МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К. И. Сатпаева

Д. М. Акубаева

ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА В ОХРАНЕ ТРУДА

Рекомендовано Научно-методическим советом университета
в качестве учебного пособия

Алматы 2016

УДК 628.8 (075.8)
А 44

Рецензенты:
Утепов Е. Б. – акад. МАНЭБ, засл. деят. науки, д-р техн. наук, проф. КазНИТУ им. К. И. Сатпаева;
Меркулова В. П. – доц., канд. техн. наук, акад., испол. дир. МАИН;
Долгов П. В. – проф. КазНИТУ им. К. И. Сатпаева

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2016 г.

Акубаева. Д. М.
А 44 Вентиляция и кондиционирование воздуха в охране труда: Учебное пособие /Д. М. Акубаева. – Алматы: КазНИТУ имени К. И. Сатпаева, 2016. – 130 с. Ил. 64. Табл. 2. Библиогр. – 28 назв.

ISBN 978-601-323-007-8

Данное учебное пособие «Вентиляция и кондиционирование воздуха в охране труда» предназначено для студентов-бакалавров специальности 5В073100 «Безопасность жизнедеятельности».

Учебное пособие является основополагающим обширных знаний по вентиляции, очистке, кондиционированию воздуха и локализации вредных веществ.

УДК 628.8 (075.8)

ISBN 978-601-323-007-8
©Акубаева Д. М.,2016
©КазНИТУ им. К. И. Сатпаева, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Здоровье, работоспособность, да и просто самочувствие человека в значительной степени определяются условиями микроклимата и воздушной среды в жилых и общественных помещениях, где он проводит значительную часть своего времени.

Если говорить о физиологическом воздействии на человека окружающего воздуха, то следует напомнить, что человек в сутки потребляет около 3 кг пищи и 15 кг воздуха. Что это за воздух, какова его свежесть и чистота, душно, жарко или холодно человеку в помещении, во многом зависит от инженерных систем, специально предназначенных для обеспечения воздушного комфорта.

Производственный процесс сопровождается выделением в воздух рабочих помещений вредных для здоровья человека газов и паров. Кроме того, в воздух производственных помещений могут поступать большое количество тепла, влаги и пыли, повышающие его температуру и влажность, а также увеличивающие его запыленность. Люди, находящиеся в помещениях, также выделяют в воздух помещений тепло, влагу, углекислый и другие газы. Вследствие поступления в воздух вредных газов, паров, тепла, влаги и пыли происходит изменение его химического состава и физического состояния, неблагоприятно отражающееся на самочувствии и состоянии здоровья человека и ухудшающее условия труда.

Для поддержания в помещениях нормальных параметров воздушной среды, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям, устраивают вентиляцию и кондиционирование.

Системы кондиционирования и вентиляции все больше обусловливают комфорт нашей жизни. Актуальностью этого явления является исследование этих систем.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

1.1. Метеорологические условия производственной среды

По различным причинам в воздухе, который принято называть *чистым* или *свежим*, могут появляться вещества, условно делящиеся на вредные и опасные. Вредные вещества вызывают общие и профессиональные заболевания, а опасные могут приводить к взрывам, пожарам и травмам различной тяжести и другим последствиям.

К вредным и опасным веществам (явлениям, процессам) в воздушной среде относятся: избыточная теплота; избыточные пары воды; пыль (токсическая, нетоксическая, радиоактивная); различные газы и пары [1].

Избыточная теплота. Такой теплотой называют *разность суммарных теплопоступлений и суммарных теплопотерь*. Избытки теплоты измеряют в Вт, кДж/ч (ккал/ч).

В производственных помещениях источники, выделяющие теплоту, чрезвычайно разнообразны. За расчетное количество теплоты, которое должно учитываться при определении воздухообмена, принимается общее количество теплоты, выделяемое одновременно всеми источниками. Из этого количества следует вычесть потери теплоты внешними ограждениями и изделиями, удаляемыми из помещения в нагретом состоянии.

Наиболее надежным путем для установления расчетного количества теплоты является экспериментальное определение теплового баланса помещения. Такой баланс нужно определять по возможности при установившемся тепловом состоянии помещения.

В некоторых случаях представляется возможным пользоваться имеющимися на предприятиях или опубликованными в литературе данными тепловых испытаний теплопотребляющего оборудования. Теплота от источников поступает в помещение конвекцией и лучеиспусканием. Теплота, повышающая температуру воздуха в помещении, называется *явной*. Теплота, поступающая в воздух в виде паров, называется *скрытой,* так как, увеличивая энтальпию воздуха, она не изменяет его температуры.

