

Елена БЕЛОВА

Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях

Москва
Евроклимат
2006

УДК 697.94
ББК 38.762.3
Б43

Белова Е. М.

Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. — М.: Евроклимат, 2006. — 640 с.: ил. — (Библиотека климатехника).

В книге отражены теоретические основы и методы проектирования и расчета СКВ, степень и перспектива развития этих систем и оборудования для них. Значительное внимание уделено вопросам экономии энергии в здании при проектировании и эксплуатации СКВ.

Книга является систематизированным учебным пособием и практическим руководством для проектировщиков, монтажников, наладчиков и специалистов по эксплуатации центральных систем кондиционирования воздуха. Отдельные главы книги могут рассматриваться в качестве разделов основного курса «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» и спецкурса «Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха», предусмотренных учебным планом подготовки инженеров по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» инженерно-строительных учебных заведений и профильных специальностей других ВУЗов.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может воспроизводиться либо распространяться ни в какой форме — в виде фотокопий, микрофильмов, либо другим способом, без письменного разрешения издателя.

© Евроклимат, 2006 г.

Предисловие

Уважаемый читатель, перед Вами седьмая книга серии «Библиотека климатехника», подготовленная специалистами группы компаний ЕВРОКЛИМАТ. С 1994 года ЕВРОКЛИМАТ успешно работает на российском рынке климатического оборудования и по праву считается ведущей компанией в отрасли.

В сферу деятельности компании входит поставка климатического оборудования на московские и региональные объекты, полный цикл проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха, проведение монтажных и пуско-наладочных работ, обеспечение гарантийного и сервисного обслуживания.

Сотни московских и региональных партнеров сотрудничают с компанией ЕВРОКЛИМАТ на территории России и стран СНГ. В совместной работе нами накоплен огромный практический опыт, но законы рынка, развитие отрасли и применение новых технологий требуют постоянного повышения квалификации.

В этой связи более пяти лет компания ЕВРОКЛИМАТ издает уникальную серию книг «Библиотека климатехника».

Серия знакомит читателей с книгами отечественных и зарубежных авторов, охватывает широкий круг вопросов, связанных с подбором климатического оборудования, техническим обслуживанием и устранением неисправностей, рассматривает этапы проектирования, монтажа и наладки систем вентиляции и кондиционирования, предлагает актуальные схемы их ремонта и усовершенствования.

Многие книги серии выдержали не одно переиздание и до сих пор остаются «бестселлерами».

Сегодня компания ЕВРОКЛИМАТ предлагает Вашему вниманию новую книгу серии.

«Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях» — это первое российское издание, в котором обобщен отечественный и зарубежный опыт проектирования, монтажа, наладки и обслуживания центральных кондиционеров — оборудования, которое сегодня широко используется в зданиях самого разного назначения: в жилых комплексах, отелях, ресторанах, офисах, супермаркетах, крупных спортивно-развлекательных центрах и многих других.

Книга содержит подробную информацию о системах центрального кондиционирования, рассматривает вопросы организации воздухообмена, выбора принципиальной схемы обработки воздуха в теплый и холодный период года, автоматического регулирования и контроля поддержания параметров микроклимата в помещениях на заданном уровне.

Надеемся, книга будет полезна специалистам проектных и пуско-наладочных организаций, а также студентам профильных факультетов высших учебных заведений.

Генеральный директор
группы компаний ЕВРОКЛИМАТ
Горовой Г. Ю.

Предисловие автора

В последние годы, в связи с ростом уровня жизни, необходимостью защиты от уличного шума и загрязнения внешней среды, значительно вырос интерес к системам кондиционирования воздуха в зданиях разного назначения, особенно в жилых и общественных зданиях. Во многих помещениях производственных зданий поддержание заданных параметров микроклимата по требованиям технологии является обязательным условием получения качественной продукции и способствует росту прибыли производства. Микроклимат помещения является определяющим фактором при сохранении произведений культуры, искусства, письменности в музеях, библиотеках и архивах, а также внутренних интерьеров исторических зданий. Система кондиционирования воздуха предназначена для создания и обеспечения требуемого микроклимата в помещениях здания.

В XX в., который по праву считается веком кондиционирования воздуха, накоплен большой опыт, как зарубежный, так и отечественный, проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации систем кондиционирования воздуха. В то же время, в последние годы изменились архитектурно-конструктивные решения зданий, в том числе в связи с возросшими требованиями по теплозащите; изменились технические характеристики и номенклатура производимого оборудования: центральных кондиционеров, холодильных машин для кондиционирования воздуха, средств автоматизации; возросли требования к охране окружающей среды и экономии энергии в зданиях; появились надежные инструменты в виде компьютеров, облегчающие работу проектировщика. Простота и легкость подбора оборудования, обеспеченная компьютерными программами расчета, построенными по принципу «черного ящика», наличие стандартных решений, простых, но не всегда эффективных, не освобождает проектировщика от необходимости знания теоретических основ техники создания микроклимата в помещении и особенностей протекания процессов обработки воздуха в соответствующих аппаратах. Непременным условием качественного проектирования является знание современного оборудования и его возможностей. Особенно актуально стоит вопрос: «Какой ценой может быть обеспечен требуемый микроклимат в помещениях здания?», поэтому основная задача процесса проектирования — достижение экономической эффективности принятых решений, в том числе и направленных на энергосбережение в здании.

Основной целью, которую поставил перед собой автор при подготовке данной книги, является создание систематизированного учебного пособия и практического руководства для проектировщиков, монтажников, наладчиков и специалистов по эксплуатации центральных систем кондиционирования воздуха на основе обобщения зарубежного и отечественного опыта. Отдельные главы книги могут рассматриваться в качестве разделов основного курса «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» и спецкурса «Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха», предусмотренных учебным планом подготовки инженеров по специальности «Теплогасоснабжение и вентиляция» инженерно-строительных учебных заведений и профильных специальностей других ВУЗов.

В книге отражены теоретические основы и методы проектирования и расчета СКВ, степень и перспектива развития этих систем и оборудования для них. Уделено значительное внимание актуальным вопросам экономии энергии в здании при проектировании и эксплуатации СКВ. Книга содержит также некоторую информацию справочного характера.

Благодарю своих учителей В.Б. Бобовича и А.Г. Егiazарова. Считаю необходимым выразить глубокую благодарность Г.Ю. Горovому, без которого не была бы написана эта книга, и М.И. Бейзмaну за помощь и поддержку в подготовке книги.

Белова Е.М.

Содержание

Предисловие	3
От автора	4
ГЛАВА 1	12
История развития техники кондиционирования воздуха	13
Развитие холодильной техники	13
Развитие и совершенствование оборудования для обработки воздуха	15
Развитие и совершенствование гидравлических машин	17
Развитие отечественной индустрии кондиционирования воздуха	20
Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха	21
Совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха	24
Требования к системам кондиционирования воздуха	27
Комфортные и технологические требования	27
Технические требования	28
Архитектурно-строительные и конструктивные требования	28
Экономические требования	29
Производственно-монтажные требования	29
Эксплуатационные требования	29
Особенности выбора системы кондиционирования воздуха в зданиях различного назначения	29
Системы комфортного кондиционирования воздуха	30
Кондиционирование воздуха в театрах	30
Кондиционирование воздуха в офисных зданиях	32
Системы вентиляции и кондиционирования воздуха в жилых зданиях	33
Системы технологического кондиционирования воздуха	39
Системы кондиционирования воздуха в музеях, библиотеках и архивах	41
Системы кондиционирования воздуха в полиграфическом производстве	46
Системы кондиционирования воздуха в помещениях автоматических телефонных станций	49
Кондиционирование воздуха в пищевом производстве	50
Производство хлеба	51
Производство кондитерских изделий	51
Производство мясных продуктов	53
Производство молочных продуктов	53
Производство пива	54
Хранение и выдержка винных изделий	54
Производство чая	55
Кондиционирование воздуха в текстильном производстве	55
Кондиционирование воздуха в микроэлектронном производстве	58
Кондиционирование воздуха в чистых помещениях	59
ГЛАВА 2	60
Организационные мероприятия, направленные на энергосбережение	61
Технические мероприятия, направленные на энергосбережение	65
Факторы, определяющие потребление электроэнергии, теплоты и холода системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха	66
I. Конструктивные и объемно-планировочные решения	67
II. Наружный климат и внутренний микроклимат	67
III. Схемные решения СКВ и способы управления ею	68
IV. Оборудование	71

Аккумулирование теплоты и холода.....	72
Основные направления экономии энергии и топлива в системах обеспечения микроклимата зданий	74
Расчет эффективности энергосберегающих решений в СКВ.....	75
Оценка экономической эффективности регенерации теплоты удаляемого воздуха	81
Оценка энергетического эффекта использования ВЭР и ВИЭ.....	82
Капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с использованием ВЭР и ВИЭ.....	83
Оценка ежегодной экономии затрат на приобретение топлива (тепловой энергии) и экономического эффекта использования ВЭР и ВИЭ.....	85
ГЛАВА 3.....	86
Расчетные параметры микроклимата помещения	87
Расчетные параметры наружного воздуха.....	105
Расчет поступлений теплоты и влаги в помещение	107
Определение расхода приточного воздуха и минимально необходимого расхода наружного воздуха	109
ГЛАВА 4.....	116
Требования, предъявляемые к системе воздухораспределения	117
Способы распределения воздуха в помещении	118
Перемешивающая вентиляция	119
Вытесняющая вентиляция	119
«Распределение воздуха из-под пола».....	122
Другие способы распределения воздуха	124
Теоретические основы расчета воздухораспределения в помещении.....	125
Коэффициент воздухообмена	134
Воздухораспределители	137
Воздухораспределители для перемешивающей вентиляции.....	137
Вентиляционные решетки	137
Вентиляционные вентили.....	140
Диффузоры.....	140
Панельные диффузоры.....	141
Щелевые воздухораспределители.....	144
Вихревые диффузоры.....	147
Вихревые регулируемые диффузоры.....	148
Сопловые воздухораспределители.....	150
Воздухораспределители для вытесняющей вентиляции	151
Расчет воздухораспределения. Общие положения	152
Исходные данные для расчета воздухораспределения и подбора устройств для подачи воздуха	152
Расчет воздухораспределения при перемешивающей вентиляции.....	154
Отечественная методика расчета воздухораспределения	154
Подача воздуха настилающейся компактной приточной струей через вентиляционную решетку.....	154
Подача воздуха не настилающейся плоской струей.....	156
Подача воздуха веерной струей.....	157
Методика ANSI/ASHRAE выбора типоразмера воздухораспределителя при подаче охлажденного воздуха	159
Европейская методика выбора типоразмера воздухораспределителя и расчета воздухораспределения (Скандинавские страны)	161

Расчет воздухораспределения с использованием диаграмм	163
Расчет воздухораспределения при перемешивающей вентиляции с использованием компьютерной программы.....	168
Проектирование систем вытесняющей вентиляции.....	170
Расчет распределения температуры воздуха по высоте помещения	170
Расчет расхода приточного воздуха	173
Проектирование систем вентиляции при распределении воздуха из под пола (UFAD).....	176
Расчет уровня звукового давления в помещении в расчетной точке	177
ГЛАВА 5.....	180
Общие положения.....	181
Процессы изменения состояния воздуха в центральном кондиционере для теплого периода года	182
Построение процессов обработки воздуха в центральном кондиционере на основе применения прямого и косвенного испарительного охлаждения воздуха в теплый период года.....	184
Прямое испарительное охлаждение	184
Косвенное испарительное охлаждение	191
Двухступенчатое испарительное охлаждение	193
Построение процессов обработки воздуха в центральном кондиционере с использованием искусственных источников холода для охлаждения наружного воздуха в теплый период года	198
Прямоточная схема с использованием воздухонагревателя второго подогрева.....	198
Прямоточная схема с управляемым процессом.....	203
Прямоточная схема с байпасом	207
Схема обработки воздуха с двумя рециркуляциями	210
Схема обработки воздуха с первой рециркуляцией и байпасом или управляемым процессом	214
Процессы изменения состояния воздуха в центральном кондиционере для холодного периода года	218
Прямоточная схема с использованием адиабатного увлажнения воздуха	220
Прямоточная схема с управляемым процессом в блоке адиабатного увлажнения	223
Прямоточная схема с байпасом блока адиабатного увлажнения	226
Прямоточная схема с блоком парового увлажнения	227
Схема обработки воздуха в центральном кондиционере с одной рециркуляцией.....	230
Схема обработки воздуха в центральном кондиционере с двумя рециркуляциями	233
ГЛАВА 6.....	247
Центральные однозональные системы	248
Центральные системы кондиционирования воздуха с постоянным расходом воздуха	248
Центральные системы кондиционирования воздуха с переменным расходом воздуха	251
Центральные многозональные системы	253
Центральная система кондиционирования воздуха с зональными поверхностными теплообменниками(температурными доводчиками).....	253
Многозональная СКВ с переменным количеством воздуха.....	258
Двухканальная система кондиционирования воздуха.....	269
Водовоздушная система кондиционирования воздуха	278
Система кондиционирования воздуха с эжекционными кондиционерами-доводчиками.....	282
Система кондиционирования воздуха с вентиляторными доводчиками	287

ГЛАВА 7.....	293
Общие положения.....	294
Анализ работы центральной системы кондиционирования воздуха при изменении параметров наружного климата	294
Алгоритм функционирования центральной однозональной прямоточной СКВ спортивного зала со вторым подогревом	297
Алгоритм функционирования центральной однозональной прямоточной СКВ спортивного зала с управляемым процессом в блоке адиабатного увлажнения или байпасом и управляемым процессом в водяном воздухоохладителе.....	300
Алгоритм функционирования системы кондиционирования воздуха с воздуховоздушными поверхностными теплообменниками для регенерации теплоты удаляемого воздуха.....	304
Алгоритм функционирования центральной однозональной прямоточной СКВ спортивного зала с увлажнением воздуха в блоке парового увлажнения и управляемым процессом в водяном воздухоохладителе	305
Алгоритм функционирования центральной однозональной СКВ с первой рециркуляцией и управляемым адиабатным процессом в оросительной камере для зрительного зала кинотеатра	307
Алгоритм функционирования центральной однозональной СКВ с первой рециркуляцией и управляемым адиабатным процессом в оросительной камере, выполняющей функцию отопления в холодный период года	311
Алгоритм функционирования центральной однозональной СКВ с первой рециркуляцией, управляемым процессом в поверхностном воздухоохладителе, увлажнении воздуха паром для зрительного зала кинотеатра.....	313
Анализ работы центральной системы кондиционирования воздуха при изменении тепловой и влажностной нагрузки в помещении	315
Выбор технологической схемы обработки воздуха в центральном кондиционере.....	319
ГЛАВА 8.....	320
Общие положения.....	321
Конструктивные элементы центральных кондиционеров	322
Назначение и конструктивные особенности блоков	324
Приемный блок	325
Блоки для распределения и смешивания потоков воздуха	327
Воздушные фильтры	328
Блоки с фильтрами на нагнетании	330
Применение фильтров.....	332
Воздухонагреватели центрального кондиционера	332
Водяные воздухонагреватели	332
Паровые воздухонагреватели	335
Электрические воздухонагреватели.....	335
Воздухоохладители центральных кондиционеров	336
Поверхностный водяной воздухоохладитель	337
Воздухоохладитель фреоновый (испаритель непосредственного расширения)	338
Блоки увлажнения	343
Способы увлажнения воздуха	343
Камера орошения.....	347
Блок сотового увлажнения.....	349
Блок парового увлажнения	354
Блок увлажнения с воздушно-водяным распылением	360

Блок увлажнения с водяным распылением	366
Ультразвуковые увлажнители воздуха.....	371
Осушение воздуха в центральных кондиционерах	375
Теплообменники для утилизации и регенерации теплоты	379
Пластиначатые воздуховоздушные теплообменники	379
Теплообменные блоки с тепловыми трубками	387
Водовоздушные и паровоздушные теплообменники	388
Контактные теплообменники	388
Системы утилизации или регенерации теплоты с промежуточным теплоносителем	389
Система регенерации теплоты с промежуточным теплоносителем с рекуперативными теплообменниками в потоках удаляемого и приточного воздуха.....	390
Система регенерации теплоты с промежуточным теплоносителем с контактными теплообменниками в потоках удаляемого и приточного воздуха.....	392
Регенеративные теплообменники	397
Выбор типа теплообменника и схемы утилизации и регенерации теплоты	399
Вентиляторный блок.....	403
Блок шумоглушения	408
Многозональные блоки	409
ГЛАВА 9.....	410
Выбор типоразмера центрального кондиционера	411
Расчет функциональных блоков центрального кондиционера	413
Воздухонагреватели и воздухоохладители.....	413
Расчет воздухонагревателя центрального кондиционера	417
Проверка возможности замерзания теплоносителя в воздухонагревателе.....	421
Расчет воздухоохладителя центрального кондиционера	423
Камера орошения для реализации полнотропных процессов обработки воздуха	426
Методики расчета полнотропных камер орошения	428
Блоки увлажнения центральных кондиционеров	432
Адиабатные камеры орошения.....	432
Блок содового увлажнения.....	438
Блок парового увлажнения	441
Блоки воздушно-водяного и водяного распыления.....	443
Блок ультразвукового увлажнения	445
Блоки с фильтрами	446
Блоки регенерации теплоты удаляемого воздуха	448
Поверочный расчет рекуперативных теплообменников.....	453
Расчет контактных теплообменников.....	461
Расчет системы регенерации теплоты с промежуточным теплоносителем с двумя рекуперативными теплообменниками (СУТПТ).....	461
Подбор вентиляционного агрегата.....	466
Подбор центрального кондиционера с помощью компьютерной программы.....	472
ГЛАВА 10.....	473
Основные положения выбора схемы тепло- и холодоснабжения поверхностных теплообменников	474
Теплоснабжение	475
Теплоснабжение воздухонагревателей первого подогрева.....	475
Теплоснабжение воздухонагревателей второго, местного и зонального подогрева	484
Холодоснабжение.....	486

Показатели эффективности работы холодильных машин	486
Холодоснабжение водяных поверхностных воздухоохладителей	487
Водоохлаждающие холодильные машины	488
Типология чиллеров CLIVET	488
Энергосберегающие чиллеры	493
Чиллеры для небольших зданий серии ELFO ENERGY	494
SPIN чиллеры	499
Чиллеры со свободным охлаждением	507
Температурный режим работы холодильной машины	513
Подбор холодильной машины	515
Подбор чиллера	516
Холодоснабжение поверхностных воздухоохладителей прямого расширения	520
Типология компрессорно-конденсаторных блоков CLIVET	520
Подбор фреоновго воздухоохладителя и компрессорно-конденсаторного блока	524
Подбор насоса и расширительного бака	528
Подбор аккумулирующего бака	530
Водоснабжение	531
Химические и физические показатели качества воды	532
Биологические характеристики качества воды	534
Способы водоподготовки в системах кондиционирования воздуха	535
ГЛАВА 11	540
Общие положения	541
Анализ стандартных схем автоматического регулирования	
центральных систем кондиционирования воздуха	549
Основные принципы составления функциональной схемы автоматического регулирования	556
Управляющие воздействия в аппаратах обработки воздуха центрального кондиционера	559
Поверхностные воздухоохладители и воздухонагреватели	559
Смесительные блоки	564
Вентиляторы и насосы	564
Изменение характеристик сети	564
Ступенчатое регулирование	565
Изменение характеристики сети и нагнетателя	567
Изменение числа оборотов рабочего колеса	567
Блоки увлажнения	575
Камера орошения	575
Блок сотового увлажнения	575
Блок парового увлажнения	576
Блок увлажнения с форсунками тонкого распыла с использованием сжатого воздуха	576
Блок увлажнения с форсунками тонкого распыла высокого давления	577
Блок ультразвукового увлажнения	577
Регулирующие клапаны, устанавливаемые на трубопроводах	578
Расчет и подбор регулирующего клапана на трубопроводах	579
Воздушные регулирующие клапаны	587
ГЛАВА 12	591
Общие положения по монтажу, вводу в эксплуатацию и обслуживанию	
блоков центрального кондиционера, требования по технике безопасности	592
Монтаж центрального кондиционера	593
Монтаж блоков увлажнения	596

Блок увлажнения форсуночного типа.....	597
Монтаж блока сотового увлажнения	599
Монтаж блока парового увлажнения.....	599
Монтаж вентиляторного блока.....	600
Электрические подключения.....	600
Монтаж поверхностных теплообменников.....	604
Монтаж парового воздушонагревателя.....	606
Монтаж фреонового воздухоохладителя.....	607
Монтаж электрического воздушонагревателя.....	608
Монтаж фильтров	609
Монтаж системы отвода неиспользованной воды или конденсата.....	609
Монтаж блоков регенерации теплоты	611
Монтаж воздуховодов.....	613
Испытание и наладка центральной системы кондиционирования воздуха	613
Общие положения.....	613
Испытание системы тепло-холодоснабжения.....	615
Испытания систем кондиционирования воздуха.....	616
Наладка систем кондиционирования воздуха.....	616
Пуск и наладка функциональных блоков центрального кондиционера.....	617
Обслуживание центрального кондиционера.....	629
Обслуживание приемного и приемно-смесительного блока.....	629
Обслуживание воздушных фильтров.....	629
Обслуживание водяных и фреоновых теплообменников, теплообменников блока регенерации теплоты	630
Обслуживание камеры орошения	631
Обслуживание блока сотового увлажнения	632
Обслуживание блока увлажнения с форсунками тонкого распыла	633
Обслуживание блока парового увлажнения.....	633
Обслуживание вентиляторов.....	633
Неисправности в работе центрального кондиционера.....	634
Возможные отклонения от нормальной работы центрального кондиционера и их причины	634
Список литературы	636

ГЛАВА 1

Кондиционирование воздуха в зданиях различного назначения

История развития техники кондиционирования воздуха	13
Развитие холодильной техники.....	13
Развитие и совершенствование оборудования для обработки воздуха	15
Развитие и совершенствование гидравлических машин.....	17
Развитие отечественной индустрии кондиционирования воздуха.....	20
Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха	21
Совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха.....	24
Требования к системам кондиционирования воздуха	27
Комфортные и технологические требования	27
Технические требования.....	28
Архитектурно-строительные и конструктивные требования	28
Экономические требования.....	29
Производственно-монтажные требования.....	29
Эксплуатационные требования	29
Особенности выбора системы кондиционирования воздуха в зданиях различного назначения.....	29
Системы комфортного кондиционирования воздуха	30
Кондиционирование воздуха в театрах.....	30
Кондиционирование воздуха в офисных зданиях	32
Системы вентиляции и кондиционирования воздуха в жилых зданиях.....	33
Системы технологического кондиционирования воздуха	39
Системы кондиционирования воздуха в музеях, библиотеках и архивах.....	41
Системы кондиционирования воздуха в полиграфическом производстве	46
Системы кондиционирования воздуха в помещениях автоматических телефонных станций.....	49
Кондиционирование воздуха в пищевом производстве	50
Производство хлеба	51
Производство кондитерских изделий.....	51
Производство мясных продуктов.....	53
Производство молочных продуктов	53
Производство пива.....	54
Хранение и выдержка винных изделий.....	54
Производство чая.....	55
Кондиционирование воздуха в текстильном производстве.....	55
Кондиционирование воздуха в микроэлектронном производстве	58
Кондиционирование воздуха в чистых помещениях	59

История развития техники кондиционирования воздуха

Кондиционирование воздуха — создание и автоматическое поддержание в закрытых помещениях заданных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей культуры.

