется «доводить» под руководством опытного наставника в течение 2–3-х лет.

Обучение в магистратуре после бакалавриата нельзя рассматривать как разновидность традиционной модели подготовки специалиста в течение шести лет. Магистерская подготовка — это самостоятельная образовательная программа для специалистов, уже имеющих социальный и профессиональный опыт. Цель обучения — получение знаний, умений, навыков, которые способствуют повышению компетентности специалиста в целом, и одновременно специализации в определенной сфере деятельности (научно-исследовательской, научно-педагогической, опытно-конструкторской, инновационной, организационно управленческой). Ведущая роль в организации процесса обучения принадлежит студенту, который совместно с преподавателем (руководителем) формирует траекторию и цели обучения с учетом своей дальнейшей профессиональной карьеры. В рамках такого подхода изменяется роль преподавателя, акценты смещаются на сопровождение и консультирование магистранта.

Определяющую роль в формировании структуры магистерских образовательных программ должно сыграть профессиональное сообщество, которое фактически выступает заказчиком «образовательных услуг». Магистерские программы должны носить опережающий характер, то есть подготовка специалистов должна проводиться с учетом перспектив развития отрасли.

С учетом разнообразия направлений развития климатической техники и темпов инноваций экспертами, определяющими структуру образовательных программ, могут и должны выступать такие профессиональные ассоциации как Международная академия холода, АВОК, Ассоциация предприятий индустрии климата (АПИК), Ассоциация инженеров по контролю микрозагрязнений (АСИНКОМ) [12, 13]. Объединение усилий высшей школы и профессионального сообщества позволит использовать для подготовки специалистов материальные и интеллектуальные ресурсы предприятий отрасли, что обеспечит ее дальнейшее устойчивое развитие.

### Список литературы

1. Цыганков А. В. Подготовка специалистов в области климатической техники, состояние и перспективы. Сборник докладов научных чтений «Вентиляция общественных и промышленных зданий». — СПб.: Изд-во «АВОК Северо-Запад», 2013. С. 70–72.
2. Башмаков И. А. Повышение энергоэффективности в жилищном секторе. // Энергосбережение. 2008. № 8. С. 40–51.
3. Холодильные машины./под редакцией Л. С. Тимофеевского. — СПб.: СПбГУНИПТ, 2006. 942 с.
4. Цветков О. Б. Холодильные агенты. — СПб.: СПбГУНИПТ, 2002. 216 с.

5. Цыганков А. В., Васильев В. А. Моделирование поверхностей трения механических узлов криогенных систем // Вестник Международной академии холода. 2009. № 4. С. 38–40.

6. Крагельский И. В., Михин Н. М. Узлы трения машин. Справочник. — М.: Машиностроение, 1984. 280 с.

7. Рогов В. Е., Гурьев А. М. и др. Металлофторопластовые материалы для энергетического машиностроения: специфические особенности, разработка, применение // Ползуновский вестник. 2010. № 1.

8. Дименков Н. П. Нечеткое управление в технических системах. — М.: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2005. 280 с.

9. <http://www.ecotherm.ru/>

10. Васильев В. А., Гаврилов А. И. и др. Параметрическое исследование регенеративного теплообменника. // Вестник Международной академии холода. 2010. № 1.

11. Гримитлин А. М., Дацюк Т. А., Денисихина Д. М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. — М.: Изд-во «АВОК Северо-Запад», 2013.

12. Coulomb D. World tendencies and priorities in development of low-temperature engineering. // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4.

13. Бараненко А. В. Итоги работы МАХ в 2012–2013 годах (доклад президента МАХ на 20-м общем годовичном собрании 23 апреля 2013 г.) // Вестник Международной академии холода. 2013. № 2.

### References

1. Cygankov A. V. Sbornik докладov nauchnyh chtenij «Ventiljacija obshhestvennyh i promyshlennyh zdaniy». — SPb.: Izd-vo «AVOK Severo-Zapad», 2013. pp. 70–72.
2. Bashmakov I. A. *Jenergoberezhenie*. 2008. № 8. S. 40–51.
3. L. S. Timofeevskiy. *Holodil'nye mashiny*. — SPb.: SPbGUNIPT, 2006. P. 942.
4. Cvetkov O. B. *Holodil'nye agenty*. — SPb.: SPbGUNIPT, 2002. P. 216.
5. Cygankov A. V., Vasil'ev V. A. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2009. No 4. pp. 38–40.
6. Kragel'skij I. V., Mihin N. M. *Uzly trenija mashin. Spravochnik*. — М.: Ma-shinostroenie, 1984. p. 280.
7. Rogov V. E., Gur'ev A. M. *Polzunovskij vestnik*. 2010. No 1.
8. Dimenkov N. P. *Nechetkoe upravlenie v tehniceskikh sistemah*. — М.: Izd-vo MGTU im N. Je. Bauman, 2005. P. 280.
9. <http://www.ecotherm.ru/>
10. Vasil'ev V. A., Gavrilov A. I. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2010. No 1.
11. Grimitlin A. M., Dacjuk T. A., Denisihina D. M. *Matematicheskoe modelirovanie v proektirovanii sistem ventiljacji i kondicionirovanija*. — М.: Izd-vo «AVOK Severo-Zapad», 2013.
12. Coulomb D. World tendencies and priorities in development of low-temperature engineering. // *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2012. No. 4.
13. Baranenko A. V. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2013. No 2. pp. 4–12.