В некоторых случаях оказывается достаточным составление баланса только по явной теплоте. В помещениях с активными влагообменными процессами необходимо составление баланса по *полной теплоте,* т. е. с учетом скрытой теплоты, которая содержит водяные пары, поступающие в воздух помещения.

Приведем некоторые примеры, связанные с тепловыделениями.

Общие тепловыделения человека во внешнюю среду колеблются от100 до 300 Вт, в зависимости от тяжести выполненной работы и температуры воздуха.

Количество теплоты (тепловая мощность), Вт, поступающей от оборудования, находят по формуле

$$Q = N\eta \cdot 10^3,$$

где N – мощность оборудования, кВт; η – коэффициент, учитывающий тепловые потери оборудования, принимается в пределах 0,25...0,15.

Количество теплоты, Вт, от источников освещения определяют через тепловую мощность

$$Q = N_{осв}\eta \cdot 10^3,$$

где $N_{осв}$ – установочная мощность ламп, кВт; η –коэффициент, учитывающий тепловыделения; при использовании ламп накаливания =0,92...0,97, люминесцентных ламп = 0,5...0,6.

Влаговыделения. Выделение влаги людьми зависит от выполняемой ими работы, а также от метеорологических условий в помещении. Количество выделяемой людьми влаги, г/ч, определяется по формуле

$$G=ng,$$

где n –количество людей; g– количество выделяемой влаги одним человеком (в зависимости от характера выполняемой работы) изменяется от 35 до 430 г/ч.

Большое количество влаги может выделяться в отдельных производственных помещениях от оборудования (кожевенная и пищевая промышленности, бани, прачечные).

Пыль. Под пылью понимается смесь воздуха с взвешенными в нем частицами твердого вещества. Размер этих частиц составляет $10^{-4}...10^{-1}$ мм. Пыль бывает различного происхождения – производственная, бытовая, природная и др. Некоторые виды пыли взрывопожароопасны.

Пыль загрязняет окружающую среду, вызывает заболевания органов дыхания (пневмокониоз). Взвешенная в воздухе пыль является аэрозолем. Осевшую пыль называют аэрогелем. Предельно допустимая концентрация (ПДК) пыли зависит от ее минимального вещественного количества и колеблется от 1 до 10 мг/м^3.

С пылью связано наличие микроорганизмов в воздухе. Число их увеличивается при загрязнении воздуха пылью. Воздух считается загрязненным, если в одном кубическом метре находится более 4500 микроорганизмов.

Механические примеси к воздуху влияют на увеличение потерь в воздухопроводах (за счет трения частиц о стенки). Влияние это тем значительнее, чем больше весовая концентрация пыли.

Количество газов и паров жидкостей, выделяющихся в процессе производственных операций, колеблется в широких пределах и зависит от характера и условий производства. Эти данные следует брать из соответствующих справочников и руководств или определять экспериментально (для действующих производств).

Рассмотрим некоторые вредные и опасные примеси, встречающиеся в воздухе.

Оксид углерода (CO) – угарный газ приводит к наибольшему числу отравлений. Это газ без запаха и цвета; продукт неполного сгорания углерода.

Выделения оксида углерода имеют место в цехах металлургической промышленности: в доменных, газосиловых, мартеновских, коксовых, газогенераторных и др.; машиностроительной: в литейных, кузнечных, термических; в горнорудной: шахтах, рудниках, карьерах и т. д.

Оксид углерода выделяется также в гаражах, котельных. Источниками CO в производственной обстановке являются промышленные печи, сушила, например залитые опоки, газопроводы (в неплотностях соединений), двигатели внутреннего сгорания и т. д.

В горючих газах, применяющихся в качестве топлива для промышленных печей, содержание CO составляет примерно следующие количества: в каменноугольном газе – 10 %, доменном – 30, генераторном – 30, коксовом – 6 %.

Газы, образующиеся при взрывах промышленных вредных веществ (аммонит, игданит, зерно-гранулит), содержат 50...60 % CO.

В выхлопных газах двигателя внутреннего сгорания содержание CO составляет от 2 до 7 %. Последние цифры могут относиться и к продуктам сгорания промышленных печей.

Действие оксида углерода на организм может прекратить снабжение тканей кислородом, т.е. может произойти кислородное голодание (удушение). Плотность CO по отношению к воздуху равна 0,97.