История развития кондиционирования воздуха неразрывно связана с историей развития всего человечества: формирование и рост капиталистического производства, войны в борьбе за передел территории, сферы влияния и подготовка к ним. Развитие систем кондиционирования воздуха в гражданских и жилых зданиях неразрывно связано с историей архитектуры. В Англии, Франции, Германии и США прообразы систем кондиционирования воздуха появились еще в конце XIX в., а первые системы кондиционирования воздуха — в начале XX в. Развитию этой отрасли способствовали требования к микроклимату для технологических процессов растущего капиталистического производства (полиграфическое, текстильное) в условиях промышленной конкуренции. Комфортные системы кондиционирования воздуха получили широкое распространение после Второй мировой войны, хотя первые системы, обеспечивающие комфортные условия для людей, появились еще в начале XX в. Основы для развития техники кондиционирования воздуха были заложены в XIX в.: изобретение холодильных машин, вентиляторов, электродвигателей. Но именно XX в. по праву считается веком кондиционирования воздуха, так как к этому периоду относятся основные технические изобретения, научные результаты в этой области, развитие и техническое совершенствование холодильных машин, механических систем вентиляции и кондиционирования воздуха, и, что самое главное, сращивание научных теорий, описывающих процессы изменения состояния влажного воздуха при его обработке, процессы движения рабочих сред и т. д. с техническими инженерными решениями и образование научно обоснованного и технически реализуемого кондиционирования воздуха. Кондиционирование воздуха стало жизненно важной и неотъемлемой частью существования человечества.

Развитие техники кондиционирования воздуха проходило параллельно в нескольких направлениях:

- создание и совершенствование агрегатов для искусственного получения холода;
- создание и совершенствование оборудования для обработки воздуха (теплообменники для охлаждения, осушения, увлажнения) и перемещения воздуха и жидкостей (вентиляторы и насосы);
- разработка теоретических основ: термодинамика жидкостей и газов, теории тепло- и массообмена, автоматического регулирования; создание и совершенствование методов описания физических процессов и расчета отдельных элементов системы кондиционирования воздуха;
- совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха для зданий различного назначения.

Развитие холодильной техники

Естественное охлаждение воздуха как самопроизвольная передача теплоты окружающей среде (воздуху, воде, грунту) может быть использовано только в холодное время года. В теплый период года, когда потребность в охлаждении наиболее велика, применяют искусственные способы охлаждения. При этом могут использоваться как природные источники холода, например артезианская вода и лед, так и искусственные источники холода — холодильные машины. Первые установки использования льда для целей кондиционирования воздуха работали еще в XIX в. Фредерик Тьюдор, известный как «Ледовый король мира», впервые в Бостоне использовал природный лед для

охлаждения воздуха. Принцип работы такой установки основан на аккумулировании естественного холода: водный лед заготавливают зимой, чтобы в летнее время использовать для охлаждения. Впоследствии стали получать искусственный лед с помощью холодильных машин. Первые заводы по выработке искусственного льда появились в 1865 и 1867 гг. в Сан-Антонио в Техасе (США). Теплота плавления льда составляет 336 кДж/кг. Лед таял в специальных танкерах, охлаждая разбрызгиваемую по ледяной поверхности талую воду; собирающаяся в поддоне танкера талая вода забиралась насосом и прогонялась через воздухоохладитель. В 1936 г. подобная установка была запроектирована А. А. Гоголиным для охлаждения воздуха льдом в кафе Главхладопрома в Москве на улице Горького. Применение льда для кондиционирования воздуха оказалось невыгодно по сравнению с прямым использованием холодильных машин.

Принцип получения искусственного холода в холодильных машинах основан на простых физических процессах изменения фазового и термодинамического состояния рабочих веществ с определенными теплофизическими свойствами: испарение, конденсация, расширение и сжатие. Рабочие вещества, используемые в холодильной технике, называют холодильными агентами. В парокомпрессионной холодильной машине сжатие холодильного агента осуществляется в компрессоре, для чего используется механическая энергия. В парожеткторных и абсорбционных холодильных машинах в качестве источника внешней энергии используют вторичную теплоту — горячую воду, пар, отходящие газы, имеющие температуру выше температуры окружающей среды. После конденсации паров рабочего вещества его давление должно быть снижено до давления испарения, что возможно осуществить путем адиабатного расширения в детандере или дросселирования в капиллярной трубке или терморегулирующем вентиле. Над созданием первых холодильных машин работали многие изобретатели, инженеры и ученые. Английский физик и химик Бойль и немецкий физик Герике в конце XVII в. установили, что вода в разреженном пространстве при давлении ниже атмосферного испаряется при низких температурах. В 1777 г. Нерн показал, что в условиях вакуума вода замерзает, если удалять образующиеся водяные пары (пары поглощались серной кислотой). Эти открытия позволили англичанину Лесли построить в 1810 г. первую машину для производства искусственного льда из воды.

Холодильные машины стали применяться на практике, когда вместо воды были найдены более эффективные рабочие вещества. В 1834 г. английский врач Перкинс построил холодильную машину, работающую на этиловом эфире, использование которого позволило получить низкие температуры при давлениях более высоких, чем при использовании воды. Машина Перкинса была прообразом современной парокомпрессионной холодильной машины. Она состояла из сосуда, в котором кипел вследствие подвода теплоты от внешней среды эфир (испаритель), насоса (компрессор), сжимающего и направляющего пары эфира в змеевик (конденсатор), в котором при более высоком давлении и более высокой температуре происходила конденсация паров. Сконденсировавшийся жидкий эфир через специальный дроссельный вентиль направлялся в сосуд, где кипел при низкой температуре. В 1871 г. Телье построил машину, работающую на метиловом эфире. В 1872 г. Бойлю был выдан патент на аммиачную холодильную машину. В 1881 г. Линде одновременно с Видхаузенем построил углекислотную холодильную машину.

В 1893 г. в жилом доме в городе Франкфурт-на-Майне впервые была применена установка комфортного кондиционирования воздуха с компрессионной аммиачной холодильной машиной. Аммиак до сих пор используется в качестве хладагента, так как работает при достаточно низких температурах кипения до -30°C , не очень высокой температуре конденсации до 40°C и разности давлений конденсации и испарения 1,2 МПа, в промышленных установках охлаждения. Он является вредным газом, поэтому не применяется в жилых и гражданских зданиях. Большие размеры тихоходных аммиачных холодильных машин, а также требование отдельного помещения из-за ядовитости аммиака для ее размещения обусловили применение этих машин только для получения промышленного холода.

В 1845 г. американец Д. Гори изобрел газовую (воздушную) холодильную машину, работа которой основывалась на том, что предварительно сжатый и охлажденный окружающей средой воздух расширялся в специальной машине-детандере, при этом температура воздуха понижалась.

В 1884 г. был запатентован принцип парожетторной холодильной машины. Первую парожетторную холодильную машину сконструировал Леблан в 1919 г.

В 1862 г. Каре предложил абсорбционную холодильную машину, основанную на поглощении пара аммиака слабым водоаммиачным раствором с последующим выпариванием аммиака из раствора при помощи источника низкопотенциальной теплоты (горячие газы, пары). В 1946 г. появилась бромисто-литиевая абсорбционная холодильная машина, в которой в качестве хладагента использовалась вода, а в качестве абсорбента — водный раствор соли бромистого лития.

В 1931 г. получен безвредный по сравнению с аммиаком хладагент — фреон R12. Это привело к созданию небольших агрегатированных автономных кондиционеров для жилых и гражданских зданий.

Первыми аммиачными компрессорами были поршневые: простого или двойного действия. Они приводились в действие поршневыми паровыми машинами, и число оборотов компрессора обычно было меньше 150 оборотов в минуту. С появлением электродвигателей и быстроходных двигателей внутреннего сгорания они стали применяться в поршневых компрессорах, что позволило увеличить число оборотов. В 1935 г. шведский инженер А. Лисхольм получил патент на конструкцию винтового компрессора, в основе которой лежал профиль зубьев и зацепление винтов. В 1949 г. в России были созданы методики расчета винтовых компрессоров и инструменты для изготовления винтов, а в 1952 г. — изготовлены первые образцы воздушных и газовых винтовых машин; последние работали с впрыском в рабочее пространство воды и других жидкостей. В конце 1950-х — начале 1960-х гг. появились винтовые компрессоры, работающие с впрыском масла. Идея спиральных компрессоров была известна более 100 лет, но реализовать ее и довести до промышленного производства и широкого применения удалось только в 80-е гг. XX в. Причина та же, что и при разработке винтовых компрессоров — отсутствие достаточно точного оборудования для изготовления такой формы деталей, как спирали.

Развитие и совершенствование оборудования для обработки воздуха

Параллельно с разработкой и совершенствованием холодильных машин происходило развитие оборудования для обработки воздуха (теплообменники для охлаждения, осушения, увлажнения) и перемещения воздуха и жидкостей (вентиляторы и насосы).

Во многих случаях повышенная относительная влажность воздуха в помещении приводит к накоплению в ограждающих конструкциях влаги, что вызывает их повреждение и разрушение в условиях отрицательных температур наружного воздуха, пониженная относительная влажность воздуха способствует электризации гигроскопичных материалов. Она также неблагоприятно сказывается на хранении материалов и изделий, следствием чего является коррозия металлических изделий, плесень на текстильных материалах и мехах, потеря окраски и появление пятен на упаковках и готовой продукции, слеживание сыпучих пищевых продуктов, разрушение музейных экспонатов и книг в хранилищах. Поддержание заданного значения относительной влажности воздуха в помещениях со значительными влаговыведениями (плавательные бассейны, бани, прачечные, моечные, подвальные помещения с плохой гидроизоляцией, влажные цеха текстильной промышленности, цеха полиграфической промышленности, гальванические цеха, водохозяйственные и гидротехнические помещения, склады материалов, чувствительных к изменению относительной влажности воздуха, зоомагазины и т.д.) вызывает необходимость осушения наружного воздуха в теплое время года, а иногда, по требованию технологического процесса, и круглогодично.

В холодное и переходное время года возникает необходимость в увлажнении наружного воздуха для доведения его до состояния приточного, иногда это требуется для технологического процесса и круглогодично. Для увлажнения воздуха используются: способ механического распыления воды в

потоке воздуха, способ, основанный на испарении воды со смоченной поверхности, способ образования тумана путем введения насыщенного пара в поток воздуха, способ создания тумана с использованием ультразвуковых колебаний. К устройствам механического распыления относятся: форсуночные камеры орошения, камеры орошения с воздушно-водяным распылением, камеры орошения с водяным распылением под высоким давлением.

Первое устройство для поддержания заданного значения относительной влажности воздуха путем его осушения было изобретено в 1902 г. Уиллисом Кэрриером по заказу полиграфической фирмы в городе Бруклине. Полиграфист никак не мог напечатать цветное изображение приличного качества, поскольку изменяющаяся температура и относительная влажность воздуха в помещении цеха вызывали изменение размеров бумажного листа и смещение красок при многоцветной печати. Это устройство представляло собой оросительную камеру форсуночного типа, в которой распылялась холодная вода. При контакте воздуха с холодной водой содержащиеся в воздухе водяные пары конденсировались, и воздух осушался. Кэрриер проводил эксперименты в течение 1902–1903 гг.: использовал раствор хлористого кальция вместо чистой воды, режим рециркуляции чистой воды в оросительной камере. Это позволило ему выяснить, что при контакте воздуха с водой в зависимости от значения ее начальной температуры, возможно осушать или увлажнять воздух, а при контакте воздуха с раствором хлористого кальция (абсорбента) интенсивность осушения выше по сравнению с чистой водой. В сентябре 1904 г. Кэрриер получил патент на «Устройство для обработки воздуха», а в мае 1907 г. — на «Устройство для контроля состояния воздуха методом «точки росы»». Компания «Buffalo Forge», в которой работал Кэрриер, начала производить оросительные форсуночные камеры в 1905 г. Последующие два десятилетия изобретение Кэрриера, позволившее на научной основе регулировать температуру и относительную влажность воздуха внутри помещений, применялось для создания требуемых условий для технологических процессов и оборудования. Южные текстильные фабрики США были первыми, где использовалась новая система Кэрриера. Недостаточная относительная влажность воздуха на хлопкоперерабатывающей фабрике в Белмонте, штат Новая Каролина, создавала повышенную электризацию в помещении, делающую волокна хлопка рыхлыми и плохо поддающимися обработке. Система кондиционирования воздуха Кэрриера позволила увеличить и стабилизировать относительную влажность воздуха и повысила качество хлопкового волокна. Первая система обработки воздуха Кэрриера за пределами США была использована в Японии в 1907 г. для шелковой фабрики в Йокогаме.

Для описания процессов изменения состояния воздуха, в том числе и при контакте его с водой, потребовалась разработка соответствующих разделов термодинамики и теории тепло- и массообмена. В 1911 г. Кэрриер опубликовал психрометрическую диаграмму влажного воздуха t - x (температура по сухому термометру — влагосодержание). В 1915 г. Карриер вместе с друзьями создает компанию «Carrier Engineering Company» для производства оборудования кондиционирования воздуха, позволяющего контролировать температуру и относительную влажность воздуха в производственных помещениях. В текстильной, химической, фармацевтической, пищевой промышленности поддержание постоянной температуры и относительной влажности воздуха позволило существенно увеличить качество производимой продукции и объемы производства. Естественно, недостатка в клиентах новая компания не испытывала. Таким образом, Кэрриер был первым, кто создал научные основы, разработал аппарат для обработки воздуха, внедрил свои разработки в производство и организовал бизнес. Именно поэтому его считают отцом кондиционирования воздуха, а изобретение форсуночной оросительной камеры — началом истории развития техники кондиционирования воздуха. В 1923 г. фирмой Кэрриера был разработан турбокомпрессорный холодильный агрегат (центробежный компрессор) на дихлорэтилене, значительно сокративший размеры холодильных установок.

Первая установка оборудования «Carrier» в нашей стране датирована 1937 г.: этот центральный кондиционер работал до недавнего времени в Российском государственном телевизионном комплексе.

В России одной из первых установок кондиционирования воздуха, предназначенной для поддержания заданного значения относительной влажности воздуха, было оборудовано здание архива Государственного Совета (С.-Петербург, инженер С. Б. Лукашевич). В 1910–1912 г. для здания Нового Эрмитажа в С.-Петербурге была запроектирована и смонтирована в нем установка кондиционирования воздуха с использованием форсуночной оросительной камеры для адиабатного увлажнения воздуха (инженер Н. П. Мельников).

Установки местного увлажнения воздуха (адиабатное увлажнение) стали применяться на текстильных и табачных фабриках в СССР в 30-е гг. XX в. Широкое распространение на текстильных фабриках получила система пневматического увлажнения воздуха отечественных инженеров Зимина-Зотикова и американская автоматическая система «Райко». Вода и сжатый воздух в определенных количественных соотношениях и при определенных давлениях подавалась по двум независимым трубопроводам к форсунке. Специальная конструкция форсунки с использованием эффекта эжекции высокоскоростным потоком сжатого воздуха низкоскоростного потока воды обеспечивала тонкое распыление воды с размером капель 5–8 мкм, благодаря чему распыляемая вода в воздухе практически полностью испарялась. В системе Зотикова вода к форсункам его конструкции подавалась из бака с постоянным уровнем воды, не выше отверстия форсунок; в системе «Райко» вода подавалась под давлением не менее 1,6–1,8 ати. Основным преимуществом системы «Райко» по сравнению с системой Зотикова являлось отсутствие водяных баков и автоматический контроль относительной влажности воздуха с помощью регулирующих клапанов на сжатом воздухе.

Для увлажнения воды в центральных установках кондиционирования воздуха стали использовать камеры орошения форсуночного типа с форсунками грубого распыла, минимальный диаметр выходного отверстия которых выбирался из условия незасоряемости форсунок. Наиболее зарекомендовали себя форсунки Н. Григорьева-Поляка «Рефтон» и форсунка Шлиппа. В конструкции последней форсунки предусмотрен подвижный шпindel, имеющий на конце утолщение в виде грибка для регулирования прикрытия выходного отверстия форсунки. Это обеспечивало регулирование расхода воды и прочистку форсунки в случае ее засорения, не выключая подачи воды. Для охлаждения и осушения воздуха в СССР первоначально использовали насадочные контактные аппараты с кольцами Рашига, где воздух контактировал с пленкой холодной воды, образующейся при орошении насадки на ее поверхности. При глубоком охлаждении и осушении воздуха требовались высокие значения коэффициента орошения и значительный объем насадки, была большая вероятность «захлебывания» насадки водой. В США для охлаждения и осушения воздуха использовали форсуночные камеры. В СССР в послевоенные годы стали использовать разработанные ВНИИ «Кондиционер» форсуночные камеры орошения с форсунками грубого распыла для охлаждения и осушения воздуха, а также для испарительного нагревания воздуха. В настоящее время для охлаждения и осушения воздуха предпочитают использовать поверхностные воздухоохладители — водовоздушные теплообменники, в трубах которых протекает холодная вода. Для адиабатного увлажнения воздуха используют форсуночные камеры орошения и блоки содового увлажнения, последние относятся к аппаратам контактного типа с орошаемой насадкой.

Принцип системы пневматического увлажнения воздуха применяют в настоящее время в современных блоках увлажнения для реализации адиабатных процессов охлаждения и увлажнения воздуха.

Развитие и совершенствование гидравлических машин

Развитие гидравлических машин, без которых невозможна работа кондиционера, — насосов, вентиляторов, компрессоров — было связано с потребностью развивающегося капиталистического производства. Изобретение первых центробежных насосов относят примерно к 1700 г., однако они не нашли широкого применения ввиду крайнего несовершенства конструкции и низкого коэффициента полезного действия (к. п. д.). Первый центробежный вентилятор был разработан русским

инженером А. А. Саблуковым в 1832 г. Он представлял собой круглый кожух с двухсторонним всасыванием и колесом, снабженным четырьмя прямыми лопатками. В 1835 г. этот вентилятор был применен для проветривания Чагирского рудника на Алтае и после этого получил широкое распространение в России и за границей. Позже А. А. Саблуков изобрел и применил для проветривания каменноугольных выработок осевой вентилятор, а в 1840 г. приспособил свои вентиляторы для подъема воды, то есть изобрел центробежный и осевой насосы («водогоны»). Известный гидродинамик О. Рейнольдс (Англия) первый предложил спиральную камеру насосов вместо цилиндрической, что существенно увеличило к. п. д. центробежных насосов и вентиляторов.

Основы теории лопастных машин были заложены членом Российской Академии наук Леонардом Эйлером еще в 1754 г. Он получил уравнение теоретического давления, развиваемого лопастным нагнетателем, впоследствии названное его именем. Профессор Н. Е. Жуковский, имя которого связано с историей развития отечественной авиации, является создателем теории осевых нагнетателей. Незадолго до смерти он создал Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ). Его последователи и ученики — И. И. Куколевский, Г. Ф. Проскура, К. А. Ушаков, В. И. Поликовский и др. — проводили исследования центробежных вентиляторов и их работы в сети, создали метод расчета, получивший имя ЦАГИ, который давал надежные результаты для распространенных в то время машин. На основании исследований 1941–1950 гг. были разработаны новые центробежные вентиляторы с лопатками, загнутыми назад, у которых максимальное значение к. п. д. достигало 80%. Эти вентиляторы широко использовались и заменили вентиляторы с лопатками, загнутыми вперед, имевшие распространение в 1931–1940 гг., так как максимальный к. п. д. последних не превышал 70%. Дальнейшие систематические исследования проводились в ЦАГИ, в Московском отделении Центрального котлотурбинного института им. И. И. Ползунова (ЦКТИ), в Государственном тресте по организации и рационализации районных электрических станций и сетей (ОРГРЭС), в Институте горной механики и технической кибернетики им. М. М. Федорова (ИГМ и ТК), и за рубежом Пфляйдерером, Цейнером, Стодолом, Шиплеем, Эком и др. Эти исследования подготовили следующий шаг в усовершенствовании аэродинамических схем центробежных вентиляторов. В 1955–1960 гг. были разработаны новые схемы центробежных вентиляторов с сильно загнутыми назад листовыми и профильными лопатками. Такие вентиляторы имеют к. п. д., достигающий 85–88%, и широко используются в настоящее время. В последние годы в системах вентиляции широкое распространение получили канальные вентиляторы. Последняя конструкция канального вентилятора представляет собой центробежный вентилятор со свободно расположенным рабочим колесом без кожуха, который применяется в центральных кондиционерах.

При разработке конструкций насосов и компрессоров отечественные инженеры использовали опыт США, Германии и других промышленно развитых стран.

Для вращения рабочего колеса вентиляторов и насосов, первоначально использовалась ручная сила, затем энергия воды и пара, в том числе и для компрессоров, и только в начале XX в. в связи с открытиями и изобретениями в области электротехники стали использовать электродвигатели. XX в. называют также веком электричества. Ни один кондиционер, холодильная машина, насос и вентилятор не могут работать без электродвигателя. Известны работы зарубежных и русских изобретателей в создании первых источников электрического света, электродвигателей и установок для передачи электрической энергии, без которых невозможно было осуществить кондиционирование воздуха.

В 1831 г. английский физик Майкл Фарадей, анализируя результаты опытов датского физика Х. К. Эрстеда, пришел к открытию явления электромагнитной индукции. Исследование Фарадея и работы русского академика Э. Х. Ленца, сформулировавшего закон, по которому можно было определить направление электрического тока, возникающего в результате электромагнитной индукции, дали возможность создать первые электромагнитные генераторы и электродвигатели. Вначале электрогенераторы и электродвигатели развивались независимо друг от друга как две совершенно разные

машины. В 1833 г. Э. Х. Ленц установил закон обратимости электрической машины: если ее присоединить к двигателю и раскрутить, машина станет генератором электроэнергии; если подключить к источнику тока — будет работать как электродвигатель. Вместе с Э. Х. Ленцем русский изобретатель-электротехник Б. С. Якоби исследовал действие электромагнитов и написал первый в мире труд по теории электрических машин постоянного тока. В 1834 г. Б. С. Якоби изобрел и построил первый электродвигатель — машину, превращающую в работу энергию электрического тока.

Промышленные электрические машины начали выпускаться в 1860–1870 гг., чему предшествовал 30-летний период их разработки после фундаментальных открытий М. Фарадея. Исторически первыми появились машины постоянного тока, промышленное освоение которых началось после изобретения замкнутой обмотки кольцевого якоря (А. Пачинотти, З. Грамм) и электромагнитного возбуждения (В. Сименс). Примерно до 1890 г. была эра машин постоянного тока, хотя началось освоение и машин переменного тока. Соперничество между постоянным и переменным током продолжалось много лет. В начале 80-х гг. XIX в. развитие промышленности и концентрация производства все более настоятельно требовали создание нового двигателя, более совершенного, чем широко распространенная паровая машина. Строительство электростанций вблизи месторождений угля или на реках с большим падением воды, а фабрик — поближе к источникам сырья требовало передачи огромного количества электроэнергии на значительные расстояния. Такая передача была бы целесообразна лишь при напряжении в десятки тысяч вольт, которое было невозможно получить в генераторах постоянного тока. Первоначально использовали генератор постоянного тока и трансформатор. Появилась необходимость в разработке для потребителей электродвигателей переменного тока.

В середине 80-х гг. XIX в. создать электродвигатели переменного тока пытались многие физики и инженеры: Бейли (1879 г.), Марсель Депре (1883 г.), Бредли (1887 г.), Венстром, Хазельвандер и др., однако их электродвигатели были либо громоздки и неэкономичны, либо сложны и ненадежны. Принцип построения простых экономичных и надежных электродвигателей переменного тока был найден практически одновременно итальянским инженером Г. Феррарисом и американским инженером, сербом по происхождению, Н. Теслой. Используя принцип вращающегося магнитного поля, заставляющего вращаться обмотку статора, Н. Тесла построил специальный источник двухфазного тока (двухфазный генератор) и такой же двухфазный электродвигатель. В своих патентных заявках он упоминал о многофазных токах и возможности их применения. Финансовая поддержка Д. Вестингхауса позволила начать промышленное производство двухфазных асинхронных двигателей.

Почти в то же время, а именно 18 марта 1888 г., в Туринской Академии наук Г. Феррарис сделал доклад «Электродинамическое вращение, произведенное с помощью переменных токов». В нем он рассказал о своих опытах и пытался доказать, что нецелесообразно использовать переменные магнитные поля для практических целей из-за низкого значения коэффициента полезного действия, который у него ошибочно получился очень низким. Доклад Феррариса опередил сообщение Н. Теслы в Американском институте электроинженеров. Но заявка, поданная для получения патента еще в октябре 1887 г., свидетельствует о несомненном приоритете Н. Теслы перед Г. Феррарисом. Заслуга Н. Теслы заключается в том, что, несмотря на множество препятствий и скептическое отношение к переменному току, он практически доказал целесообразность применения многофазного тока.

Решающее влияние на борьбу систем постоянного и переменного тока оказали предложенные М. О. Доливо-Добровольским система трехфазного тока (1889 г.) и трехфазный асинхронный двигатель (1890 г.). М. О. Доливо-Добровольский родился в России, где провел юношеские годы. После окончания обучения в Дармштадском техническом училище работал в Германии. Им была разработана система трехфазного переменного тока. Эта система включала гидроэлектростанцию в Лауфене, на которой был установлен трехфазный генератор мощностью около 190 кВт с повышающей подстанцией, и понижающую подстанцию во Франкфурте. В середине 1891 г. было закончено сооружение 175-киллометровой линии передачи электроэнергии от водопада на реке Неккар

вблизи Лауфена на выставку в город Франкфурт-на-Майне. 25 августа на этой выставке впервые загорелось около 1 000 электрических ламп накаливания, а 12 сентября был включен асинхронный двигатель трехфазного тока, приводивший в действие насос для подачи воды к декоративному водопаду. Испытания линии передачи и всей системы, проведенные международной комиссией в октябре 1891 г., показали, что возможно и экономически целесообразно применять систему трехфазного переменного тока. Эти изобретения особенно четко выявили преимущества системы переменного тока в производстве электроэнергии, передаче электроэнергии на большие расстояния при повышенном напряжении (с повышением напряжения в начале линии передачи и снижением его в конце линии с помощью трансформатора), преобразовании электрической энергии в механическую с помощью дешевых и надежных асинхронных двигателей.

Начало XX в. ознаменовано победой системы переменного тока, несмотря на то, что машины постоянного тока тоже были усовершенствованы: появились добавочные полюса и компенсационная обмотка. Асинхронные двигатели переменного тока приводят во вращение компрессоры, вентиляторы, насосы и т. п. Однако и электродвигатели постоянного тока не были вытеснены окончательно. Они оказались необходимы там, где требуется регулирование скорости вращения в широких пределах, и в последние годы интерес к ним значительно вырос.

В 20-е годы XX в. появились ртутные выпрямители, с которыми связаны первые попытки заменить коллекторные двигатели постоянного тока бесколлекторными машинами переменного тока, работающими от статических преобразователей частоты. Появляются первые схемы вентильных двигателей, разрабатывается теория частотного регулирования, в которую большой вклад внесли такие советские ученые, как М. П. Костенко, Д. А. Завалишин, Б. Н. Тихменев, А. А. Булгаков, Е. Л. Этингер и др. Однако статические преобразователи на ионных вентилях — игнитронах и тиратронах — оказались очень сложными и ненадежными в работе, и их серийное производство не удалось наладить ни одной компании в мире. Применение ртутных выпрямителей также было ограниченным из-за сложности эксплуатации и необходимости соблюдения строгих мер безопасности от возможного отравления ртутью.

В 1955–1958 гг. появились мощные полупроводниковые вентили — диоды и тиристоры, практически вытеснившие ртутные выпрямители. Они были надежными и почти не нуждались в обслуживании. Появление тиристоров создало предпосылки для замены двигателей постоянного тока бесколлекторными, и возродило мечту о частотном регулировании асинхронных и синхронных двигателей. Однако и тиристорные преобразователи частоты существенно увеличили стоимость электродвигателя, уменьшили его надежность, увеличили шум. Электродвигатель с частотным регулированием получил распространение только после создания следующего поколения полупроводниковых вентилей — мощных силовых транзисторов и других полностью управляемых вентилей.

Развитие отечественной индустрии кондиционирования воздуха

Начиная с 1930 г., в связи с индустриализацией СССР, установками кондиционирования воздуха оборудуются предприятия точного машиностроения, пищевой, полиграфической, радиоэлектронной, тяжелой промышленности (пульты управления печей, станков, кабин крановщиков). До 1955 г. отсутствовало серийно выпускаемое оборудование, установки кондиционирования воздуха разрабатывались по индивидуальным проектам и, как следствие, имели высокую стоимость. В 1938 г. под руководством Н. С. Ермолаева для Дворца съездов в Москве были разработаны проекты кондиционеров, но работы по их реализации были приостановлены в начале Великой Отечественной войны. После окончания войны продолжением этих работ стало проектирование систем кондиционирования воздуха в высотных зданиях Москвы и разработка и выпуск для них центральных кондиционеров, в частности в зданиях МГУ на Ленинских горах под руководством Т. А. Мелик-Аракеляна. К этому же времени относятся создание единичных центральных установок кондиционирования воздуха в Ленинграде.

В 1956–1957 гг. в НИИСТО под руководством Е. Е. Карписа разработана серия типовых центральных кондиционеров, а Харьковский машиностроительный завод «Кондиционер» начал серийный выпуск центральных кондиционеров из типовых секций производительностью 10, 20, 40 и 60 тыс. м³/час, а также нескольких типоразмеров местных агрегатов производительностью от 0,5 до 3,5 тыс. м³/час воздуха. Было положено начало отечественной промышленности кондиционеростроения. Применение типового оборудования способствовало снижению капитальных, эксплуатационных затрат и сокращению сроков монтажа кондиционеров. Строительство в 60-е годы XX в. заводов искусственного волокна, химических заводов, полупроводниковой радиоэлектроники, военной и космической техники, а также новых типов общественных зданий потребовало развития массового производства центральных кондиционеров. С 1965 г. началось проведение единой политики в области разработки и промышленного производства кондиционеров. В подчинении министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения СССР было создано производственное объединение «Кондиционер» и Всесоюзный научно-исследовательский институт «Кондиционер». В объединение вошли: Харьковский машиностроительный завод «Кондиционер», производивший центральные кондиционеры КТЦ производительностью по воздуху 31,5–250 тыс. м³/час и Кд производительностью по воздуху 10 и 20 тыс. м³/час, а также Домодедовский машиностроительный завод, освоивший серийное производство местных агрегатных неавтономных и автономных шкафных и крановых кондиционеров производительностью от 0,5 до 20 тыс. м³/час. В 60-е гг. для уникальных зданий стали использовать оборудование ведущих западных производителей кондиционеров.

После распада СССР Харьковский завод оказался за границей, его преемником стала фирма ООО «Веза», созданная в 1995 г. и освоившая производство каркасно-панельных центральных и автономных шкафных кондиционеров. В настоящее время в России открыто производство центральных кондиционеров и другого оборудования кондиционеров на нескольких заводах, включая заводы ведущих мировых компаний, таких как «Йорк», VTC KLIMA и др. Узкая специализация высокотехнологического производства и мировая интеграция определили специфику выпускаемого в настоящее время оборудования центральных кондиционеров, как отечественного, так и зарубежного, — они собираются из функциональных блоков, производимых несколькими ведущими в мире компаниями: блоков увлажнения, вентиляторных агрегатов, воздуховоздушных теплообменников, водовоздушных теплообменников. Домодедовский машиностроительный завод, преобразованный в производственное объединение «Докон», продолжая выпускать шкафные кондиционеры, в том числе и для медицинских учреждений, осваивает новые виды продукции, например водоохлаждающие холодильные машины.

Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха

Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха, создание прикладной науки кондиционирования воздуха появилось как объективная необходимость развития техники для разработки новых конструкций агрегатов, повышения их эффективности с учетом требований защиты окружающей среды и экономии энергии.

Впервые термин «кондиционирование воздуха» был употреблен в 1815 г., когда француз Жанн Шабаннес получил британский патент на метод «кондиционирования воздуха и регулирования температуры в жилищах и других зданиях». Одним из создателей основ кондиционирования воздуха можно назвать М. Ломоносова, с именем которого связана разработка теории теплоты и теории движения воздуха в каналах и трубах, а также Рихмана, заложившего основы теории психрометрии, определяющей для кондиционирования воздуха. Основные принципы кондиционирования воздуха были впервые сформулированы профессором Берлинского королевского технологического института Германом Ритшелом, когда он в 1894 г. опубликовал «Руководство по расчету и проектированию установок вентиляции и отопления». В этой книге был раздел, посвященный охлаждению

помещений. Впервые были определены основные положения: расчет нагрузки на систему охлаждения, первая и вторая рециркуляция воздуха, возможность охлаждения воздуха с осушением, необходимость применения байпаса при охлаждении воздуха, формулы для расчета расхода приточного воздуха, расчета воздухоохладителя, пример расчета охлаждения помещения. Принципы Ритшела получили развитие в выступлении американского инженера Г. Эйсера «Охлаждение закрытых помещений» на собрании Американской ассоциации инженеров по отоплению и вентиляции в 1896 г. и в проектах одного из ведущих в то время инженеров Альфреда Вольфа, разработавшего проекты охлаждения помещений медицинского колледжа (1899 г.), фондовой биржи в Нью-Йорке (1901 г.), национального банка в Ганновере (1903 г.). Идея байпаса охладителя реализована Вудбриджем в здании Капитолия США (1895 г.) и впоследствии в Венском театре (1909 г.).

Прообразами систем кондиционирования воздуха можно считать приточные установки с увлажнением воздуха при помощи открытых наполненных водой сосудов, предложенные Флавицким и применявшиеся в зданиях больниц Петербурга. Он первым показал необходимость учета совместного действия на человека температуры, относительной влажности и подвижности воздуха в 1861 г.

Как упоминалось выше, Кэрриер исследовал и анализировал процессы тепло- и массообмена между воздухом и чистой водой, а также раствором хлористого кальция в камере орошения, а в 1911 г. опубликовал психрометрическую диаграмму влажного воздуха t - x (температура по сухому термометру — влагосодержание). В 1918 г. русский профессор Л. К. Рамзин разработал i – d диаграмму влажного воздуха (энтальпия – влагосодержание). В странах Европы обычно применяют I - x диаграмму влажного воздуха (энтальпия — влагосодержание) француза Молье, которая была им опубликована в 1921 г. Впервые на уровне международного сотрудничества признается приоритет России в лице профессора Л.М. Рамзина (1918 г.) в построении i – d диаграммы влажного воздуха в изданном ЦНИИпромзданий совместно с фирмой «Daikin» в 1980 г. «Англо-русско-японском терминологическом словаре по кондиционированию воздуха»

В последующие годы исследованиями в области влагообмена между воздухом и водой занимались Льюис, Меркель, Вольф, Акерман. В 1922 г. Льюис в работе «Испарение жидкости в газ», анализируя случай испарения жидкости при установившемся состоянии, без подвода теплоты извне, вывел, что отношение коэффициента теплообмена к коэффициенту влагообмена равно теплосемкости влажного воздуха. В 1925 г. Меркель, построивший на основании соотношения Льюиса стройную теорию процесса испарительного охлаждения воды, проверил соотношение Льюиса, экспериментировав с небольшим охладителем воды, заполненным металлическими кольцами Рашига. Дальнейшие исследования Гильперта, Шроппома, Линге в 20–30-х гг. XX в. показали, что соотношение Льюиса при небольшой интенсивности теплообмена и невысоких температурах, имеющих место в аппаратах кондиционирования воздуха, можно считать справедливым. Заслугой Меркеля считают вывод основного уравнения теплообмена между воздухом и водой, названного уравнением Меркеля. Линге, проводя многочисленные опыты при контакте воздуха с растворами солей в 1929 г., показал, что парциальное давление водяных паров в пограничном слое воздуха над растворами солей значительно ниже, чем давление над чистой водой при той же температуре. Он доказал, что парциальное давление над раствором соли зависит только от температуры замерзания раствора и практически одинаково для растворов различных солей, имеющих одинаковую температуру замерзания.

Значительный вклад в развитие теоретических основ проектирования, разработки нового оборудования, совершенствования схемных решений внесли отечественные специалисты А. А. Гоголин, А. В. Нестеренко, Е. Е. Карпис, Е. В. Стефанов, В. И. Прохоров, П. В. Участкин, В. Н. Тетеревников, И. Г. Сенатов, А. Я. Креслинь, Л. М. Зусманович, И. Р. Щекин, А. Г. Сотников, А. А. Рымкевич, О. Я. Кокорин, Л. В. Петров, Б. И. Бялый и др. Научно-исследовательская и научно-организационная работа в СССР проводилась в крупных научно-исследовательских институтах: НИИсантехники, ГИПРОНИИполиграф, ЦНИИпромзданий, АКХ им. К. Д. Памфилова, НИИстройфизики.

В СССР в 30-е годы многочисленные эксперименты по исследованию тепло- и массообмена между воздухом и водой проводились под руководством А. А. Гоголина в ВНИХИ и непосредственно на производстве по испытанию воздухоохладителей — контактных аппаратов с насадкой из колец Рашига. Параллельно велись работы над испытанием и усовершенствованием конструкции поверхностных воздухоохладителей. В 1943 г. А. А. Гоголин был репрессирован и смог продолжить работу только после реабилитации в 1957 г. По материалам своих исследований в 1968 г. в НИИСантехники он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование процесса охлаждения и осушения воздуха в орошаемых регулярных насадках», впоследствии им была защищена и докторская диссертация. О. Я. Кокорин в июне 1955 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследование процессов тепло- и массообмена в форсуночных камерах». В 60-е гг. А. В. Нестеренко и его учениками изучались процессы тепло- и массообмена между поверхностью воды и воздухом в контактных аппаратах различного типа. Эти работы были продолжены в последующие годы Л. М. Зусмановичем, Л. В. Петровым и его учениками, изучавшими работу контактных аппаратов с использованием растворов абсорбентов при утилизации теплоты вторичных энергоресурсов. В эти годы большой объем экспериментальных исследований контактных аппаратов проводился в Ленинградском ВВИТКУ под руководством Е. В. Стефанова.

Теория расчета оребренных трубчатых теплообменников с использованием безразмерных комплексов была создана группой исследователей по результатам экспериментальных и аналитических работ, проводимых в научно-исследовательском институте Военно-морского флота США, в Стэндфордском университете, а впоследствии — в Комиссии по атомной энергетике США. С 1948 по 1954 гг. по результатам работ были опубликованы 22 доклада, изданы монография «Теплообменники газотурбинных установок», подготовленная В. Кейсом, А. Лондоном и Д. Джонсоном (1951 г.), и книга В. Кейса и А. Лондона «Компактные теплообменники» (1954 г.), русское издание которой вышло в 1962 г. Полученные данные оказались полезными при конструировании теплообменных устройств установок кондиционирования воздуха, авиационных охладителей, систем воздушного охлаждения мощных электронных приборов, ядерных установок, и не только рекуперативных, но и теплообменников другого типа. В 70–80-е гг. Б. И. Бялый и А. В. Степанов на основе обширных экспериментальных и теоретических исследований во ВНИИ «Кондиционер» создали две методики расчета камер орошения центральных кондиционеров КТЦ, основанные на решении дифференциальных уравнений, описывающих процессы тепло- и массообмена в контактных аппаратах с использованием безразмерных комплексов. В конце 70-х — начале 80-х гг. В. Н. Богословский и М. Я. Поз применили и развили эту теорию на основе теоретических и экспериментальных исследований к теплообменникам различного типа, используемых в системах регенерации и утилизации вторичной теплоты.

Важной частью системы кондиционирования воздуха является система автоматического регулирования заданных параметров микроклимата в помещении. Разработке теории автоматического регулирования применительно к системам кондиционирования воздуха посвящены работы Г. В. Архипова, А. Я. Кресля, Б. Н. Юрманова, А. Г. Сотникова, С. В. Нефелова, А. А. Рымкевича, М. Б. Халамайзера.

Подготовка специалистов по кондиционированию воздуха в нашей стране впервые началась на факультете «Теплогасоснабжение и вентиляция» Московского инженерно-строительного института (МИСИ). Дисциплина «Кондиционирование воздуха» формировалась в начале в контексте курса по вентиляции. Первые лекции читал доцент Н. В. Дегтярев — автор одной из первых отечественных книг «Кондиционирование воздуха», изданной в 1939 г. Важным событием стало издание в 1940 г. в качестве учебного пособия для технических вузов перевода книги Д. Мойера и Р. Фиттца «Кондиционирование воздуха» под редакцией профессора Н. С. Комарова, инженера И. В. Гохберга с дополнениями профессора П. Н. Каменева, где были даны ответы на многие сложные вопросы по новой для того времени технике кондиционирования воздуха. В предисловии было отмечено

но: «Выпуск настоящего перевода не снимает с повестки дня вопроса об издании отечественного систематизированного учебника по кондиционированию воздуха». Великая Отечественная война нарушила планы. Только в 1950 г. в Промстройпроекте Б. В. Баркаловым были разработаны технические указания по проектированию и расчету системы кондиционирования воздуха (СКВ). Впоследствии вышла книга Б. В. Баркалова и Е. Е. Карписа «Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях», выдержавшая два издания (1971 и 1982 г.). В этой книге обобщался опыт проектирования систем кондиционирования воздуха. Первое учебное пособие «Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха» было подготовлено В. Нестеренко и издано в 1962 г., впоследствии вышло еще второе (1965 г.) и третье (1971 г.) издание.

Самостоятельный курс «Кондиционирование воздуха» для студентов дневного и вечернего отделения МИСИ вели профессора А. В. Нестеренко, О. Я. Кокорин, Ю. Я. Кувшинов, доценты Л. В. Петров, В. А. Гоголин. В 1975 г. была разработана программа курса «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение», а в 1985 г. вышел первый учебник В. Н. Богословского, О. Я. Кокорина, Л. В. Петрова «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение». О. Я. Кокорин читал студентам спецкурс по энергосберегающей технологии функционирования систем вентиляции, отопления, кондиционирования воздуха (ВОК), что описано в его монографии «Энергосберегающие технологии функционирования систем вентиляции, отопления, кондиционирования воздуха» (1999 г.). В настоящее время он продолжает работать над созданием нового оборудования и энергосберегающих систем ВОК, что получило изложение в монографии «Современные системы кондиционирования воздуха» (2003 г.).

Совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха

Наряду с развитием оборудования и разработкой теоретических основ совершенствовались схемные решения систем кондиционирования воздуха для зданий различного назначения. В 1834 г. в здании английского парламента была смонтирована первая установка круглогодичного комфортного кондиционирования воздуха. В 1903 г. в Кельнском театре появилась установка с рассольным аккумулятором холода, что позволило сократить требуемую холодопроизводительность машины в 4–5 раз. Первичное охлаждение воздуха осуществлялось с помощью артезианской воды, используемой затем для охлаждения конденсаторов. В 1924 г. система кондиционирования воздуха была установлена в одном из универмагов Детройта, что способствовало привлечению покупателей.

Начиная с 1917 г. сразу в нескольких городах США появились первые театры и кинозалы, оборудованные системой кондиционирования воздуха, что привело к резкому росту их посещаемости в жаркие летние месяцы. В 1920-е гг. центральные системы комфортного кондиционирования воздуха обычно устраивались в театрах, гостиницах, торговых центрах, но мало были распространены в офисных и жилых зданиях. В первых небоскребах США были использованы системы естественной вентиляции. В реконструируемых зданиях в существующие системы приточной вентиляции встраивали воздухоохладители. В связи с разработкой и выпуском местных автономных кондиционеров в начале 20-х годов в офисных и гражданских зданиях преобладали местные системы кондиционирования воздуха. В 1930 г. большинство основных государственных учреждений США имели системы кондиционирования воздуха, в том числе Белый дом. В 30-е годы в США, а затем и в других странах, началось широкое применение комнатных, бытовых и шкафных автономных кондиционеров для жилых зданий.

Практически до середины 40-х годов системы кондиционирования гражданских зданий, в том числе офисных, это — центральные воздушные системы с местными рециркуляционными вентиляторами или температурными доводчиками. Система с температурными доводчиками применяется для помещений с высокими нагрузками по скрытой теплоте, для реконструируемых зданий с существующими системами водяного отопления, для новых зданий, в которых на первом этапе

предполагается осуществлять только отопление и вентиляцию, а охлаждение в более поздние сроки — посредством добавления воздухоохладителя в центральную установку. Наибольшее распространение получила, например, для музеев и картинных галерей.

Позже стали применять двухканальные системы кондиционирования воздуха. Это системы, в которых наружный воздух смешивается с рециркуляционным, смесь охлаждается и осушается летом, увлажняется зимой, делится на два канала и в каждом потоке устанавливаются соответственно воздухонагреватель и воздухоохладитель. Возможна обработка воздуха в двух параллельных установках. Нагретый и охлажденный воздух по двум каналам поступает в помещения, где смешивается в необходимом соотношении, чтобы обеспечить заданную температуру воздуха в помещении. В США и Европе двухканальные СКВ использовались значительно реже, чем водовоздушные, а в СССР практически не применялись.

Незадолго до окончания Второй мировой войны появились новые идеи и их воплощение в архитектуре, связанные с применением новых строительных материалов — бетона, алюминия, получаемого при утилизации военной техники, и тонированного стекла, предложенные Ле Корбюзье и Р. Беллучини. Возросли нагрузки на систему кондиционирования воздуха за счет солнечной радиации, требовались новые схемные решения. Для снижения теплопоступлений от солнечной радиации через окна использовали специальные окна, внутренние жалюзи, реже — наружные солнцезащитные устройства. Первая водовоздушная система с режимами охлаждения и отопления, включая использование теплового насоса, была спроектирована Д. Крокером в 1944 г. для здания в Портланде, архитектором которого был Р. Беллучини. В здании были предусмотрены водовоздушные поэтажные системы кондиционирования воздуха для каждого фасада и внутренней зоны, обеспечивающие автоматический контроль и поддержание заданных параметров воздуха в помещении. В течение 1948 г. в построенном и функционирующем здании проводились наблюдения, показавшие отличную работу системы и хорошие экономические показатели. Затраты на систему кондиционирования воздуха выросли на 10–25% по сравнению с обычными системами отопления и вентиляции. В качестве местных агрегатов использовались эжекционные доводчики, в том числе в зданиях послевоенной постройки, например в здании ООН в Нью-Йорке. Еще в 1920 г. у В. Кэрриера возникла идея создать местные агрегаты — комнатные терминалы для снижения общего расхода приточного воздуха путем подачи первичного воздуха в меньшем количестве с низкой температурой и последующего смешения его с вторичным воздухом помещения. В 1937 г. эта идея получила развитие, и в 1940 г., за месяц до вступления США в войну, он получил патент на эжекционный доводчик «Carrier weathermaster». Преимуществами этой системы были: размещение местных агрегатов под окнами, где теплопотери и теплопоступления достигают наибольшего значения; вода оказалась более экономичным теплоносителем, чем воздух; не требовалось пространства для прокладки вертикальных воздухопроводов, высокие скорости воздуха обеспечивали малые размеры воздухопроводов.

Сочетание бетонных стен, тонированных стекол, внутренних жалюзи с периметральной системой кондиционирования воздуха высокого давления с эжекционными доводчиками стало тиражироваться на протяжении последующих 20–30 лет во многих зданиях. В начале 60-х годов, с началом бума строительства новых зданий из стекла и бетона, наибольшее распространение получили водовоздушные системы кондиционирования воздуха с эжекционными доводчиками. Система кондиционирования воздуха с эжекционными кондиционерами-доводчиками получила распространение и в СССР, где она называлась местно-центральной. Создателем этой системы стал О. Я. Кокорин в тесном сотрудничестве с Я. Г. Кронфельдом (Моспроект-2). Наиболее полно энергосберегающую технологию этих систем удалось реализовать в 1983 г. в новом здании Госстроя СССР (сейчас здание Совета Федерации). Расходы теплоты снизились на 60% по сравнению со зданиями аналогичного назначения (здания на Новом Арбате). В дальнейшем такие системы устраивались в новых гостиницах, общественных зданиях и цехах точного машиностроения.

В водовоздушных системах, в отечественной практике называемых местно-центральными, в кондиционируемое помещение вводится воздух, обработанный в центральном кондиционере, и вода, несущая тепло или холод. Водовоздушные системы применяются для помещений со значительными явными тепловыделениями, где не требуется жесткое поддержание заданного значения относительной влажности воздуха. Они хорошо себя зарекомендовали за рубежом в офисных зданиях, больницах, гостиницах, школах, жилых зданиях, исследовательских лабораториях, могут применяться в многозональных производственных помещениях точного машиностроения, радиотехнической, фармацевтической, пищевой промышленности и т. д. В последние годы получили широкое распространение в России. В водовоздушных системах в качестве местных агрегатов, устанавливаемых в помещении, применяют эжекционные доводчики, вентиляторные доводчики, напольные конвекторы и охлаждающие панели.

В 70-х годах вентиляторные доводчики (фэнкойлы), патент на которые был получен Р. Трейнсом еще в 1932 г., заменили и практически вытеснили эжекционные доводчики. Эта система имеет следующие преимущества: подача минимального расхода наружного воздуха в помещение, система среднего давления, меньше расход электроэнергии, отсутствие шума от сопел. Правда, шум создают вентиляторы, встроенные в фэнкойлы.

К концу 60-х годов XX в. в качестве альтернативы СКВ с вентиляторными доводчиками появилась воздушная система кондиционирования воздуха с переменным расходом воздуха. В 70–80-х годах системы с переменным расходом воздуха стали преобладающими в офисных зданиях, построенных в США в течение строительного бума 80-х годов, в Европе они получили меньшее распространение, а в СССР — практически не применялись. Общая площадь зданий, обслуживаемых системами кондиционирования воздуха в Германии в 1960–1998 гг., распределялась по типу систем таким образом:

- одноканальные воздушные системы — 10%;
- двухканальные воздушные системы — 18%;
- системы с переменным расходом воздуха — 19%;
- водовоздушные системы (четырехтрубные — 24%, двухтрубные — 22%);
- другие системы — 7%.

В связи с загрязнением атмосферы, необходимостью защиты от уличного шума в настоящее время значительно расширилась сфера применения комфортных систем кондиционирования воздуха (СКВ) в зданиях различного назначения. В СССР, из-за экономических соображений, нормы ограничивали круг помещений в зданиях, где предусматривалось устройство систем кондиционирования воздуха, в зависимости от климатического района строительства, на которые была разделена территория Советского Союза. В настоящее время заказчик или инвестор строительства сам определяет уровень требований поддержания расчетных внутренних условий в помещениях здания, которые при высоком уровне требований могут обеспечиваться только работой системы кондиционирования воздуха.

В России системы кондиционирования воздуха в офисных зданиях стали применять только в последние годы в связи со стремлением к повышению качества жизни, улучшению условий труда, защиты от загрязнения атмосферы, борьбы с уличным шумом. В настоящее время наибольшее распространение в офисных зданиях России получили системы с вентиляторными доводчиками (фэнкойлами).

В США кондиционирование воздуха в жилых зданиях начало быстро внедряться с 1964 г. — через 10 лет после стремительного развития кондиционирования воздуха для общественных зданий. До недавнего времени в европейских странах оконные и мобильные автономные кондиционеры для охлаждения отдельных комнат использовали сравнительно мало. Это объясняется более прохладным климатом, меньшей продолжительностью периода охлаждения, малыми объемами производства оборудования для СКВ, а также высокими эксплуатационными и капитальными

затратами. Автономные оконные кондиционеры обладают двумя существенными недостатками: они создают повышенный уровень шума и ухудшают внешний вид здания при установке их в большом количестве. В США в многоэтажных многоквартирных жилых зданиях используют водовоздушные СКВ с вентиляторными доводчиками (фэнкойлами), с отопительно-охладительными панелями.

В настоящее время кондиционирование воздуха стало необходимым элементом инженерного оборудования жилых зданий. Специалисты все больше приходят к необходимости устройства механической регулируемой приточно-вытяжной вентиляции с регенерацией теплоты удаляемого воздуха в жилых зданиях. Опыт использования таких установок имеется в некоторых странах Европы, например, Германии, Швеции, Австрии.

В связи с остро стоящей энергетической проблемой в последние годы в Европе разрабатывают децентрализованные системы кондиционирования воздуха с регенерацией теплоты удаляемого воздуха и смешанные системы с использованием естественной вентиляции — «ночное проветривание», а также потенциала наружного воздуха для получения холодной воды — косвенное и комбинированное испарительное охлаждение (здание «Городские ворота Дюссельдофа»).

Требования к системам кондиционирования воздуха

На начальном этапе проектирования системы обеспечения микроклимата перед проектировщиком стоит проблема выбора принципиального решения системы кондиционирования воздуха, основное назначение которой — создавать и поддерживать заданные параметры микроклимата в объеме помещений здания. При этом система кондиционирования воздуха должна в той или иной мере отвечать следующим требованиям: комфортные и технологические, технические, конструктивные, экономические, эксплуатационные, производственно-монтажные. Нет идеальных систем, которые в равной степени отвечали бы всем перечисленным требованиям. Приоритеты заказчика, определяемые собственными целями — чаще всего конструктивные, экономические и производственно-монтажные требования, — не всегда совпадают с приоритетами потребителей (людей и производства) — комфортными и технологическими, а также техническими требованиями. Техническое решение будет хорошим, если учтен максимум требований.

Комфортные и технологические требования

Комфортные условия микроклимата предполагают постоянное поддержание в зоне пребывания людей определенных сочетаний температуры и относительной влажности воздуха; отсутствие духоты, сквозняков, холодных токов воздуха; низкий уровень шума (согласно требованиям в зависимости от назначения помещения); подачу свежего обработанного воздуха в размере, необходимом для обеспечения в помещении качественной воздушной среды, свободной от пыли, запахов и т. д. Повышение комфортности при наличии систем кондиционирования воздуха является дополнительным преимуществом при покупке и аренде жилых, офисных, торговых залов и помещений, рыночная стоимость которых постоянно растет.

Технология производства продукции выдвигает определенные требования к параметрам микроклимата, от которых в значительной степени зависит качество продукции, ее выход, уменьшение количества отходов, производительность труда работающих. Таким образом, системы кондиционирования воздуха являются реальным рычагом воздействия на прибыль производства.

Технология одних производств выдвигает требования точного поддержания температуры воздуха в помещении (прецизионные цеха, инструментальные, лаборатории контроля качества и т. д.). В иных производственных помещениях требуется заданное поддержание относительной влажнос-

ти воздуха (текстильные производства, изготовление фото- и киноплёнки, полиграфическое дело и т. д.). Производство таких пищевых продуктов, как пиво, вино, хлеб, кондитерские изделия, молоко, мясо, рыба и т. д. требует поддержания комплекса параметров температуры и относительной влажности воздуха. Технология особых производств (фармакология, производство продуктов питания, электронных микросхем и т. д.) требует высокую чистоту воздуха.

Особое значение имеет поддержание температуры и относительной влажности в музеях, архивах, библиотеках для сохранности памятников культуры, старинной мебели, ценных книг, рукописей, тканей и т.д.

Технические требования

Технические требования состоят в том, чтобы СКВ соответствовала требуемой производительности по воздуху, холоду, теплоте согласно заданному уровню требований к обеспеченности параметров микроклимата, в согласованной работе СКВ с системами, определяющими ее функционирование — источниками холода, теплоты, воды, электроэнергии; с другими системами инженерного оборудования — освещения, отопления, горячего водоснабжения, в безопасности для жизнедеятельности. Производительность системы в значительной степени зависит от уровня требований к поддержанию параметров микроклимата, она может быть снижена при менее жестких требованиях к параметрам микроклимата или повышена при возрастании этих требований.

Производительность системы должна быть определена точным расчетом при максимальных нагрузках. Сама система и ее подсистемы (тепло- и холодоснабжения, водоснабжения и электро-снабжения) должны предусматривать возможность гибкого изменения производительности при изменяющихся нагрузках в каждом конкретном помещении или отдельной зоне. При выборе системы кондиционирования воздуха и определении ее производительности очень важно учитывать нагрузку на отопление и расход вентиляционного воздуха, определяющий чистоту воздуха в помещении, возможность увеличения производительности при расширении производства или достройке отдельных частей здания. Требования по экологии и пожаробезопасности должны быть учтены при выборе типа системы.

Архитектурно-строительные и конструктивные требования

Архитектурно-строительные требования, связанные с размещением в здании основных и вспомогательных элементов системы кондиционирования воздуха, необходимо учитывать при планировке здания, разработке интерьеров и оформлении фасадов. Система кондиционирования воздуха и ее подсистемы в большей или меньшей степени требуют места для установки оборудования и прокладки инженерных коммуникаций (воздуховодов, трубопроводов, электрических проводов) и, таким образом, занимают строительный объем и должны предусматривать возможность обслуживания. Это могут быть отдельные помещения для размещения центральных установок в подвале, на техническом этаже под крышей или между этажами, площадки на крыше или во дворе здания, пространство подшивного потолка, фальшпола. Отдельные элементы СКВ — воздухораспределители, внутренние блоки, фэнкойлы, панели отопления и охлаждения — всегда будут видимыми в помещении. Эти элементы должны гармонировать с интерьером, не должны быть источниками шума в помещении и мешать размещению мебели. Часть элементов (чиллеры, конденсаторы, воздухозаборы, наружные блоки, охладители конденсаторов и т. д.) оказываются видимыми снаружи здания, влияют на его облик. Конструктивные требования состоят в том, чтобы статические и динамические нагрузки от оборудования СКВ не превышали максимально допустимой нагрузки для несущих конструкций перекрытия, фундаментов или отдельных площадок для размещения оборудования, габариты оборудования должны быть согласованы с размерами монтажных проемов.

Экономические требования

Экономические требования состоят в разумных затратах средств на создание и функционирование СКВ. Затраты складываются из единовременных и эксплуатационных затрат. Единовременные затраты включают стоимость самой СКВ, источников теплоты, холода, системы водоподготовки, системы тепло-холодоснабжения, электроснабжения, автоматического регулирования, строительного объема, занимаемого основным оборудованием и вспомогательными элементами. Эксплуатационные затраты состоят из стоимости электрической и тепловой энергии, стоимости топлива, воды и водоподготовки, стоимости ремонта и межремонтного обслуживания, амортизации оборудования, непосредственно связанной с ожидаемым сроком службы системы, заменой оборудования или отдельных ее компонентов, стоимостью обслуживания (стоимость лицензии на обслуживание, необходимых материалов (химикатов, масла, фреона и т. д.), рабочей силы и т. д.). Применение элементов системы кондиционирования воздуха, обеспечивающих экономию энергии и топлива: энергосберегающие вентиляторы, чиллеры, насосы, оборудование регенерации теплоты удаляемого воздуха, использование потенциала наружного климата, тепловых насосов, аккумуляторов теплоты неизбежно связано с увеличением единовременных затрат на систему кондиционирования воздуха. Здесь очень важно определить приоритеты заказчика, что для него важно — экономия эксплуатационных затрат при возрастании единовременных или, при ограниченных первоначальных средствах, значительные эксплуатационные расходы при функционировании системы. Если заказчик сдает помещения в аренду, то эксплуатационные затраты он включает в арендную плату. Если же он сам эксплуатирует здание, то для него немаловажно, какими будут эксплуатационные расходы. Основным критерием должен быть комплексный показатель (см. Главу 2).

Производственно-монтажные требования

Производственно-монтажные требования непосредственно связаны с долей единовременных затрат на монтаж системы, а также долей эксплуатационных затрат на обслуживание и ремонт всей системы и ее элементов. Использование моноблоков, изготовленных в заводских условиях, может значительно снизить трудоемкость, сроки и стоимость монтажа системы кондиционирования воздуха и ее подсистем, равно как и использование всего набора оборудования одного производителя.

Эксплуатационные требования

Эксплуатационные требования состоят в надежности и управляемости системы. Надежность работы СКВ особенно важна при технологическом кондиционировании воздуха, когда не допустимы отказы по условиям протекания технологического процесса. Надежность зависит от типа системы и ее подсистем. Надежность — это свойство объекта, выполняющее заданные функции, сохраняя во времени свои эксплуатационные показатели в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования.

Надежность системы, состоящей из отдельных групп элементов (центральный кондиционер, холодильная машина, теплогенератор, теплообменники, насосные станции), можно рассматривать как в целом, так и ее отдельных элементов (вентиляторы, фильтры, компрессоры, котел и т. д.). Отказ даже небольшого элемента может привести к полному отказу системы. Для повышения надежности следует предусматривать резервирование оборудования или отдельных его элементов: электродвигателей, компрессоров, что связано с увеличением единовременных затрат. Под управляемостью понимают свойство системы обеспечивать в автоматическом режиме заданные параметры микроклимата при внутренних и внешних возмущающих воздействиях.

Особенности выбора системы кондиционирования воздуха в зданиях различного назначения

Часто в литературе приводят примеры решений систем кондиционирования воздуха для отдельных помещений или их группы в зданиях определенного назначения — исторически сложилось,

что этот путь дает возможность учесть определенную специфику конкретного помещения. Однако такие примеры не могут рассматриваться как стереотип, так как для конкретного помещения при изменении отдельных составляющих нагрузки, например теплопоступлений от солнечной радиации, может принципиально измениться требуемая последовательность обработки воздуха и необходимый воздухообмен, так же, как и при выборе соответствующей схемы организации воздухообмена. Тем более что технологическая схема обработки воздуха в значительной степени определяется климатическими особенностями района строительства.

Представляется возможным выделить общую методику проектирования СКВ независимо от назначения помещения. В то же время при выборе и определении исходных данных для проектирования необходимо учитывать специфику, которая отличает помещения отдельного назначения, а именно:

- расчетные параметры внутреннего воздуха, определяемые условиями технологии, и допустимые их колебания;
- качественный состав внутреннего воздуха;
- величины избыточной теплоты, влаги, вредных газов в помещении;
- количество воздуха, удаляемого местными отсосами от технологического оборудования;
- схемы организации воздухообмена;
- особенности объемно-планировочных и конструктивных характеристик помещения.

Системы комфортного кондиционирования воздуха

Основное назначение систем комфортного кондиционирования воздуха — обеспечить чистоту воздуха и условия теплового комфорта в помещениях здания. Обычно это системы кондиционирования воздуха жилых и гражданских зданий, отдельных локальных зон производственных зданий, таких как кабины крановщиков горячих цехов, помещения пульта управления электростанций и т.д.; в производственных зданиях обычно требуются комбинированные СКВ: технологические и комфортные. Не претендуя на полноту охвата всего многообразия гражданских зданий, отметим некоторые особенности, которые следует учитывать при проектировании систем кондиционирования воздуха в некоторых типах зданий.

Кондиционирование воздуха в театрах

Современные большие театры имеют от 2 до 5 тысяч мест. В XIX веке театры в большинстве случаев строили многоярусными (не менее трех ярусов). В театре имеются: зрительный зал, вестибюль, фойе, комнаты отдыха, курительные, санитарные узлы, а также артистические, административные, служебные и подсобные помещения. Кондиционирование воздуха устраивается в зрительном зале, кулуарах, фойе, комнатах для отдыха, артистических и административных помещениях.

В зрительных залах театров особое внимание следует уделить выбору системы воздухораспределения. Человек, вынужденный сидеть спокойно на месте, очень восприимчив к изменениям температуры и потокам воздуха. Система воздухораспределения помещения должна сочетаться с архитектурно-композиционным решением зала и его декором. Высокое качество этого решения является синтезом архитектурных, технологических и инженерных решений и средств их реализации. До того как в театрах было применено охлаждение воздуха, общепринятым способом вентиляции была подача воздуха из воздуховодов или камеры статического давления, проложенных под полом, снизу через решетки или специальные воздухораспределители в виде «грибков», располагаемые в полу под креслами зрителей, в вертикальных плоскостях ступеней каждого ряда амфитеатра, через спинки кресел. Пройдя через зрительный зал, воздух удалялся через решетки в потолке. Эта схема распределения воздуха получила название «снизу–вверх». В России такая схема

воздухораспределения устроена в Большом зале Консерватории (1895 год, Москва) и в Концертном зале им. П. И. Чайковского (1940 год, Москва). Эта схема была рекомендована для залов летних театров, не оборудованных кондиционированием воздуха, и театров круглогодичного функционирования при воздушном отоплении, совмещенном с системой вентиляции. Ограничение было связано с тем, что при рабочей разности температур более 2°С, что характерно для охлаждения воздуха, зритель находился в условиях, способствующих простудным заболеваниям. В России с 1940 года при строительстве зрелищных зданий эти системы больше не применялись, а предпочтение было отдано схемам распределения воздуха «сверху-вниз», «сверху-вверх» и «сверху-вниз и вверх», которые были рекомендованы для театров с круглогодичным функционированием в северных и центральных районах и для летних театров, если применялось искусственное охлаждение воздуха. Схему «сверху-вниз» применяли в зрительных залах с нависающими балконами, «сверху-вверх» и «сверху-вниз и вверх» — в зрительных залах партерно-амфитеатрового типа без балконов или с одним, двумя балконами, имеющими до пяти рядов. В многоярусных залах (не менее трех ярусов) было рекомендовано применять многозональную схему воздухораспределения с подачей приточного воздуха зонами в ярусы и удалением воздуха через потолочные решетки, частично из нижней зоны, если туда по конструктивным ограничениям не удастся подать приточный воздух. По такой схеме выполнена вентиляция зрительного зала Малого театра в г. Москве.

В европейских государствах системы воздухораспределения с подачей воздуха в обслуживаемую зону и с верхним удалением нашли широкое применение не только при новом строительстве и реконструкции зданий, но и при восстановлении зданий, разрушенных войной.

Так, системы с подачей воздуха «снизу-вверх» были применены в Германии при строительстве таких зрелищных зданий, как Театр оперы и балета г. Лейпцига, Дворец культуры г. Дрездена и Дворец съездов г. Берлина, при реконструкции Немецкого театра г. Веймара, Театра оперы и балета г. Берлина, а также при восстановлении из руин Театра оперы и балета г. Дрездена. В Театре оперы и балета г. Дрездена, зрительный зал которого всегда был многоярусным, для создания в каждом ярусе камеры статического давления определенной высоты было принято решение о сокращении с этой целью одного яруса.

В Венгрии при строительстве нового театра в г. Дюор и восстановлении в Кремлевском замке г. Будапешта театра под названием «25-й театр» была запроектирована и установлена система воздухораспределения по схеме «снизу-вверх».

В Чехословакии при реконструкции Словацкого национального театра г. Братиславы и при восстановлении Народного театра г. Праги вместо ранее существующих систем, решенных по схеме «сверху-вверх-вверх», были запроектированы системы по схеме «снизу-вверх-вверх».

Во всех перечисленных театрах раздача воздуха в обслуживаемую зону зала осуществляется или с помощью воздухораспределяющих устройств — «грибков», — или перфорированных (с диаметром отверстий 4,0 мм) воздухораспределителей, расположенных под креслами зрителей, а порой встроенных в конструкцию кресел.

В других случаях раздача воздуха осуществляется посредством решеток, установленных в вертикальных плоскостях ступеней каждого ряда амфитеатра, или с помощью устройства, запатентованного немецкой фирмой «Kesslen und Luch». Это устройство, принцип действия которого основан на явлении эжекции, размещено в спинке каждого кресла. Оно имеет камеру первичного воздуха с соплом, рециркуляционное отверстие с регулируемой решеткой (ближе к полу с обратной стороны спинки кресла), камеру смешения воздуха, изолированную шумопоглощающей облицовкой, и выпускные щели с регулируемыми решетками в верхней горизонтальной плоскости спинки кресла. Струя первичного воздуха, поступающего из камеры статического давления, выходит из сопла с очень большой начальной скоростью и вовлекает рециркуляционный воздух из обслуживаемой зоны зала, смешиваясь с ним. Смесь первичного и рециркуляционного воздуха поступает в вертикальном направлении со скоростью около 0,7–0,8 м/с. На расстоянии при-

мерно 600–700 мм от верхней плоскости спинки кресла в направлении распространения струи затухают скорость и избыточная температура в струе до значений, не превышающих нормируемые. Такие устройства установлены в одном из залов Дворца съездов г. Берлина. Использование явления эжекции позволяет увеличить рабочую разность температур сверх двух градусов без нарушения комфортных условий, сокращая при этом расход приточного воздуха, а также подавать приточный воздух непосредственно в зону дыхания и обеспечивать отсутствие жалоб зрителей на «дутье».

В настоящее время нельзя однозначно рекомендовать ту или другую схему воздухораспределения в зрительных залах, утверждать достоинство одной схемы перед другой. Выбор схемы должен основываться на учете индивидуальных особенностей объемно-планировочного решения зрительного зала, дизайнерских требований, на технико-экономическом обосновании, которому должны предшествовать тщательный расчет необходимого количества приточного воздуха, расчет воздухораспределения, определение технологических показателей, например, расхода электроэнергии и холода на обработку воздуха.

Кондиционирование воздуха в офисных зданиях

В России системы кондиционирования воздуха в офисных зданиях стали применять только в последние годы в связи со стремлением к повышению качества жизни, улучшению условий труда, защиты от загрязнения атмосферы, борьбы с уличным шумом. Средства, затрачиваемые на устройство систем кондиционирования воздуха в офисных зданиях, и расходы на эксплуатацию установки оправдываются следующими преимуществами:

- поддержание комфортных условий для работников и посетителей;
- значительное уменьшение проникания в помещение уличных шумов благодаря постоянно закрытым окнам;
- устранение возможности проникания в помещения пыли (особенно в нижних этажах);
- возможность размещения на одной и той же площади большего числа работников без ухудшения состояния воздуха;
- постоянное поддержание температуры и относительной влажности воздуха на заданном уровне способствует повышению производительности труда.

Для современных офисных зданий характерны значительные тепlopоступления в связи с тенденцией современной архитектуры к увеличению площади остекления фасадов, конструированию стен с малоинерционными свойствами, к высокой интенсивности искусственного освещения, к увеличению количества офисной техники. Часто во внутренних зонах в связи с постоянными тепlopоступлениями от искусственного освещения, людей и офисной техники требуется охлаждение и в холодный период года. Увеличение площади офисных помещений, гибкая планировка, большое количество помещений в здании с разнохарактерной нагрузкой на СКВ, индивидуальное регулирование температуры воздуха в каждом помещении выдвигают определенные требования к системам кондиционирования воздуха. Применение практически герметичного остекления для повышения теплозащиты, борьбы с шумом и пылью, загрязненностью воздуха вокруг здания требует подачи очищенного и обработанного наружного воздуха в помещения.

В помещениях со значительной поверхностью остекления в холодный период года возникают ниспадающие холодные токи воздуха у окон, температура на поверхности остекления всегда значительно ниже температуры воздуха в помещении, поэтому температура помещения не может быть принята равной температуре внутреннего воздуха. При выборе варианта СКВ для таких помещений следует принимать решения, направленные на увеличение температуры поверхности остекления в холодное время года и уменьшение ее в теплое время года, например, путем обдува поверхности остекления высокоскоростным конвективным потоком, создаваемым местным агрегатом кондиционирования воздуха.

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха в жилых зданиях

В связи с ростом уровня жизни определенных слоев населения все больше жилых помещений оборудуются системами кондиционирования воздуха. Все жилые здания можно разделить на три большие группы:

- высотные многоквартирные здания;
- малоэтажные многоквартирные блокированные здания (таунхаусы);
- индивидуальные здания коттеджного типа.

В свою очередь, высотные многоквартирные жилые здания могут быть массового строительства и элитные.

Система обеспечения микроклимата помещений жилого здания должна круглогодично предусматривать постоянный приток чистого свежего воздуха, создание и поддержание комфортных условий. Техническая реализация этих задач определяется уровнем требований к поддержанию расчетных внутренних условий.

Ливчак И. Ф. и Наумов А. Л. [34] сформулировали основные положения, которые следует учитывать при проектировании и устройстве систем вентиляции жилых многоэтажных зданий. Эти положения можно отнести ко всем типам жилых зданий, их следует учитывать и при проектировании систем кондиционирования воздуха.

1. Система вентиляции — один из основных факторов инженерного обеспечения зданий, который определяет комфортность среды обитания и здоровье жителей.
2. Расход теплоты на вентиляцию современных квартир соизмерим, а в ряде случаев превышает, трансмиссионные теплопотери жилых зданий.
3. Потребность квартир в вентиляции, связанная с режимом их эксплуатации (приготовление пищи, стирка, переменное количество людей в течение суток и др.), характеризуется широким диапазоном необходимого воздухообмена, меняющегося по отдельным помещениям квартиры в течение суток. Минимальный воздухообмен в квартире должен обеспечить удаление из помещений вредных веществ, выделяемых строительными конструкциями, отделочными материалами, мебелью и т. п. (радон, фенолформальдегиды и др.). Минимально необходимый воздухообмен может быть принят по данным стандарта НП «АВОК» «Организация воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома» [62]. Потребная глубина регулирования воздухообмена в квартире в большинстве случаев находится в диапазоне 10–100%.
4. Жители должны иметь возможность контролировать и регулировать воздухообмен вне зависимости от гравитационного и ветрового перепада давления в квартире и снаружи.
5. Движение воздуха в квартире должно быть организовано таким образом, чтобы направление потоков приточного воздуха из жилых помещений было направлено в зоны выделения вредных веществ на кухню, в ванные комнаты, туалеты. Интенсивность удаления воздуха из отдельных загрязненных зон не должна «опрокидывать» вытяжку из других. Например, включение надплиточного зонта на кухне не должно существенно снижать объем удаляемого воздуха в ванной комнате и туалете.
6. Организация воздухообмена не должна приводить к ухудшению акустического режима и должна предусматривать меры как по защите от «городского» шума, так и от шума, генерируемого системами механической вентиляции.

В зданиях массового жилищного строительства кондиционирование воздуха обычно не применяется, так как ограничиваются минимальным уровнем требований, который обеспечивают системы отопления и вентиляции. В настоящее время очень остро стоит проблема вентиляции жилых зданий в связи с реализацией мероприятий по тепловой защите зданий и применения окон с высокими теплозащитными свойствами и низким значением сопротивления воздухопроницанию. После реализации мероприятий по теплозащите здания величина расхода теплоты на нагревание

инфильтрующегося воздуха стала сопоставимой с потерями теплоты за счет теплопередачи через ограждающие конструкции и в некоторых случаях превышает последние.

СНиП 2.08.01-89 «Жилые здания» рекомендует следующую схему организации воздухообмена квартир, которая и принята в массовом жилищном строительстве. Наружный воздух поступает через неплотности в окнах и балконных дверях жилых комнат и удаляется через вытяжные решетки и каналы в кухнях, ванных комнатах и санузлах из зоны его наибольшего загрязнения. Таким образом, обеспечивается воздухообмен во всем объеме отдельно взятой квартиры. Внутриквартирные двери, как правило, открыты или имеют подрезку дверного полотна, уменьшающую их аэродинамическое сопротивление в закрытом положении. Так, например, щель под дверями ванной и уборной должна быть не менее 0,02 м высотой. Наружный воздух, поступающий через неплотности наружных ограждений (окон, балконных дверей), нагревается в помещении до температуры внутреннего воздуха, количество теплоты, необходимое для его нагревания, компенсирует система отопления.

С переходом на пластиковые окна с повышенным сопротивлением воздухопроницания эта схема организации воздухообмена не работает, так как даже на первом этаже многоэтажных зданий количество инфильтрующегося воздуха значительно меньше нормируемого воздухообмена жилой комнаты. Альтернативой этому решению стала механическая вытяжная вентиляция с организованным притоком очищенного от пыли наружного воздуха через приточные отверстия, клапаны или аппараты. В Западной Европе вентиляция жилых многоэтажных домов по схеме «активная механическая вытяжка — пассивный приток» получила широкое распространение. Приточные клапаны встраиваются в створку окна, под подоконной доской, в стену жилых комнат. Клапаны могут быть оборудованы шумоглушителями и ограничителями расхода приточного воздуха при увеличении скорости лобового ветра. Вытяжные решетки или клапаны устанавливаются в вентиляционных каналах кухни, ванны, санузла.

Для обеспечения устойчивой работы системы вентиляции, открытия приточных клапанов необходимо создать отрицательный перепад давлений внутри квартиры и снаружи (разрежение), поэтому вытяжная вентиляция устраивается механической с установкой вентилятора на один или группу вентиляционных каналов. В последнем случае структура вытяжной вентиляционной сети сохраняется такой же, как это принято при естественной вытяжной вентиляции многоэтажных зданий, то есть схема, включающая в себя вертикальный сборный канал — «ствол» с боковыми ответвлениями — «спутниками». Воздух поступает в боковое ответвление через вытяжное отверстие, расположенное в кухне, ванной комнате или туалете, и, как правило, в междуэтажном перекрытии над следующим этажом перепускается в магистральный сборный канал. Такая схема значительно компактнее системы с индивидуальными каналами. В качестве побудителя движения воздуха могут быть установлены крышные вентиляторы. Для снижения уровня звуковой мощности, излучаемой вентилятором, перед ним по ходу воздуха предусматривается шумоглушитель. С целью снижения расхода электроэнергии при неравномерной нагрузке в вентиляционной сети, когда отключаются отдельные вентиляционные клапаны и каналы по сигналу датчика температуры и относительной влажности в помещениях, применяют электронно регулируемый электропривод вентилятора, работающий по импульсу датчика разряжения в нижней точке системы. Это приводит к росту единовременных затрат на систему вытяжной вентиляции, но дает существенную экономию электроэнергии в процессе эксплуатации жилого здания.

Индивидуальная установка вытяжных вентиляторов в помещении кухни, ванной комнаты и санузла требует индивидуальных вытяжных вентиляционных каналов, для недопущения перетекания воздуха при одновременной работе нескольких вентиляторов. Поэтому применение такой схемы ограничивается из-за возрастания числа каналов с увеличением этажности здания. Положительными сторонами такого рода системы являются, во-первых, возможность периодической работы вентиляции, например, по датчику влажности в помещении, при ручном включении вентилятора или при

включении света, и, во-вторых, установка вентилятора в зоне ответственности самого потребителя. При выключенном вентиляторе такая система может работать как естественная вытяжка, поддерживая минимальный воздухообмен. В то же время она считается нецелесообразной из-за шума канальных вентиляторов в квартире и большой протяженности напорных вытяжных воздуховодов по зданию. Такая схема плохо сочетается с центральной механической приточной системой из-за дисбаланса, возникающего при периодической работе вытяжной вентиляции такого типа.

Периодическая работа системы вентиляции «активная механическая вытяжка — пассивный приток» по команде датчиков снижает общий расход теплоты на нагревание наружного воздуха. Дополнительная экономия тепловой энергии на нагревание вентиляционного воздуха достигается при индивидуальном регулировании производительности приточных клапанов. Клапаны снабжаются поворотной шиберующей пластиной, позволяющей уменьшить расход воздуха в отдельном помещении или во всей квартире. Возможность индивидуального регулирования воздухообмена в зависимости от режима эксплуатации квартиры дает ощутимую экономию (20–30%) тепловой энергии на нагревание вентиляционного воздуха.

Достоинством таких систем также являются простота и низкая стоимость вентиляционного оборудования, что и объясняет широкое применение таких решений в массовом жилищном строительстве жилых многоэтажных зданий, в том числе и в России.

Постоянно работающая система вентиляции квартир с использованием приточных клапанов, встроенных в створки окон или наружные стены, при низких температурах наружного воздуха может привести к тепловому дискомфорту, связанному с неравномерным распределением температуры и скорости движения воздуха в помещениях. Приточные отверстия испытывают значительное влияние ветровых и гравитационных нагрузок, что приводит к нестабильности воздушного и теплового режима помещений.

При неравномерном срабатывании вытяжных вентиляционных клапанов в отдельных квартирах изменяется характеристика вентиляционной сети, что приводит к перераспределению потоков воздуха и отклонениям воздухообмена в других квартирах. В Западной Европе ограничивают эффективную область применения таких систем вентиляции районами с температурой наружного воздуха не ниже -10°C . В Москве по инициативе и поддержке АВОК и Правительства Москвы построен экспериментальный семнадцатизэтажный пятисекционный жилой дом общей площадью 25000 м^2 серии 111-355.МО в микрорайоне Никулино-2, оснащенный системой механической вытяжной вентиляции с регенерацией теплоты удаляемого воздуха в тепловом насосе и использованием ее на нужды отопления и горячего водоснабжения. При этом приток наружного воздуха осуществляется естественным путем через автоматические регулируемые воздухозаборные устройства.

Специалисты все более склоняются к необходимости устройства механической регулируемой приточно-вытяжной вентиляции с регенерацией теплоты удаляемого воздуха. Опыт использования подобных установок есть в Европе, в таких странах, как Германия, Швеция, Австрия. В течение последних лет АВОК на страницах печати постоянно обсуждает вопрос целесообразности и необходимости механической приточно-вытяжной вентиляции в жилых и общественных многоэтажных зданиях как альтернативу естественной вентиляции. По инициативе АВОК построен экспериментальный объект, на котором проводятся натурные исследования микроклимата и энергоаудит: 18-этажный 264-квартирный жилой дом на Красностуденческом проезде с индивидуальными поквартирными приточно-вытяжными системами вентиляции с регенерацией теплоты удаляемого воздуха.

В России оборудование жилых зданий приточными механическими системами вентиляции пока происходит значительно реже, чем механическими вытяжными, так как это существенно удорожает проект за счет стоимости самой системы, места для приточной установки и площадей, необходимых для прокладки воздуховодов.

Преимуществами механических приточных систем являются:

— гарантированная подача требуемого количества приточного воздуха в каждую квартиру;

- возможность очистки от пыли приточного воздуха и уменьшение аллергических заболеваний;
- возможность подачи в помещение нагретого или охлажденного воздуха, исключающего дутье вне зависимости от погодных условий на улице;
- возможность энергосбережения за счет регенерации теплоты удаляемого воздуха для нагревания приточного;
- возможность регулирования воздухообмена в помещениях и общего расхода воздуха в системе с целью снижения расхода электроэнергии и теплоты.

К недостаткам, кроме высокой стоимости, следует отнести затраты электроэнергии на перемещение приточного воздуха, а также возможные дополнительные потери теплоты и холода при транспортировке воздуха в воздуховодах и приточной камере, которая размещается в подвале или на верхнем техническом этаже.

Механическая приточно-вытяжная вентиляция (кондиционирование воздуха) для жилых многоэтажных зданий может быть *центральной, местно-центральной* или *индивидуальной для каждой квартиры*.

В *центральной* системе приточные металлические воздуховоды — стволы со «спутниками» — располагаются внутри квартиры в технических шахтах, из которых выполняется раздача приточного воздуха непосредственно в комнаты. При этом разводка приточных воздуховодов осуществляется за подшивным потолком внутриквартирного холла. В высоких зданиях на каждую зону по высоте в 10–12 этажей проектируются самостоятельные стволы приточных воздуховодов. В приточной камере воздух фильтруется в сухих фильтрах класса от G5 до F7 включительно, нагревается в воздухонагревателях в холодное время года, возможно также централизованное охлаждение наружного воздуха в воздухоохладителях в теплое время года.

С целью снижения расхода теплоты на нагревание воздуха и расхода холода на охлаждение целесообразно применить регенерацию теплоты удаляемого воздуха, что невозможно осуществить в системах вентиляции с естественным неорганизованным или организованным притоком наружного воздуха. Вентилятор приточной системы подбирается с учетом потерь давления во всех элементах сети, в том числе и внутриквартирных воздуховодах. Как правило, это центробежный вентилятор двухстороннего всасывания центральной приточной установки с нерегулируемым числом оборотов и постоянным расходом воздуха.

В условиях неравномерной нагрузки, связанной с переменным режимом функционирования отдельных жилых ячеек (приготовление пищи, купание, стирка, сон, активный отдых) система центральной приточной, а для обеспечения баланса воздуха и центральной вытяжной вентиляции, работает с постоянным расходом воздуха, что не способствует энергосбережению. Отключение по инициативе жильцов отдельных ответвлений приточных воздуховодов и вытяжных вентиляционных каналов может привести к гидравлической разрегулировке всей системы в целом и необеспечению требуемых расходов воздуха по помещениям, к дисбалансу общего расхода приточного и удаляемого воздуха, что скажется на эффективности теплообменника регенерации теплоты.

Местно-центральные системы с вентиляторными доводчиками (фэнкойлами) также могут применяться в жилых многоэтажных зданиях. Возможна подача наружного воздуха в помещение через наружные воздухоприемные решетки в смесительную камеру фэнкойла или по воздуховодам от центрального кондиционера в размере минимального воздухообмена. Вентиляционные доводчики могут работать как отопительные приборы в холодное время года. Недостаток таких систем — шум, создаваемый вентиляторами фэнкойлов в жилых помещениях, опасность отказа системы при отключении электроэнергии в режиме отопления.

Вариант с *поквартирными приточно-вытяжными системами* и регенерацией теплоты удаляемого воздуха лишен недостатков, присущих центральным и местно-центральным системам. Требуемое количество удаляемого воздуха забирается из помещений с высоким содержанием влаги и загрязнений (кухни, санузла, ванной комнаты), а затем охлаждается в теплообменнике. При этом происходит конденсация водяных паров, содержащихся во влажном воздухе, и выделение скрытой

теплоты, охлажденный воздух выбрасывается наружу. Такое же количество предварительно очищенного от пыли и, при необходимости, подогретого наружного приточного воздуха нагревается в теплообменнике и подается в жилые помещения, спальня и детские комнаты. Особый режим вентиляции предусматривается для помещения кухни. При приготовлении пищи в работу включается зонт над кухонной плитой, оборудованный самостоятельным вентилятором. Для удаления воздуха от таких зонтов и исключения жировых отложений на стенках вентиляционных каналов и поверхности теплообменника регенерации теплоты и вентилятора, как правило, предусматриваются отдельные воздуховоды, не связанные с системой общеобменной вытяжной вентиляции кухни. Приток при работающем зонте предусмотрен через окна или специальные приточные элементы. Отдельные агрегаты могут работать без опасности замерзания образующегося конденсата до температуры наружного воздуха -15°C , при более низкой температуре необходим дополнительный подогрев наружного воздуха, который осуществляется в водяном или электрическом воздухонагревателе. Есть установки, в которых предусмотрен подогрев удаляемого воздуха для предотвращения замерзания конденсата. Соответствующие компактные приточно-вытяжные агрегаты с регенерацией теплоты удаляемого воздуха располагаются в пространстве подшивного потолка коридора, на чердаках, в подвалах или во вспомогательных помещениях.

Может быть достигнута значительная экономия электроэнергии и топлива при изменении расхода приточного и удаляемого воздуха в системе механической вентиляции в условиях неравномерной заполняемости отдельных помещений или всего объема квартиры (индивидуального жилого дома) в течение суток, переменного технологического режима эксплуатации отдельных помещений (кухни, ванной комнаты, гаража). Поэтому, наиболее перспективно применение установок, в которых предусмотрена возможность регулирования расхода приточного и удаляемого воздуха в соответствии с изменяющейся нагрузкой в отдельной квартире многоэтажного жилого дома, индивидуального жилого дома или индивидуальной жилой секции.

Таким образом, поквартирная система механической приточно-вытяжной вентиляции жилого здания обладает следующими преимуществами перед другими системами вентиляции:

- вентилирование всего пространства квартиры и отдельных ее помещений в соответствии с потребностями;
- подача в помещение очищенного от пыли и подогретого наружного воздуха;
- переменный расход приточного и удаляемого воздуха в соответствии с изменяющейся нагрузкой;
- программное регулирование расхода приточного и удаляемого воздуха по часам суток в соответствии с заполняемостью помещений людьми;
- экономия электроэнергии и топлива за счет регулирования расхода воздуха, а также регенерации теплоты удаляемого воздуха;
- сбалансированная вентиляция в объеме квартиры, снижающая потери теплоты от инфильтрации наружного воздуха, способствующая высоким значениям коэффициента эффективности теплообменника;
- отсутствие гидравлической разрегулировки в вентиляционной сети;
- пожарная безопасность.

Для охлаждения воздуха в теплый период года поквартирная система механической приточно-вытяжной вентиляции может быть дополнена одним канальным или несколькими автономными кондиционерами типа сплит (только охлаждение или охлаждение и обогрев), требуемая холодопроизводительность которых должна определяться с учетом расхода холода на охлаждение наружного воздуха, подаваемого системой приточной вентиляции.

Стоимость таких установок достаточно высока, поэтому они пока мало используются в массовом жилищном строительстве, но могут быть с успехом применены при строительстве элитного жилья. Сплит системам свойственны такие недостатки, как наличие наружных блоков на фасаде зданий, необходимость отвода конденсата, шум и трудность обслуживания.

Вариантов технических решений системы кондиционирования воздуха индивидуальных жилых домов, к которым можно отнести и отдельные многоквартирные секции многоквартирных жилых зданий типа «таунхаус», множество. Выбор технического решения зависит от уровня требований к микроклимату в помещениях и финансовых возможностей индивидуального заказчика.

В нормативном документе «Нормы и правила проектирования коттеджной застройки» (Дополнение №1 к МГСН 1.01-98 и Дополнение №3 к МГСН 3.01-96) отмечено, что устройство приточно-вытяжной механической вентиляции, кондиционирования воздуха, а также установок утилизации тепла (холода) вытяжного воздуха и других установок нетрадиционной энергетики определяется заданием на проектирование.

Основными требованиями индивидуального заказчика являются:

- отсутствие внутренних блоков, скрытая установка оборудования, не влияющая на интерьер помещения;
- отсутствие на фасадах здания наружных блоков;
- возможность индивидуального регулирования температуры воздуха в помещениях;
- подача чистого свежего воздуха в помещения;
- малый уровень шума в помещениях, особенно в спальнях.

Немаловажной для заказчика является экономия затрат при эксплуатации системы кондиционирования воздуха, отопления и горячего водоснабжения. Поэтому уже на стадии проектирования следует закладывать принципиальные технические решения, направленные на энергосбережение. В настоящее время существует практика раздельного проектирования систем отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха всех зданий, в том числе и коттеджей, что не позволяет принять экономичное и эффективное техническое решение.

Возможные варианты технических решений системы обеспечения микроклимата индивидуального жилого здания (коттеджа):

- устройство независимой системы водяного отопления с отопительными приборами, трубопроводами, автономным или централизованным источником теплоты, систем приточной и вытяжной вентиляции, кондиционирования воздуха с использованием кондиционеров сплит-систем, мультizonальных систем типа VRV, в том числе с внутренними блоками канального типа;
- устройство независимой системы отопления и центральной системы кондиционирования воздуха, обслуживающей все помещения здания, с одним или несколькими центральными кондиционерами, как правило, подвесного типа, максимальный расход воздуха в которых определяется из расчета на удаление теплоизбытков из помещений здания, система должна быть с переменным расходом воздуха;
- устройство водовоздушной системы кондиционирования воздуха с вентиляторными доводчиками (фэнкойлами, напольными конвекторами) и подача в помещения воздуха в размере санитарной нормы на одного человека, что может быть осуществлено центральной системой кондиционирования воздуха, центральной приточной установкой, поэтажными компактными приточно-вытяжными агрегатами со встроенными рекуператорами или непосредственно через фэнкойлы со смесительной камерой. Такая система обеспечивает отопление и охлаждение помещений коттеджа круглогодично.

Преимущества водовоздушной системы кондиционирования воздуха с фэнкойлами в полной мере проявляются для многоквартирных жилых зданий (коттеджей) так как возможно не только обеспечить отопление и охлаждение помещений, но и частично обеспечить подогрев воды в системе горячего водоснабжения. Теплота конденсации безвозвратно выбрасывается в атмосферу в сплит-системах, в большинстве установок мульти сплит-систем типа VRF с воздушным охлаждением конденсатора, в чиллерах с воздушным охлаждением конденсатора. В водовоздушных системах кондиционирования воздуха коттеджей теплоту конденсации возможно использовать для подогрева воды на нужды горячего водоснабжения, выбирая чиллер соответствующего типа: с водяным ох-

лаждением конденсатора или с воздушным охлаждением конденсатора и полной регенерацией теплоты конденсации. С энергоэкономичной точки зрения, совместное использование теплоты и холода, вырабатываемое чиллером, повышает эффективность инженерных систем здания, уменьшает срок окупаемости капитальных вложений.

Перспективным является использование для жилых зданий системы вентиляции или кондиционирования воздуха с переменным расходом воздуха. В отличие от общественных зданий механическая система вентиляции в жилом здании должна работать круглосуточно. В то же время жилым зданиям свойственна существенная неравномерность заполнения помещений людьми как по часам в течение суток в одной квартире, так и по помещениям в квартире повышенной комфортности в отдельные часы суток. Система механической приточной вентиляции проектируется на расчетные условия и максимальный требуемый воздухообмен, определяемый на основе составления баланса воздуха по притоку и вытяжке в отдельно взятой квартире, многоквартирной секции или индивидуальном жилом здании. При этом характерны следующие средние значения кратности воздухообмена для многоквартирных блок-секций и индивидуальных жилых зданий: минимальное значение 0,4–0,45, среднее значение (номинальный режим) 0,65–0,7 и максимальное значение 0,8–0,9. Увеличение минимального значения кратности воздухообмена по сравнению со значением 0,35, рекомендованным Стандартом АВОК, до 0,4 связано с ограничениями по глубине регулирования расхода воздуха, перемещаемого вентилятором, для большинства вентиляторов глубина регулирования допускается не менее 50%.

С целью экономии расхода теплоты и электроэнергии в процессе эксплуатации с учетом неравномерности заполнения людьми следует предусматривать регулирование количества подаваемого в помещения квартиры воздуха, что становится реально возможным с применением системы механической приточной вентиляции. Также целесообразно применить регенерацию теплоты удаляемого воздуха в механической приточной системе вентиляции, при этом изменение количества воздуха через теплообменник в сторону уменьшения приводит к росту его коэффициента эффективности и увеличению количества отбираемой теплоты. Таким образом, система вентиляции отдельной квартиры-секции, индивидуального жилого дома должна проектироваться с переменным расходом воздуха и регенерацией теплоты удаляемого воздуха.

Расчетный расход воздуха в воздушной системе кондиционирования воздуха будет всегда больше, чем расход воздуха в системе механической приточной вентиляции, так он определяется из расчета удаления максимальных теплоступлений в помещении. Минимальный расход воздуха в системе с переменным расходом приточного воздуха будет всегда больше минимально необходимого расхода наружного воздуха, так как первый определяется из расчета удаления минимальных теплоступлений в помещении. Суммарный расход воздуха необходимо определять с учетом неравномерности временной и пространственной нагрузки на СКВ. Регулирование расхода воздуха, подаваемого в помещение, в традиционных системах кондиционирования воздуха с переменным расходом осуществляется только по датчику температуры воздуха в помещении. Для жилых зданий СКВ с переменным расходом воздуха должна предусматривать регулирование также и по датчику концентрации углекислого газа в помещении.

Системы технологического кондиционирования воздуха

Системы технологического кондиционирования воздуха предназначены для обеспечения параметров микроклимата для нормального протекания технологического процесса. Основные причины, вызывающие необходимость поддержания требуемых значений температуры и относительной влажности воздуха в помещении следующие:

1. Изменение размеров металлических деталей при колебании температуры воздуха (точное ма-

шиностроение и приборостроение, производство шарикоподшипников, калибров и оптических линз, точные измерительные лаборатории).

2. Влияние относительной влажности воздуха на размеры гигроскопических тел, в частности бумаги (цветная литография, точные чертежные работы на плизе).
3. Коррозия металлов при повышенной относительной влажности воздуха (точное машиностроение и приборостроение, производство шарикоподшипников и калибров, машинные залы автоматических телефонных станций, электроаппаратные помещения, инструментальные мастерские и кладовые, склады черного металла).
4. Электризация ряда гигроскопических материалов (пряжи, ткани, бумаги) при относительной влажности воздуха меньше 55–65% (текстильное, полиграфическое производство).
5. Очистка от пыли в наружном воздухе (точное машиностроение и приборостроение, производство шарикоподшипников, калибров, оптических линз, приборов электроники, полупроводников).
6. Потеря сыпучести порошкообразных веществ при повышенной относительной влажности воздуха (фармацевтическое производство, изготовление анилокрасителей и различные химические производства, мукомольные и цементные предприятия, производство и хранение сахара, соли и других гигроскопических сыпучих веществ).
7. Изменение консистенции коллоидных пленок и тел при колебаниях температуры и относительной влажности воздуха (производство кинопленки и фотоматериалов, полиграфическое, кондитерское, фармацевтическое производства).
8. Влияние на диэлектрические свойства гигроскопических изоляционных материалов повышенной относительной влажности воздуха (производство кабеля, намотка катушек и трансформатора и т. д.).
9. Изменение формы и механических свойств гигроскопических тел при колебании относительной влажности воздуха (деревообрабатывающее, спичечное производства, изготовление наждачной бумаги и абразивных кругов, музеи, архивы, библиотеки, производство и хранение изделий из кожи, мыла, табака, резины, дерева).
10. Замедление биохимических процессов и деятельности микроорганизмов при понижении температуры воздуха (производство и хранение пищевых продуктов).
11. Зависимость скорости высыхания влажных гигроскопических тел от относительной влажности воздуха (производство и хранение пищевых продуктов, осушение строительных конструкций и т. д.).
12. Изменение скорости протекания различных химических реакций и процессов кристаллизации при колебаниях температуры и относительной влажности воздуха. На горячих производствах (металлургическое, литейное, кузнечное), при шахтной добыче полезных ископаемых и в горячих цехах предприятий пищевой промышленности кондиционирование воздуха необходимо для облегчения труда рабочих.

Многие производимые и хранимые материалы и изделия гигроскопичны и находятся в процессе постоянного обмена влагой с окружающей средой. Если воздух сухой, то он поглощает влагу до тех пор, пока не достигнет состояния равновесия, в результате чего материалы и изделия высыхают и теряют качество и вес. Основной физической характеристикой гигроскопического материала является равновесная влажность, которая определяется как отношение массы содержащейся в нем влаги к его массе в абсолютно сухом состоянии.

Для каждого материала могут быть получены изотермы сорбции–десорбции в виде графической зависимости равновесной влажности материала от относительной влажности окружающего воздуха. Предотвратить процесс усушки материала можно, повышая относительную влажность окружающего воздуха путем его увлажнения. Производственные помещения, где требуется увлажнение воздуха — помещения текстильной промышленности, полиграфической, холодильные камеры для хранения овощей и фруктов и других продуктов питания, обработки овощей и фруктов (взве-

шивания, упаковывания и маркировки), обработка табака, часовая промышленность, теплицы, точная микроэлектроника, фармакология.

Осушение воздуха часто требуется в помещениях новых зданий, сырых подвалах, складах гигроскопических материалов (сахар, мука, соль, химикаты, бумага, ткани), складах черных металлов, мастерских точной механики, часовых мастерских, инструментальных, архивах и библиотеках, хранилищах картин и музейных экспонатов.

В помещениях деревообрабатывающей промышленности необходимо обеспечить постоянную разность влагосодержания воздуха на поверхности древесины и влагосодержания воздуха в помещении в течение всего производственного процесса, чтобы предотвратить ее растрескивание, защитить от высыхания и коробления мебель и деревянные части, предотвратить преждевременное неконтролируемое высыхание клея, формирование пыли.

Системы кондиционирования воздуха в музеях, библиотеках и архивах

В помещениях музеев, библиотек и архивов кондиционирование воздуха необходимо прежде всего для сохранения произведений искусства, картин, музыкальных инструментов, книг, документов, внутренних интерьеров, и только затем для создания комфортных условий для людей. Поэтому его можно отнести к технологическому кондиционированию воздуха.

В помещениях музеев и библиотек можно выделить несколько типов помещений в зависимости от наличия или отсутствия коллекции, массового или частичного присутствия людей. Классификация помещений музея и библиотеки представлена в таблице 1.1.

В помещениях, где отсутствуют коллекции, систему кондиционирования воздуха проектируют по общим правилам для гражданских зданий, предусматривая самостоятельные системы. Помещения с коллекциями соответственно при неограниченном доступе посетителей и ограниченном доступе людей (хранителей, реставраторов, научных работников и т.д.), должны обслуживаться разными установками кондиционирования воздуха.

Таблица 1.1. Классификация помещений музея и библиотеки

Тип помещения		Уровень загрязнения помещения	
		Высокий (грязные)	Низкий (чистые)
Наличие коллекции	Ограниченный доступ	Лаборатории реставрации, рабочие помещения (лаки, пыль, водяные пары) Влажные коллекции (заспиртованные природные экспонаты) Коллекции фотографий (уксусный синдром)	Хранилища, подвалы, лаборатории
	Неограниченный доступ		Галереи, выставочные залы, читальные залы
Отсутствие коллекции	Кратковременное пребывание	Курильные комнаты	Служебные помещения
	Постоянное пребывание	Кафетерии, комнаты отдыха, где разрешено курение	Присутственные места без приготовления и поглощения пищи, без курения

Параметры микроклимата в помещениях музея при наличии коллекции определяются в зависимости от свойств материала, из которого изготовлена коллекция: гигроскопических (ткань, кожа, дерево, бумага, минералы) и физико-химических (металл, стекло, фото- и киноматериалы), а также химическим составом материалов (органическое или неорганическое соединение, тип краски на художественных полотнах — масляная или акриловая). Зачастую они еще недостаточно хорошо изучены и подбираются индивидуально к каждому конкретному экспонату. При размещении экспозиции следует учитывать конфликтные условия сохранности для разных типов материалов коллекции. Например, нельзя хранить бумагу и фотоматериалы вместе, так как бумага выделяет газы, оказывающие разрушающее воздействие на фотоматериалы.

Наименее требовательны материалы к поддержанию температуры внутреннего воздуха. Ее нормируемое значение для большинства материалов составляет 15–25°C. Наиболее чувствительны почти все материалы к относительной влажности воздуха. Относительная влажность воздуха 75% и выше является критической для большинства материалов.

В помещениях музея, в первую очередь для сохранения произведений искусства, картин, музыкальных инструментов, книг, документов, внутренних интерьеров, необходимо обеспечить параметры микроклимата. В то же время технологические требования в помещениях, где постоянно находятся люди, не должны противоречить комфортным условиям, допустимым или оптимальным, определяемым по ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении». В помещениях музея, где отсутствуют коллекции, параметры воздуха определяются из комфортных условий по ГОСТ 30494-96. Принимаются допустимые или оптимальные параметры в зависимости от уровня требований.

В архивах, лабораториях холодного хранения должна поддерживаться температура воздуха 10–14°C, относительная влажность воздуха — 30–50%. В помещениях хранения экспонатов из металла, для исключения коррозии, относительная влажность воздуха не должна превышать 30%.

Скорость воздуха (подвижность) в музейных помещениях должна находиться в пределах 0,1–0,3 м/с, скорость обдува открыто расположенных экспонатов (картин и других чувствительных к эрозии поверхностей) потоком приточных струй не должна превышать 0,2 м/с.

Ценность экспонатов, их физические свойства, продолжительность экспозиции и хранения определяют уровень требований к точности поддержания внутренних условий. В зависимости от уровня требований музейные помещения можно разделить на пять категорий: АА — очень высокий, А — высокий, В — средний, С — пониженный, Д — низкий. Очень высокий уровень требований должен обеспечить длительную сохранность особо ценных уникальных экспонатов, памятников литературы, искусства и т. д. в хранилищах, специальных камерах, реставрационных лабораториях и в экспозиционных залах. Высокий уровень требований обеспечивает практически полную сохранность предметов в реставрационных лабораториях, экспозиционных залах, хранилищах, галереях. Средний уровень требований необходим для большинства взаимозаменяемых и мало подверженных разрушению предметов хранения и экспозиции, что характерно для профильных, отраслевых и краеведческих музеев, музеев народного творчества, церквей, используемых как музеи, исторических зданий. Средний и пониженный уровень требований обеспечивают внутренние условия, наиболее приближенные к естественным, например в исторических зданиях, церквях, музеях сезонной работы, домах-музеях и квартирах. В этом случае необходимо учитывать параметры окружающей среды, сложившейся исторически, то есть условия, к которым та или иная коллекция адаптирована в силу своих особенностей. Низкий уровень требований допускается в районах с мягким невлажным климатом в помещениях музеев сезонного использования или размещаемых под открытым небом, в церквях.

Особенно негативно сказываются на состоянии экспонатов значительные колебания относительной влажности воздуха в помещении, как быстрые, так и в течение сезона. Допустимые значения амплитуды суточных колебаний температуры и относительной влажности воздуха в зависимости от уровня требований к точности поддержания внутренних условий представлены в таблице 1.2.

Высоко уязвимые экспонаты могут быть помещены в специальные камеры или зоны с контролируемой воздушной средой, размещаемые внутри помещений хранения или экспозиции, тогда в них допускается более низкий уровень требований и широкий диапазон изменения параметров воздуха.

Для учета естественного сезонного хода изменения температурно-влажностных свойств наружных ограждений (особенно в старинных и реконструируемых зданиях), предотвращения конденсации водяных паров на наружных ограждениях в холодный период, а также с целью энергосбережения следует принимать и обеспечивать минимальные значения температуры и относительной влажности воздуха для холодного периода года и максимальные значения этих параметров — для теплого

периода года. Эти значения необходимо выбирать из диапазона значений, определенных по условиям хранения, допустимым сезонным колебаниям параметров воздуха и по комфортным условиям. Следует выбирать расчетные параметры в помещениях при наличии коллекций для двух режимов: отсутствия людей и их присутствия с учетом допустимых суточных колебаний температуры.

Таблица 1.2. Допустимые значения амплитуды суточных и сезонных колебаний температуры и относительной влажности воздуха в помещении при наличии коллекции

Уровень требований	Амплитуда колебания температуры, °C		Амплитуда колебания относительной влажности воздуха, %		Степень повреждения
	суточная	сезонная	суточная	сезонная	
АА — очень высокий	±2	±4,5	±5	0	Отсутствие механических повреждений всех предметов искусства и картин
А — высокий	±2	+4,5 (–8)	±10	±10	Небольшой риск для уязвимых предметов искусства, отсутствие механических повреждений большинства предметов искусства, картин, фотографий и книг
В — средний	±4,5	+8, но температура воздуха не выше 30°C	±10	±10	Умеренный риск для уязвимых предметов искусства, малый риск для большинства картин, фотографий, отдельных предметов искусства и книг, отсутствие риска для большинства предметов искусства и книг
С — пониженный	Амплитуда колебаний не нормируется, температура воздуха 25°C		Амплитуда колебаний не нормируется, относительная влажность воздуха в течение года — 25–75%		Высокий риск для уязвимых предметов искусства, умеренный риск для большинства картин, фотографий, отдельных предметов искусства и книг, малый риск для большинства предметов искусства и книг
Д — низкий	Не нормируется		Относительная влажность ниже 75%		Высокий риск деформации и разрушения для предметов искусства, большинства картин, фотографий и книг, коррозии металла, риск может быть снижен в течение холодного периода при отсутствии отопления

Все требования к микроклимату для сохранности музейных коллекций должны распространяться только на зону размещения экспонатов. В зоне пребывания людей необходимо обеспечивать комфортные требования. Определение обслуживаемой зоны, как части объема помещений высотой 2 м от уровня пола, не распространяется на помещения музеев при наличии коллекций, которые могут быть размещены на любой высоте, что следует учитывать при расчете воздухораспределения.

В помещениях, где отсутствуют коллекции, проектируют систему кондиционирования воздуха по общим правилам для гражданских зданий, предусматривая самостоятельные системы. Помещения с коллекциями, соответственно, при неограниченном доступе посетителей и ограниченном доступе людей — хранителей, реставраторов, научных работников и т.д. — должны обслуживаться разными установками кондиционирования воздуха.

Очень часто музеи, библиотеки и архивы занимают старые здания постройки прошлых веков. В таких зданиях проводят реконструкцию и оснащают их современными системами обеспечения микроклимата. В процессе разработки проекта реконструкции и при эксплуатации таких зданий необходимо обеспечить сохранность основных элементов декора в интерьере и конструкций самих зданий, представляющих историческую ценность. При этом возникает масса трудностей, связанных с необходимостью скрытого размещения всех элементов систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, чтобы не нарушить внутреннюю обстановку и внешний облик здания, отсутствием или ограничением строительного объема для размещения оборудования СКВ, сложностью прокладки воздуховодов и трубопроводов, устройства забора и удаления воздуха. Старые здания с минимальной инсоляцией и хорошо просушенными ограждениями должны быть защищены от потенциальных разрушений, созданных работающей круглый год системой кондиционирования

воздуха для стабилизации относительной влажности в помещении. При устройстве систем вентиляции и кондиционирования воздуха следует максимально использовать существующие каналы, предназначенные ранее для огневоздушного отопления, для вытяжных систем или для прокладки металлических воздуховодов приточных систем.

При проектировании новых музеев, библиотек или архивов именно для этого типа зданий наиболее важно иметь на ранней стадии проектирования команду проектировщиков, включающую специалиста по кондиционированию воздуха. Это позволит учесть при разработке объемно-планировочных и конструктивных решений здания факторы, ограничивающие единовременные и эксплуатационные затраты на создание и функционирование СКВ и на все здание в целом. К таким факторам можно отнести:

- уровень технологических требований к системе обеспечения микроклимата, определяемый материалом, из которого изготовлены экспонаты, ценностью коллекции, продолжительностью ее хранения и экспозиции;
- схему организации воздухообмена, выбор которой связан с размещением воздухораспределителей, местных агрегатов СКВ и устройств для забора воздуха в интерьере;
- соотношение естественного рассеянного освещения и искусственного освещения (подсветка);
- загрязненность атмосферного воздуха;
- интенсивность потока экскурсантов;
- уровень шума внутри и снаружи здания;
- размещение оборудования СКВ во внутреннем пространстве здания и снаружи него, а также устройства для забора и удаления воздуха.

Расход приточного воздуха в помещениях музея при наличии коллекций следует определять расчетом в соответствии с принятой схемой организации воздухообмена и типом воздухораспределителя. Следует учитывать тепlopоступления и влагонепоступления от людей (посетителей и музейных работников), тепlopоступления от солнечной радиации, в том числе рассеянной солнечной радиации через фонари естественного освещения, тепlopоступления от искусственного освещения, в том числе и подсветки. В экспозиционных залах следует принимать площадь пола, приходящегося на одного человека: максимальное значение — $7,4 \text{ м}^2$, среднее значение — $5,6 \text{ м}^2$, минимальное значение — $3,7 \text{ м}^2$. Общий расход приточного воздуха в помещении экспозиции должен быть достаточен, чтобы обеспечить отсутствие застойных зон вокруг экспонатов, в то же время не допускается направлять приточную струю на них. Кратность воздухообмена должна быть не менее 6–8. При реконструкции существующих музеев следует определять фактические выделения теплоты и влаги на основе составления теплового, влажностного и воздушного балансов помещения.

В помещениях хранилищ следует принимать воздухообмен не менее двух–трехкратного с целью обеспечения хорошей циркуляции и перемешивания воздуха.

Минимальный расход наружного воздуха для каждого помещения определяется из расчета санитарной нормы на одного человека, создания подпора в кондиционируемом помещении, а в помещениях реставрации — и из условия компенсации воздуха, удаляемого местными отсосами, и из расчета разбавления вредностей. Расход наружного воздуха, подаваемого в экспозиционные залы на одного человека, должен быть не менее $30 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел})$. Общий расход наружного воздуха следует определять в зависимости от типа многозональной системы кондиционирования воздуха. Может быть предусмотрена возможность изменения расхода наружного воздуха по датчику концентрации углекислого газа при изменении потока посетителей.

При расчете воздухораспределения в помещениях музейных зданий, где размещается коллекция, следует учитывать место ее размещения, а также размеры зоны пребывания людей (посетителей и сотрудников). В музейных помещениях при наличии коллекции с постоянным доступом предпочтительно предусматривать перемешивающую вентиляцию (mixing ventilation, MV) по схеме «сверху–вниз», так как вытесняющая вентиляция (displacement ventilation, DV) хорошо работает только при устойчи-

вых конвективных потоках от неподвижных источников. В лабораториях реставрации схема организации воздухообмена должна выбираться с учетом плотности веществ, используемых при реставрации. Выбор типа воздухораспределителей, особенно в исторических зданиях, должен определяться архитектурно-строительными требованиями к интерьерам музейных помещений и условиями энергосбережения. Этим требованиям наиболее отвечают щелевые воздухораспределители. Нежелательно использование в экспозиционных помещениях открыто установленных кондиционеров-доводчиков. Особенно это касается музеев, расположенных в старинных и реставрируемых зданиях.

Помещения при наличии коллекций и, соответственно, при неограниченном доступе посетителей и ограниченном доступе людей (хранителей, реставраторов, научных работников и т. д.) должны обслуживаться самостоятельными системами кондиционирования воздуха. В помещениях, где отсутствуют коллекции, проектируют систему вентиляции и кондиционирования воздуха по общим правилам для гражданских зданий, предусматривая самостоятельные системы.

Для круглогодичного поддержания в каждом помещении музея заданных параметров микроклимата необходимо проектировать центральные многозональные СКВ. Наиболее часто применяются воздушные многозональные системы с температурными доводчиками, особенно для реконструируемых зданий, и двухканальные системы, значительно реже — водовоздушные системы, так как размещение фэнкойлов вдали от экспонатов является проблематичным, а также существует больший риск протечек воды в системах тепло- и холодоснабжения, особенно в четырехтрубных. Так как наиболее важным контролируемым параметром в помещениях музеев является относительная влажность воздуха, то наиболее предпочтительным типом многозональной СКВ является двухканальная система с переменным расходом воздуха. Одноканальные системы с переменным расходом воздуха, в том числе индукционные, имеют ограниченное применение, так как не могут обеспечить поддержания заданного значения относительной влажности и циркуляции воздуха в каждом помещении. Воздушные системы с целью экономии теплоты и холода должны быть всегда с рециркуляцией внутреннего воздуха.

СКВ, обслуживающие помещения экспозиционных залов музея и галереи, а также административные, лекционные и конференц-залы, вестибюли, гардеробы, кассовые залы и рекреации, кафетерии, рестораны, комнаты отдыха должны проектироваться и работать в двух или нескольких режимах: в режиме с посетителями, в режиме при их отсутствии. При этом возможно использовать принцип ступенчатого (две установки) или плавного (вентилятор с регулируемым числом оборотов) регулирования расхода воздуха.

Для обработки и подачи воздуха в специальные камеры или зоны с контролируемой воздушной средой следует применять системы кондиционирования воздуха с постоянным поддержанием значения относительной влажности воздуха (шкафные прецизионные кондиционеры). Система автоматического регулирования должна обеспечивать поддержание постоянного значения температуры и относительной влажности воздуха с заданной точностью, определяемой уровнем требований, для чего в камерах, зонах и в помещении устанавливают гидростаты и термостаты.

Для очистки приточного воздуха от пыли в центральной установке следует предусматривать две ступени очистки, вторая ступень класса не ниже F7-F9, при необходимости возможна третья ступень очистки воздуха от пыли. Старинные здания, расположенные в центре больших городов, испытывают воздействие загрязнения атмосферы вредными газами, такими как озон, окислы серы, углерода, способные разрушать музейные экспонаты, фотографии, картины. Следует применять фильтры из активированного угля для поглощения вредных газов в потоке наружного воздуха.

Часто в помещениях новых зданий музеев, сырых подвалов, где зачастую размещают хранилища картин и музейных экспонатов, требуется осушение воздуха, а при пуске системы кондиционирования воздуха в холодный период года — увлажнение воздуха в помещениях размещения коллекции. В этом случае возможна установка местных аппаратов осушения или увлажнения воздуха для выхода здания и его помещений на квазистационарный режим работы.

Системы кондиционирования воздуха в полиграфическом производстве

Качество печатной продукции в значительной степени зависит от создания оптимальных технологических условий в помещениях типографии, что особенно актуально в настоящее время в связи с ростом доли многокрасочных журналов, газет, рекламной, изобразительной, упаковочной продукции и других высококачественных изданий в общем объеме полиграфического производства.

Основным фактором, влияющим на качество процесса печатания, является относительная влажность воздуха в помещении. Отклонение относительной влажности воздуха от требуемых значений негативно влияет на производственный процесс, так как вызывает:

- изменение линейных размеров бумаги, картона, переплетных материалов, что приводит к скручиванию бумаги, ее волнистости, неправильной подаче бумаги, образованию складок, трудностям при совмещении красок, особенно при печати в несколько прогонов;
- низкую или высокую скорость сушки красок, особенно водных;
- обрывы рулонной бумаги при низкой относительной влажности воздуха;
- накапливание электростатических зарядов на бумаге, картоне, пленках, что усложняет процессы подборки, сортировки и укладки печатных листов;
- низкую производительность труда и увеличение заболеваний среди работников типографий.

Бумага, картон, текстильные и некоторые другие материалы, используемые в полиграфическом производстве, относятся к гигроскопическим материалам. Гигроскопические материалы в зависимости от собственной влажности или забирают влагу из окружающего воздуха, или отдают ее в воздух до тех пор, пока не будет достигнуто равновесное состояние, т.е. содержание влаги в материале и воздухе не станет одинаковым. Таким образом, при изменении относительной влажности воздуха изменяется влажность бумаги, картона и других гигроскопических материалов, а следовательно, и их линейные размеры.

При низкой относительной влажности воздуха часть влаги из бумаги быстро абсорбируется, что приводит к усадке и разрыву волокон материала, закручиванию бумаги и картона по краям. Такое высушивание гигроскопических материалов является, как правило, необратимым разрушающим процессом, что приводит к потерям используемых в типографии материалов не только в процессе производства, но и при их хранении. Изменение размеров сказывается на точности совпадения красок при печати, а также приводит к браку и на других этапах полиграфического производства: резке, склеивании, вырубке, фальцовке, тиснении и т. п. При достаточно влажном воздухе уменьшаются обрывы бумажного полотна, это объясняется тем, что бумага становится более гибкой, заряд статического электричества в такой бумаге снижается, и она не прилипает к регистровым валикам печатной машины, из-за чего уменьшается натяжение бумажного полотна. Очевидно, что и готовая полиграфическая продукция может быть повреждена, если будет храниться в помещении с низкой относительной влажностью воздуха.

В том случае, когда валики красочного аппарата сделаны из гигроскопического материала, параметры воздуха влияют и на их свойства, а следовательно и на качество печати. Особенно заметно влияние воздушной среды, когда при изготовлении этих валиков применяется глицерин, который при высокой относительной влажности адсорбирует атмосферную влагу, поэтому краска недостаточно прочно удерживается валиком. В цехах изготовления, подготовки форм плоской печати используются такие гигроскопичные материалы, как желатин, крахмальный клейстер, глицерин и т. п., физико-химические свойства которых определяются содержанием в них влаги, которое, в свою очередь, зависит от влагосодержания воздуха в помещении.

В типографиях в холодный период года вследствие низкой относительной влажности воздуха в цехе часто наблюдается явление электризации бумаги. Сухой воздух имеет низкую электропроводность, поэтому вызывает накапливание электростатических зарядов на поверхности материалов, плохо проводящих электричество (бумага, картон, пленка и др.). Электростатические заряды

возникают при обработке таких материалов за счет трения друг о друга или о диэлектрические поверхности элементов оборудования. Причиной образования «тумана» из мельчайших частиц типографской краски, при котором увеличивается расход краски, отрицательно влияющий на качество продукции, является появление малых зарядов статического электричества на частицах краски, отбрасываемых вращающимися валиками красочного аппарата. При кондиционировании воздуха расход печатных красок может быть снижен на 10%.

В монтажных отделениях заряженные поверхности монтажной основы и фотоформы притягивают из воздуха пыль. Заряженные пленки слипаются между собой, затрудняя монтаж. Электростатические заряды могут быть причиной неплотного контакта между фотоформой и формной пластиной при копировании. Электростатический заряд прижимает фотоформу к пластине, независимо от действия вакуумной системы копировальной рамы, оставляя в зоне прижима изолированные воздушные включения, что ведет к потере на форме мелких деталей изображения. Слипание электростатически заряженных листов бумаги и картона ведет к браку и снижению производительности печатных, фальцевальных, листоподборочных и других машин из-за их частых остановок. Основные сбои происходят в самонакладах и приемных устройствах этого оборудования.

Разряд электростатического электричества может стать причиной пожара в помещениях, где работают с легковоспламеняющимися материалами (припрессовка пленки в ламинаторах) или с веществами на основе летучих растворителей (растворы для вымывания фотополимерных форм, некоторые виды клеев в брошюровочно-переплетном производстве).

Кондиционирование воздуха в типографии является наиболее рациональным методом борьбы с образованием статического электричества, вызывающего не только появление красочного «тумана» и обрывов бумажного полотна, но и резкое повышение запыленности воздуха. При низкой относительной влажности воздуха статическое электричество заряжает одноименными зарядами облако пыли, которое будет находиться во взвешенном состоянии.

В помещениях типографского производства работают люди, и необходимо одновременно поддерживать комфортные условия для их работы.

Таким образом, требуемая относительная влажность воздуха является важной предпосылкой комфортных условий труда, безостановочного, качественного процесса полиграфического производства и качественного хранения всех чувствительных к увлажнению материалов и готовой продукции.

В ведомственных технологических инструкциях полиграфического производства, в инструкциях по эксплуатации полиграфического оборудования имеются рекомендации по оптимальным значениям параметров микроклимата для технологического процесса. Определено, что в отдельных помещениях типографий следует поддерживать различную величину относительной влажности воздуха. Так, в цехах изготовления и подготовки форм относительная влажность и температура воздуха должны составлять соответственно 50–55% и 18–22°C. В цехах офсетной печати рекомендуемая относительная влажность — 55–60% при температуре воздуха в холодный период 20°C, а в теплый период допускается повышение температуры внутреннего воздуха в цехах высокой и офсетной печати до 25°C, глубокой — до 22°C; на операциях фальцовки, при трафаретной печати, процессах склейки и обрезки относительная влажность воздуха — 60–70%, при пробной печати на плоскостатных станках — 70–80%.

Проведенные Юрмановым Б. Н. экспериментальные исследования показали, что для цехов офсетной многокрасочной печати следует принимать более низкое значение относительной влажности воздуха в рабочей зоне: 50% в теплый период года и 46% — в холодный период [72]. При многокрасочной печати каждая нанесенная на печатный лист краска должна быстро высыхать. При высокой относительной влажности воздуха в цехе процесс высыхания ее замедляется, это может привести в процессе печати к перетискиванию краски на противоположную сторону листа. Экспериментально установлена зависимость между скоростью высыхания печатных красок и относительной влажностью воздуха: при повышении относительной влажности воздуха от 65 до 75% при комнатной тем-

пературе высыхание печатных красок замедляется в 2–3 раза, а на некоторых сортах бумаги — в 10 раз. При низкой относительной влажности воздуха печатные краски высыхают быстрее и лучше закрепляются, придавая изображению большую яркость. В то же время экспериментально установлено, что непосредственно вокруг печатных цилиндров относительная влажность воздуха больше, чем в рабочей зоне, на 15–30% в результате испарения влаги с печатных форм.

Влаговыделения от офсетных машин зависят от вида выпускаемых изданий, объемного веса печатной бумаги и скорости работы машины. В среднем полагают, что бумагой впитывается не меньше, чем 0,2% влаги от веса бумаги, проходящей за час через офсетный цех. При известном расходе воды за час на работу машин G_m и весе печатной бумаги, проходящей через машину за один час G_b , расход влаги W , кг/час, поступающей в цех определится:

$$W = G_m - 0,02G_b. \quad (1.1)$$

Для снижения поступления влаги в рабочую зону применяют местные отсосы от офсетных машин.

В цехах высокой и глубокой печати относительная влажность воздуха не должна превышать 50% в холодный период и 60% — в теплый, что соответствует оптимальному содержанию влаги в бумаге и высокой степени ее гладкости. Экспериментально установлено, что температура воздуха незначительно сказывается на влажности бумаги. В цехах глубокой печати повышение температуры воздуха недопустимо, так как вызовет испарение вредных и взрывоопасных веществ: толуола, бензина и других растворителей, имеющих низкую температуру кипения. В таких помещениях устраиваются местные отсосы от оборудования.

В помещениях полиграфических предприятий важно поддерживать на определенном уровне содержание влаги в бумаге и других гигроскопичных материалах, обеспечить комфортные условия для работающих, сохранять постоянную скорость испарения влаги со смоченных поверхностей печатных форм в офсетных цехах и скорость высыхания печатных красок после их нанесения на бумагу. Поэтому важно поддерживать равновесное состояние между бумагой и окружающим воздухом, которое может быть обеспечено не заданным значением одного параметра — относительной влажности воздуха, — а определенным сочетанием значений температуры и относительной влажности воздуха. Юрманов Б. Н. предложил поддерживать в помещении постоянную разность температуры сухого и мокрого термометра воздуха рабочей зоны, при этом скорость испарения воды со смачиваемых печатных форм будет практически неизменна [73]. Действительно, поток массы водяного пара является функцией разности парциального давления или влагосодержания слоя воздуха на поверхности гигроскопичного материала и воздуха рабочей зоны. Значение парциального давления водяных паров на поверхности материала определяется его равновесной влажностью, которая показывает отношение массы влаги, содержащейся в материале, к массе абсолютно сухого материала. Парциальное давление водяного пара в воздухе рабочей зоны или однозначно определяемое влагосодержание воздуха определяется значением двух параметров состояния воздуха (температура и относительная влажность, температура по сухому и мокрому термометру). По мере роста температуры необходимо несколько увеличивать относительную влажность воздуха, чтобы сохранить неизменным парциальное давление водяного пара или влагосодержание воздуха рабочей зоны, поэтому в летний период года нормируемое значение относительной влажности воздуха должно быть выше, чем в холодный период. Это идет в разрез с комфортными требованиями, но позволяет снизить расход холода на обработку воздуха в теплое время года и расходы на увлажнение воздуха в холодное время года.

Для повышения комфорта в рабочих помещениях и снижения числа заболеваний среди сотрудников рекомендуется поддерживать относительную влажность воздуха на уровне 55%. При этом же значении относительной влажности воздуха практически не накапливаются электростатические заряды.

Для улучшения качества продукции наряду с кондиционированием воздуха в рабочей зоне цехов используется акклиматизация бумаги способом двухстороннего обдува листовой или рулонной бумаги струей воздуха с определенной температурой и относительной влажностью в акклиматизационной камере или непосредственно в печатном цехе, причем рулонная бумага обдувается воздухом в момент ее раскручивания до флаторезки.

Системы кондиционирования воздуха в помещениях автоматических телефонных станций

Для таких помещений автоматических телефонных станций, как автозалы, серверные и т. п. характерно то, что технологический процесс, сопровождающийся выделением значительного количества теплоты (тепловая нагрузка на 1 м² площади помещения в 5 раз больше по сравнению с нагрузкой в гражданских зданиях), независимо от изменения температуры наружного воздуха протекает непрерывно 8760 рабочих часов в году. В помещениях для нормальной и надежной работы технологического оборудования необходимо постоянно отводить от него теплоту, и, кроме того, обеспечивать требуемые параметры воздуха в общем объеме помещения. К оборудованию системы кондиционирования воздуха таких помещений предъявляют специальные требования, связанные с непрерывной эксплуатацией технологического оборудования:

- высокая эксплуатационная надежность;
- конструктивные решения, обеспечивающие текущий ремонт и обслуживание без прекращения эксплуатации и нарушения температурного режима;
- надежное автоматическое регулирование параметров подаваемого в устройства воздуха;
- работа холодильной машины в условиях низких значений температуры наружного воздуха.

Основные требования к температурно-влажностному режиму работы оборудования определяют производители телекоммуникационного оборудования так же, как и величину тепловыделений от него. Для современного коммуникационного оборудования характерно значительное снижение теплоступлений по сравнению с оборудованием, используемым на существующих центральных телефонных станциях. Обычно используется воздушное охлаждение стоек: воздух обрабатывается в системе кондиционирования воздуха и подается в нижнюю часть стоек через фальшпол, нагретый воздух поступает в помещение, в рециркуляционный воздуховод или удаляется наружу. Пространство под чистым полом используют для прокладки воздуховодов, подающих охлажденный воздух в устройства.

Нормируются следующие параметры воздуха (возможные значения):

- максимальная температура воздуха, выходящего из устройства (32–55°C);
- минимальная относительная влажность воздуха на выходе из стоек (20–40%), максимальная относительная влажность воздуха на входе в стойки — (70–80%);
- минимальная температура воздуха на входе в стойки (14–22°C);
- разность температуры выходящего и входящего воздуха (14–20°C).

По требованиям технологии относительная влажность воздуха в помещении обычно строго не нормируется, допускается широкий диапазон ее изменения от 10 до 80% так же, как и температуры воздуха в рабочей зоне — от 5 до 40°C. Расчетные параметры в рабочей зоне определяются обычно комфортными требованиями для обслуживаемого персонала, которые по температуре и относительной влажности воздуха являются более жесткими, чем технологические требования.

Для безотказной работы следует не допускать осаждения пыли на элементах коммуникационных устройств, поэтому нормируется содержание пыли в воздухе помещения: запыленность воздуха в рабочей зоне помещения должна быть не более 0,75 мг/м³, в среднем — от 0,2 до 0,3 мг/м³. Эффективность фильтров должна быть не ниже 95% при частицах размером 5 мкм, не ниже 90% при частицах размером 1 мкм.

В помещении следует обеспечить подпор в размере 10–20 Па. Минимальный расход наружного воздуха принимают из расчета 50–60 м³/час на одного работающего человека. Обычно такие

помещения требуют минимального присутствия людей. Поэтому для подобных помещений со значительной и постоянной в течение года тепловой нагрузкой используют системы кондиционирования воздуха с частичной рециркуляцией, расход наружного воздуха составляет 10–15% от общего количества воздуха (шкафные кондиционеры). Возможно несколько схемных решений, отличающихся раздельной, комбинированной или совместной системой кондиционирования воздуха, поступающего в коммуникационные устройства и в объем помещения. Изначально использовались центральные кондиционеры для обработки воздуха, в последние годы все шире применяются шкафные кондиционеры. Часто с целью экономии единовременных затрат устраивают систему кондиционирования воздуха с полной рециркуляцией, используя стандартные установки, предназначенные для комфортного кондиционирования воздуха на базе сплит-систем. Использование искусственного холода круглогодично требует значительного потребления электроэнергии, тогда как в холодный и переходный период, используя природный холод наружного воздуха путем увеличения доли наружного воздуха в смеси, можно значительно сократить годовое потребление электроэнергии на работу установки кондиционирования воздуха. В таблице 1.3 приведены параметры работы двух установок при одинаковой нагрузке, параметрах наружного климата и расчетной холодопроизводительности и годовое потребление энергии. Первая установка выполнена на базе сплит системы и обеспечивает круглогодично полностью искусственное охлаждение. Вторая установка шкафного типа с двумя вентиляторами: приточным и вытяжным, фильтрами для очистки наружного воздуха (рекомендуется две ступени), клапаном на обводном канале, встроенной холодильной машиной с воздушным охлаждением конденсатора удаляемым воздухом, обеспечивающая «свободное охлаждение» наружным воздухом большую часть года.

Таблица 1.3. Сравнительная характеристика годового потребления энергии установками кондиционирования воздуха мощностью 10 кВт

Параметры	Сплит система	Установка свободного охлаждения
Общая холодопроизводительность, кВт	9,79	10,6
Явная холодопроизводительность, кВт	9,0	10,6
Мощность, потребляемая компрессором, кВт	3,65	3,84
Мощность, потребляемая вентилятором, кВт	0,65	0,46
Мощность, потребляемая вытяжным вентилятором, кВт	—	0,46
Мощность, потребляемая вентилятором конденсатора, кВт	0,16	—
Годовое потребление энергии, кВт/час	48072	10509

Годовая экономия энергии — 37565 кВт·часов, что составляет 75% от потребления энергии сплит системой.

Для повышения надежности системы кондиционирования воздуха оборудование необходимо резервировать, предусматривая второй кондиционер со 100%-ной холодопроизводительностью.

Кондиционирование воздуха в пищевом производстве

Одним из эффективных способов повышения качества пищевых продуктов является управление биохимическими, микробиологическими, коллоидными и другими процессами. Это относится к производству кондитерских изделий, хлеба, пива, молочных и мясных продуктов, чая, выдержке вин, хранению готовой продукции. Производство продуктов питания должно проходить в условиях, отвечающих санитарным требованиям, поэтому все цеха производства пищевых продуктов следует отнести к чистым помещениям, что требует устройства специальных систем кондиционирования воздуха.

Производство хлеба

Основными частями хлеба являются мука и вода. Муки в хлебе 60% по весу, воды – 40%. К муке и воде добавляются приправы, вкусовые вещества и дрожжи для процесса брожения. Кроме того, добавляется соль, сахар, молоко, а иногда и масло в очень небольших количествах. Качество готового хлеба зависит не только от того количества воды, которое добавляется при приготовлении теста, но и от гигроскопической воды, присутствующей в отдельных ингредиентах. Для получения хорошего хлеба мука должна содержать 13–15% гигроскопичной воды (по весу), сахар, соль и дрожжи не должны содержать воду. На хлебозаводах мука должна храниться в помещении с не слишком сухим воздухом, иначе процент гигроскопической влаги в ней уменьшится, мука потеряет в весе, качество хлеба понизится. С другой стороны, если мука хранится в сыром месте, на ней может появиться плесень. Циркуляция воздуха замедляет деятельность плесневых спор, но если скорость движения воздуха слишком велика, то он будет сушить муку.

Оптимальными условиями для хранения муки считаются температура воздуха 24°C и относительная влажность воздуха 70%. Большинство других ингредиентов при этой и более высокой температуре портится и, за исключением молока и дрожжей, должны храниться при температуре около 16°C. Дрожжи хранятся при температуре не выше 8°C, молоко — примерно при этой же температуре. В помещении, где мука и вода смешиваются с остальными ингредиентами, требуется поддержание температуры воздуха 21°C и относительной влажности — 70%. При смешении ингредиентов в быстроходных тестомесилках температура теста повышается из-за увеличения сопротивления теста при разбухании белковых веществ, содержащихся в клейковине муки. Температура теста не может быть выше 27°C, так как эластичность глютена муки (белковые вещества клейковины) и поглощение им воды уменьшаются, и при достижении им этой температуры процесс перемешивания должен прекращаться.

Предусматривают охлаждение теста для отвода теплоты. Одним из способов является подача в дежу тестомесилки охлажденного воздуха из установки кондиционирования воздуха для удлинения времени перемешивания и для аэрации теста, что способствует получению более нежного и белого хлеба. Однако из-за дополнительного значительного расхода холода этот способ применяется редко.

Кондиционирование воздуха ферментационного отделения (опары) имеет особо важное значение, так как здесь дрожжи совершают основную свою работу, процесс брожения протекает наилучшим образом при температуре 25–27°C и относительной влажности воздуха 75%. Такое значение относительной влажности воздуха предупреждает возможность образования на поверхности теста во время брожения твердой пленки, благодаря этому процесс брожения протекает равномерно по всей поверхности теста, и последнее поглощает нормальное количество влаги.

После ферментационного цеха тесто подвергается взвешиванию, разделению на куски и округлению. Оптимальная температура для этих процессов — 18°C и относительная влажность — 60–65%. Затем тесто отправляется для окончательной расстойки в отделение, где необходимо поддерживать температуру 35–40°C и относительную влажность — 80–85%. При выходе из отделения расстойки хлеб немедленно поступает в печь, где прекращается процесс ферментации и хлеб теряет часть влаги — около 10%. После выпекания хлеб охлаждают воздухом.

Наилучшие условия для хранения хлеба — температура 24°C и относительная влажность 60%.

Существуют ограничения по скорости воздуха в помещениях для приготовления теста: слишком быстрое движение воздуха у поверхности теста даже при нормальной температуре и относительной влажности воздуха способствует образованию пленок.

Производство кондитерских изделий

Важным режимным параметром кондитерского производства, продукция которого имеет ярко выраженные гигроскопические свойства, является относительная влажность воздуха. При относительной влажности воздуха более 50–60% изделия слипаются, деформируются, плохо отделяют-

ся от рабочих поверхностей машин. Кондиционирование воздуха в кондитерских цехах снижает продолжительность производственных операций (покрытие глазурью корпусов конфет, дражировку, глянцеование, выстаивание конфетных корпусов, студнеобразование мармеладно-пастильных масс), улучшает качество изделий и их сохраняемость и обеспечивает лучшую работу упаковочных автоматов, снижая стоимость упаковки. В цехах кондитерского производства применяют установки технологического кондиционирования воздуха для охлаждения поточных линий производства кондитерской продукции, которые работают на полной рециркуляции в теплое время года, на наружном воздухе — в холодное время года, и с частичной рециркуляцией — в переходное время года, и установки кондиционирования воздуха в производственных помещениях.

Недостаточно быстрое охлаждение карамели атмосферным воздухом снижает летом выработку поточных линий на 25–30%. Вследствие высокой гигроскопичности карамели, которая слипается при повышении относительной влажности воздуха более 55–60% и образует брак, в карамельных цехах необходимо осушать воздух. По ходу технологического процесса, в зависимости от характера и количества тепло- и влагоизбытков, выделяют следующие участки: сиропно-начиночную станцию, вакуум-аппаратное отделение (приготовление карамельной массы), отделение темперирования, разделочно-формовочное отделение, участки охлаждения на узких транспортерах и в шкафах, машинный зал аппаратов завертки и укладки. На первых трех участках максимальная теплонапряженность в теплое время года доходит до 250 Вт/м^3 , машинный зал завертки и упаковки карамели характеризуется удельной теплонапряженностью 47 Вт/м^3 . На участках разделочно-формовочного отделения и участка охлаждения в закрытые технологические аппараты подают воздух строго определенных параметров (температура — $12\text{--}15^\circ\text{C}$, относительная влажность — 45–55%), обработанный в индивидуальных установках кондиционирования воздуха практически при полной рециркуляции. Часто требуется достаточно глубокое осушение воздуха, которое может быть реализовано способом с использованием абсорбентов. В помещении машинного зала завертки, дражировки, укладки и расфасовки необходимо поддерживать летом температуру воздуха $22\text{--}25^\circ\text{C}$ и относительную влажность — 50%, зимой — температуру воздуха $18\text{--}20^\circ\text{C}$, относительную влажность — 55%.

Применяется кондиционирование воздуха в пекарных залах, технологическое охлаждение печенья воздухом в закрытых транспортерах, что ускоряет процесс в 2–3 раза и дает возможность сократить длину транспортеров. При использовании охлаждения печенья кондиционированным воздухом повышается качество изделий и сокращается количество брака: предупреждается деформация и растрескивание продукции за счет более мягкого режима охлаждения и выравнивания градиента влажности по толщине изделия.

Технологическое кондиционирование воздуха при охлаждении ириса и карамели происходит на конвейерах, формирующих машинах и охлаждающих столах, конфетных масс — на размазном конвейере, корпусов конфет — на установке выстойки, шоколадных сортов драже — в дражировочных котлах, в заверточных и упаковочных отделениях конфетного, шоколадного и карамельного производства, отделениях дражевания, в формовочных отделениях цехов по выработке высокоресептурных сортов конфет. При этом требуется поддержание температуры воздуха $22\text{--}25^\circ\text{C}$ и относительной влажности 45–50%. В складах готовой продукции конфетного, шоколадного и халвичного производства требуется охлаждение воздуха до температуры $20\text{--}22^\circ\text{C}$ при относительной влажности воздуха 65%. В отделениях фасовки какао-порошка, отделки тортов и пирожных необходимо поддерживать температуру воздуха $20\text{--}22^\circ\text{C}$ и относительную влажность 60%, в складах для хранения пленки — соответственно $18\text{--}20^\circ\text{C}$ и 55%.

В производстве мармелада и пастилы применяют охлаждение воздухом с целью ускорения структурообразования изделий (натурального и желеинового мармелада, пастилы, зефира, апельсиновых и лимонных долек), что позволяет сократить процесс структурообразования и перевести производство на поточный метод выработки и повысить производительность труда. В производственных помещениях поддерживают значение температуры $20\text{--}22^\circ\text{C}$, необходимое для технологического процесса.

Производство мясных продуктов

В основных цехах мясоперерабатывающего производства, где происходит контакт работающих с сырьем (цех разделки мяса, машинный зал и шприцовочная, котлетный цех, цех производства фасованного мяса, отрубов и полуфабрикатов и др.) температура воздуха принята 12°C, относительная влажность — 70%. Таким образом, расчетная температура является промежуточной между температурой, определяемой технологическими условиями 0–4 и температурой, соответствующей комфортным условиям 16–20°C. При температуре 12°C в помещении не появляются мухи, поскольку личинки развиваются при температуре выше 14–15°C. Отклонение от расчетных параметров допускается для температуры воздуха $\pm 1^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха $\pm 0,5\%$. Технологическое кондиционирование воздуха применяют в камерах и аппаратах размораживания мяса и мясопродуктов, посола и созревания мяса, термической обработки колбасных изделий.

Производство молочных продуктов

Технологическое кондиционирование воздуха при производстве молочных продуктов применяют в аппаратах сушки молока и казеина, соляном отделении, камерах созревания творога и сыра. Созревание сыра происходит при соблюдении определенного температурного режима и относительной влажности воздуха в подвалах или в специальных камерах (таблица 1.4). Применяют установки кондиционирования воздуха с увлажнением. В камерах созревания сыра применяют технологическое кондиционирование воздуха, а при созревании сыра в помещении подвала — с частичной рециркуляцией, связанной с необходимостью подачи некоторого количества наружного воздуха.

Процесс обработки воздуха в центральном кондиционере зависит от тепловлажностного отношения в камере или помещении для созревания. В помещениях подвала применяют установки кондиционирования воздуха с местным увлажнением. Для обработки воздуха может применяться охлаждение в поверхностном воздухоохладителе, нагревание в поверхностном воздухонагревателе и увлажнение воздуха паром. В качестве холодоносителя применяются незамерзающие растворы солей

Таблица 1.4. Условия созревания и хранения отдельных сортов сыров на заводе

Сыр	Первое отделение			Второе отделение			Хранение до реализации	
	Температура, °C	Относительная влажность, %	Продолжительность выдерживания, дни	Температура, °C	Относительная влажность, %	Продолжительность выдерживания, дни	Температура, °C	Относительная влажность, %
Швейцарский	20–25	92–94	0–45	10–12	87–88	До кондиционной зрелости		
Голландский, костромской	10–12	90–92	15–20	12–16	88–92	30–35	10–12	85–88
Угличский	12–14	90–92	30–45	10–12	88–90	До отгрузки	10–12	88–90
Латвийский	12–14	92–93	30	11–12	88–90		11–12	88–90
Рокфор из коровьего молока	6–8	92–95	60	6–8	88–90	30–45	<8	85

При изготовлении маргарина кондиционирование воздуха устраивают в помещении, где находятся вальцы, через которые продукт пропускается на одной из стадий технологического процесса. Относительная влажность воздуха должна быть такой, чтобы температура точки росы не превышала 10°C, так как такую температуру имеют поверхности охлаждаемых вальцов. Также в упаковочном отделении относительная влажность воздуха должна быть такой, чтобы при закладке продукта

в банки и укупорке их внутри не оставалась влага. После упаковки продукт выдерживается в камере хранения, температура воздуха которой должна отличаться не более чем на $0,5^{\circ}\text{C}$ от той температуры, которую имеет продукт до поступления в камеру.

Производство пива

Основные процессы при производстве пива следующие: приготовление солода, варка сусла с последующим его охлаждением, главное брожение сусла и дображивание пива при соответствующей выдержке, фильтрация и разлив пива.

В производственных помещениях пивоваренных заводов необходимо поддерживать такую температуру и относительную влажность воздуха, которые препятствуют образованию плесени и развитию вредной микрофлоры. Система кондиционирования воздуха солодовни должна обеспечить санитарное состояние и параметры воздуха, благоприятные для проращивания солода. В процессе приготовления солода происходят биохимические изменения при проращении зерна, связанные с выделением теплоты, влаги и углекислого газа. Аэрация зерна и регулирование температуры в пневматических солодовнях достигается продуванием охлажденного и увлажненного воздуха через слой зерна. В пневматических солодовнях температуру воздуха, поступающего к ящикам или барабанам с зерном, принимают около 12°C при относительной влажности воздуха 98%, температуру удаляемого воздуха — 16°C при относительной влажности воздуха 85%. Расход воздуха определяется из расчета, принимая кратность воздухообмена — 1,5–2.

В бродильных цехах с открытым брожением наблюдается выделение большого количества газов, теплоты и влаги, что требует значительного расхода холода. Для предупреждения появления плесени и развития вредной микрофлоры требуется поддерживать температуру воздуха 4°C при относительной влажности 70–75%. Поэтому в последние годы стали применять аппараты с закрытым процессом брожения. В таких бродильных цехах влаговыделений сравнительно немного. Поддерживаются следующие параметры воздуха: температура воздуха $4\text{--}6^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха 65–70%.

Технологические требования к параметрам воздуха в других помещениях пивоваренных заводов, где необходимо устройство систем кондиционирования воздуха:

- дрожжевое отделение бродильного цеха, отделения дображивания и выдержки пива, отделения сборников фильтрованного пива: температура воздуха 1°C , относительная влажность воздуха 65%;
- склад хмеля и сахара: температура 1°C , относительная влажность воздуха 60%.
- помещения экспедиции: температура воздуха $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность воздуха 65–70%.

В СКВ этих помещений используют растворы незамерзающих жидкостей для охлаждения воздуха.

Для покрытия теплопритоков через ограждения в некоторых цехах пивоваренных заводов с низкой температурой воздуха могут устраиваться системы панельного охлаждения.

Хранение и выдержка винных изделий

Технологические требования к параметрам воздуха в хранилищах марочных, столовых вин, вермутов, шампанских, а также для выдержки последних:

- при хранении в деревянной таре — температура воздуха $12\text{--}15^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха 75–80%;
- при хранении в металлической или железобетонной таре — температура воздуха $12\text{--}15^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха 50–55%.

В хранилищах крепленых и десертных вин:

- при хранении в деревянной таре — температура воздуха $16\text{--}18^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха 75–80%;

— при хранении в металлической или железобетонной таре — температура воздуха 16–18°C, относительная влажность воздуха 50–55%.

В складах готовой продукции, броидильном отделении завода шампанских вин (бутылочный метод), при выдержке шампанского в бутылках температура воздуха — 16–18°C, относительная влажность воздуха — 50–55%; при обработке и выдержке коньячных спиртов (в деревянной таре) необходимая температура воздуха — 18–20°C, относительная влажность — 70–80%; при обработке и выдержке коньяков температура воздуха — 18–20°C, относительная влажность — 70–75%; в контрольном складе завода шампанских вин температура воздуха — 18–20°C, относительная влажность воздуха — 50–55%.

Производство чая

В чаеобработывающем производстве в роллерных цехах при подвижности воздуха 0,7–1,0 м/с необходимо поддерживать температуру воздуха 22–24°C и относительную влажность 90–95%, при подвижности воздуха 1,0–1,3 м/с — температуру воздуха 22–24°C и относительную влажность 90–95%. В цехе необходимо обеспечить 4–5 кратный воздухообмен.

В ферментационных цехах требуемые по условиям технологии параметры воздуха следующие:

- в холодный период года температура воздуха — 18–20°C и относительная влажность воздуха — 97–98%;

- в теплый период года температура воздуха 21–24°C и относительная влажность 95–96%.

Для поддержания такого высокого значения относительной влажности воздуха применяются системы местного доувлажнения воздуха.

Кондиционирование воздуха в текстильном производстве

Физические свойства текстильных материалов значительно изменяются в зависимости от количества влаги, которая в них содержится. В текстильных материалах может быть гигроскопическая или свободная влага. Гигроскопическая влага — это та, которая поглощается или отдается любым материалом при изменении относительной влажности и температуры окружающего воздуха, она может составлять значительную часть общего веса текстильных материалов. Содержание этой влаги колеблется от 4% для хлопка в относительно сухом воздухе до 25% для шерсти во влажном воздухе. Гигроскопическая влага проникает в стенки волокон текстильных материалов в виде водяного пара, но при взаимодействии между паром и клетками волокон конденсируется, образуя невидимые частицы гигроскопической жидкости. Переход воды из парообразного в жидкое состояние увеличивает вес текстильных материалов. Текстильные материалы также содержат свободную влагу, т. е. воду в жидком состоянии, находящуюся между волокнами.

При слишком низкой относительной влажности воздуха волокна таких натуральных материалов, как шерсть, хлопок, шелк, а также синтетических материалов, таких как акрил, полиэстер становятся хрупкими и плохо поддаются обработке, увеличивается количество обрывов нити, станки чаще останавливаются, уменьшается производительность труда, ухудшается качество сырья и готовых изделий. Вследствие трения между материалами и лентами конвейеров или деталями оборудования возникают электростатические заряды, особенно сильные при относительной влажности воздуха меньше 55–65%. При низкой относительной влажности воздуха образуется больше пыли, раздражаются кожа и слизистые оболочки работающих в помещении, ухудшается их самочувствие.

Главные операции процесса превращения хлопка-сырца в ткань следующие:

- кардочесание (разрыхление и трепание);
- вытяжка;
- гребнечесание;
- получение ровницы;
- прядение;

— получение полотна прядением или вязанием.

Подобная технология применяется не только для изготовления изделий из чистого хлопка, но и из большинства синтетических волокон, а также изделий из смеси хлопка с вискозой и синтетическими материалами.

Целью процесса кардочесания является разделение и распутывание массы спутанных хлопковых волокон, удаление загрязнений и дефектных волокон и, наконец, соединение волокон и формирование непрерывной пряжи — ленты. В ходе процесса рыхления и трепания при механическом воздействии на волокно игольчатых решеток, разрыхлительных валиков, быстровращающихся барабанов, бил, трепал выделяется большое количество пыли. При низкой относительной влажности воздуха быстро засоряется кардочесальная машина, происходят частые разрывы ватки, очищенные хлопковые волокна оседают на поверхностях машины из-за зарядов статического электричества. Разрыхлительно-трепальные агрегаты оборудуются технологическими (встроенными в машины для перемещения разрыхленной массы) и гигиеническими (удаление пыли от машин) местными отсосами. Воздух, удаляемый местными отсосами и системами пневмотранспорта, очищается в фильтрах двух ступеней, что дает возможность применять рециркуляцию воздуха, то есть возвращать воздух, очищенный в фильтрах, в цех. При удалении воздуха этими системами за пределы помещения он должен быть компенсирован приточным воздухом.

В процессе вытяжки несколько вышедших из кардочесальной машины лент соединяются и протягиваются в лентовытяжной машине так, чтобы получить параллельное расположение волокон. При низкой относительной влажности воздуха у лент получаются рваные, разветвленные концы и неровности в виде толстых и тонких мест, кроме того, волокна прилипают к вытяжным цилиндрам машины и накапливаются в них, поэтому приходится часто останавливать машину.

При изготовлении высокосортной хлопчатобумажной продукции, например швейных ниток, тонкой пряжи и т. п., а также при изготовлении тканей, для которых требуются особо длинные хлопчатобумажные волокна, за процессом кардочесания следует процесс гребнечесания. Гребнечесание представляет собой тонкую операцию, при которой происходит дальнейшая очистка и удаление коротких волокон. При гребнечесании требуется более высокая относительная влажность воздуха, чем при кардочесании — 60–65%.

В процессе образования ровницы относительно толстые и тяжелые ленты, получаемые в лентовытяжной машине, вытягиваются в тонкие пряжи, пригодные для прядения. Во время получения ровницы лента должна хорошо удерживаться в перегонном банкаброше, отдельные волокна должны слегка прилипать одно к другому. Необходимо принимать меры для предупреждения возникновения электростатических зарядов.

В процессе чесания образуется большое количество отходов в виде пуха, очесов и орешка. Для уменьшения запыленности и утилизации отходов производится непрерывное удаление пуха и очесов от чесальных машин с помощью местных отсосов, встроенных в машины. Количество воздуха, удаляемого местными отсосами, приводится в технической характеристике машин. Уборка орешка, выпавшего под машины, осуществляется периодически или постоянно централизованной системой пневмотранспорта.

После очистки в фильтрах (две ступени) воздух, удаляемый от чесальных машин, выбрасывается наружу или возвращается в цех. На участках, где расположены чесальные, ленточные и ровничные машины выделяется значительное количество теплоты от оборудования, поэтому определяющим является воздухообмен на удаление избыточной теплоты. Приточный воздух подают обычно в верхнюю зону, а удаляют — из нижней зоны над полом.

Для получения нити традиционно использовали кольцевые прядильные машины: пряжи ровницы, получаемые с банкаброша, поступают в прядильный ватер, в котором они движутся медленно, закручиваются и наматываются на веретено. В пространстве около веретена воздух теплее и суше, получаемая со станка пряжа содержит меньше гигроскопической влаги, чем ровница.

Слишком сухая пряжа, по сравнению с пряжей, содержащей нормальное количество влаги, не только хуже качеством, но и имеет меньший вес, вследствие чего предприятие несет потери на разнице в весе сырья и готовой продукции. В последние годы произошла массовая замена традиционных кольцевых прядильных машин безверетенными пневмомеханическими и аэромеханическими прядильными машинами.

Технологический процесс выработки пряжи осуществляется по следующей схеме. Лента из тазов подается в зону разделения волокон, где интенсивно прочесывается. Разделенные волокна, увлекаемые воздушным потоком, поступают в прядильную камеру и выводятся на сборную поверхность ротора, который вращается с частотой 30–60 тыс. об./мин. Под действием центробежной силы волокна в роторе уплотняются и прикручиваются к концу пряжи, введенному в камеру. Вследствие этого происходит постепенное отделение пряжи от сборной поверхности. Сформированная пряжа получает определенную крутку в крутильной головке, после чего наматывается на бобины.

В прядильных цехах с машинами пневмомеханического прядения значительно больше суммарная установочная мощность электродвигателей машин и, как следствие, больше тепловыделения от машин, больше значение относительной влажности воздуха, машины имеют местные отсосы, удаление воздуха из помещения цеха обеспечивается только за счет местной системы вентиляции от машин. Все это необходимо учитывать при проектировании системы кондиционирования воздуха. В помещениях прядения особо важно поддерживать постоянное значение относительной влажности воздуха или постоянное содержание гигроскопической влаги в пряже, изменяя при этом температуру или относительную влажность в помещении.

В помещениях, где производится кручение, размотка пряжи, снование и намотка, должна поддерживаться достаточно высокая относительная влажность воздуха, чтобы пряжа оставалась прочной и мягкой, для них также характерны значительные тепловыделения от оборудования.

Во всех помещениях прядильного производства, наряду с обработкой приточного воздуха в центральной системе кондиционирования воздуха, применяют местное увлажнение воздуха для уменьшения нагрузки на охлаждение центральной системы и для борьбы со статическим электричеством. Положительные заряды могут быть частично или полностью нейтрализованы, если воздух дополнительно увлажняется непосредственно в производственном помещении при работе местных увлажнителей, так как распыление воды сопровождается образованием отрицательных ионов.

При изготовлении тканей наблюдается улучшение качества продукции и уменьшение числа остановок машин при повышенной относительной влажности воздуха в помещении. Обычно для изготовления печатных тканей, простынного полотна употребляют пряжу, полученную из коротких волокон, которая требует значительно большей крутки по сравнению с пряжей из длинных волокон при той же ее прочности. Это дополнительное кручение пряжи увеличивает образование петель и уменьшает способность поглощать гигроскопическую влагу, являясь косвенной причиной понижения прочности пряжи. Обычно один рабочий обслуживает несколько десятков автоматических ткацких станков, обрыв нити и устранение его приводят к остановке станков и снижению производительности труда. Поддержание высокого значения относительной влажности воздуха значительно сокращает число случаев обрыва.

В ткацких цехах, как правило, отсутствуют местные отсосы, схема организации воздухообмена — сверху–вниз, в них применяют обработку воздуха в центральных системах с местным увлажнением, кроме ткацких цехов с жаккардовыми станками, где доувлажнение недопустимо.

Пряжа недавней выработки, даже если она изготавливалась в благоприятных условиях, свертывается петлями при размотке с катушки, что объясняется естественной эластичностью волокон, в которых после кручения пряжи остаются внутренние напряжения. С течением времени эти напряжения и способность нитей пряжи самопроизвольно завиваться в петли исчезают, так как волокна ослабевают и изгибы переходят в остаточную деформацию.

В трикотажном производстве свертывание нитей пряжи в петли является серьезной помехой для получения хорошей вязки, поэтому необходимо устранить это свойство пряжи перед поступлением в производство. Может применяться обычная выдержка на складе, но пряжа должна храниться долго, что обходится дорого. Уничтожить внутренние напряжения возможно при воздействии на пряжу теплым влажным воздухом, для чего ее помещают в специальную камеру с хорошей циркуляцией воздуха. Аналогичным способом с использованием теплого влажного воздуха, но путем непрерывного движения бобин с пряжей через машины, где распыляется горячая вода и пар, обрабатывается уточная пряжа, применяемая в автоматических ткацких станках для изготовления ткани.

В процессе вязания пряжа совершает быстрые и сложные движения, она должна быть ровной, гибкой, крепкой и не завиваться в петли, не должно возникать статического электричества, поэтому в помещениях вязания трикотажных полотен также необходимо поддерживать относительную влажность воздуха не ниже 60%.

Технология переработки шерстяного сырья, синтетических волокон подобных шерсти, таких как акрил, смеси натуральных и синтетических волокон (нитрон, капрон, вискоза, лавсан и т.д.), подобна технологии переработки хлопка, но имеет свои особенности, связанные с особенностями исходного сырья. В отличие от хлопка сырье шерсти имеет большее загрязнение, нерегулярную структуру, сальный налет. Сырье необходимо мыть с целью уменьшения содержания жира, повышения гигроскопичности и лучшего разделения волокон. Волокна шерсти имеют чешуйчатую структуру, часто естественную завивку, вследствие чего они больше сцеплены между собой и требуют особой обработки. Технология производства шерсти более сложная, чем хлопка. Шерсть, в отличие от хлопка и синтетических волокон, при ее обработке требует более высокого значения относительной влажности воздуха, особенно при ее прядении.

Шерстяные предприятия делятся на суконные и камвольные. В состав суконных фабрик входят следующие отделения: подготовительное, по переработке отходов, аппаратное, прядильное. В состав камвольных фабрик входят отделения: подготовительное, по переработке отходов, чесальное, ленточное, первое гребнечесальное, ровничное, второе гребнечесальное, прядильное. Кроме того, имеются участки, на которых производят карбонизацию, крашение, отжим и сушку сырья или ровницы. В ходе технологического процесса в производственные помещения поступают теплота и пыль, причем наибольшее количество пыли выделяется в подготовительном отделении, а теплоты — в аппаратных и прядильных цехах. В подготовительных отделениях и отделениях по переработке отходов используются системы пневмотранспорта волокна и отходов и аспирации машин. Рециркуляция воздуха, удаляемого этими системами, не допускается. В ленточных, ровничных, гребнечесальных и прядильных отделениях применяют системы местного увлажнения воздуха.

Кондиционирование воздуха в микрoeлектронном производстве

Изготовление полупроводниковых приборов основано на локальном легировании кристаллов кремния, германия и других полупроводников элементами третьей и пятой группы, после чего отдельные области приобретают электронную или дырочную проводимость. Внедрение примесей в нужные области полупроводникового кристалла обычно производится путем диффузии примесных элементов с поверхности кристалла в его объем, которая осуществляется при высоких температурах (для кремния порядка 1300°C). При этом поверхность кристалла должна быть свободна от посторонних примесей, т. е. «чистой». В связи с этим значительное место в технологии изготовления полупроводниковых элементов занимают процессы очистки поверхности: обработка и отмывка химическими реактивами, моющими растворами. Кроме того, и окружающий воздух должен иметь минимальное количество примесей.

Вытравливание на пластине отдельных областей для дальнейшей диффузии осуществляется с помощью контактной фотолитографии. Важным элементом конструкции интегральных схем и полупроводниковых приборов являются металлические пленки. Эта операция осуществляется на участке напыления.

На каждом этапе обработки изделия в процессе его изготовления они контактируют с воздухом помещения, где выполняются эти операции. Наибольшее влияние на процессы изготовления полупроводниковых элементов оказывают: температура воздуха, относительная влажность, запыленность, содержание в нем примесей в виде газов и паров жидкостей. Наибольшее значение имеет не столько значение температуры, сколько ее постоянство в течение проведения процесса. Постоянное значение относительной влажности воздуха необходимо для защиты материалов, изделий и инструмента от коррозии, предотвращения выпадения влаги на рабочих поверхностях, снижение зарядов статического электричества, которые способствуют притяжению взвешенных частиц и могут привести к повышенной концентрации пыли в зоне обработки деталей до недопустимых пределов. Загрязняющая частица на поверхности полупроводникового прибора может вызвать короткое замыкание и выход прибора из строя.

Для того чтобы избежать проблем, связанных с загрязнениями, производство полупроводниковых приборов размещают в чистых помещениях, отвечающих очень высоким требованиям чистоты.

Кондиционирование воздуха в чистых помещениях

Чистые помещения, среда которых не содержит загрязнений и бактерий, используются в большинстве современных производств.

Первые чистые помещения были созданы в больницах для борьбы с инфекциями, в настоящее время высокие технологии выдвигают особые требования к чистоте среды для промышленного производства. Чистые помещения применяются в электронной промышленности при производстве компьютеров, телевизоров, мониторов, в микроэлектронной промышленности при производстве интегральных схем, устанавливаемых в компьютерах и микропроцессорах систем управления, в микромеханике при производстве гироскопов, миниатюрных подшипников, считывающих устройств для компакт-дисков, в оптической промышленности при производстве линз, фотопленки, лазерного оборудования.. В таких производствах даже субмикронные частицы загрязнений могут нарушить функционирование изделий и снизить срок службы.

Есть категория производств, где недопустимо присутствие в производственной среде микроорганизмов, вызывающих возникновение инфекций. К ним относятся производственные помещения биотехнологии, генной инженерии, фармацевтической промышленности, особого медицинского оборудования (сердечные клапаны, системы кардиошунтирования), пищевой промышленности. В связи с ростом высокотехнологичных производств перечень областей применения чистых помещений будет пополняться.

Согласно стандарта ISO 14644-1 чистое помещение — это помещение, в котором контролируется счетная концентрация аэрозольных частиц, построенное и используемое так, чтобы свести к минимуму поступление, генерацию и накопление частиц внутри помещения, в котором при необходимости контролируются другие параметры, например, температура, относительная влажность воздуха и давление. Создать и поддерживать в чистом помещении требуемое качество воздуха и требуемые параметры микроклимата возможно только с помощью специальных систем кондиционирования воздуха.