Диоксид серы SO_2 – бесцветный газ с едким запахом и вкусом, в промышленности SO_2 применяют главным образом для беления шерсти, шелка, бумажной массы и т.д. В качестве побочного продукта SO_2 выделяется при производстве серной кислоты, целлюлозы, при обжиге руд, содержащих сернистые соединения. Сернистый газ выделяется также в котельных и зольных при сжигании углей, содержащих серу. Выделяется при взрывных работах и пожарах. Сернистый газ вызывает раздражение дыхательных путей. Он тяжелее воздуха в 2,3 раза.

Азотная кислота и окислы азота (N0, NO_2, N_2O_4, N_2O_5) – находят применение в химической промышленности: в производстве серной кислоты, анилиновых красок; в текстильной промышленности при приготовлении и применении диазокрасок; в металлообработке при травлении металлов, электролизе; в производстве взрывчатых веществ; при взрывных работах; при производстве искусственных удобрений. В непроветриваемых помещениях, где хранится азотная кислота, образуется значительное количество оксидов азота.

Азотная кислота и оксиды азота являются прежде всего раздражителями слизистых оболочек дыхательных путей, могут вызывать отек легких. Оксиды азота тяжелее воздуха.

Свинец, его неорганические соединения, пары свинца и свинцовая пыль – вредные вещества, контакт с которыми возможен в рудниках, при выплавке свинца и серебра из руды; выплавке цинка; получении глета и сурика, производстве аккумуляторов; фарфоро-фаянсовом и гончарном производстве; в полиграфической промышленности; резиновом производстве; при оцинковке, паянии, лужении; в стекольном производстве и т.д.

Частицы свинца, попавшие в организм при вдыхании, вызывают хронические отравления.

Ртуть – тяжелый жидкий металл, кипит при 357 ^{0}С, но легко испаряется даже при комнатной температуре. Наибольшую опасность ртуть представляет при выплавке ртути из руды, в производствах, изготовляющих приборы с ртутью, и на ртутных выпрямительных подстанциях.

Отравление ртутью может происходить исключительно при поступлении ее в организм в виде паров через дыхательные пути.

Марганец – соединения марганца встречаются в производстве марганцевых сплавов, при добыче руды, изготовлении гальванических элементов, при электросварке с применением электродов с марганцевой обмазкой, в производстве красок, сиккативов и т. п.

Пыль и пары марганца могут поступать в организм через дыхательные пути.

Цинк *(пары и пыль)* встречается при обжиге цинковых руд, при изготовлении цинковых белил, при получении сплавов с цинком, при выплавке и розливе меди и т. п.

Пары цинка в воздухе помещения быстро окисляются в белый порошок оксида цинка. В первый момент в воздухе образуется взвесь оксида цинка в виде густого дыма, состоящего из частиц 0,5...0,1 мкм, затем эти частицы сгущаются в более крупные конгломераты, которые опасности не представляют.

Высокая дисперсность частиц оксида цинка позволяет им проникать в самые глубокие отделы дыхательных путей.

Растворители – объединяют группу веществ – углеводородов ароматического и жирного рядов, применяющихся в промышленности для обезжиривания, приготовления красок, лаков и растворения различных органических веществ.

Легкая испаряемость растворителей и, следовательно, возможность поступления их в значительном количестве в воздух, способность проникать в организм, всасываясь через неповрежденную кожу человека, создают опасность отравления работающих.

Бензин – сложная смесь продуктов перегонки нефти. Нефть подвергается фракционной перегонке, при которой получается ряд горючих маслообразных продуктов: между 40 и 150 ^{0}С – бензин, между 150 и 200 ^{0}С – уайт-спирит, лигроин, керосин и от 250 ^{0}С – смазочные масла, вазелин и парафин.

Бензин обладает резким запахом, испаряется при обычных температурах и легко воспламеняется. Он применяется в резиновом производстве в качестве составной части резинового клея и растворителя лаков, каучука и красок. Как топливо бензин используется в двигателях внутреннего сгорания. Выделение паров бензина имеет место, кроме того, на нефтеперегонных заводах и в складах нефтепродуктов.

По своему составу бензин представляет непостоянную смесь различных углеводородов с температурой кипения от 40 до 150 ^{0}С. Наиболее токсичная составная часть бензина – ароматические углеводороды содержатся в различных марках в количестве от 2 до 16 %.

Бензин легко испаряется при обычных температурах. Пары бензина в организм попадают через дыхательные пути. В сравнительно малых дозах он вызывает своеобразное возбуждение (опьянение). При возрастающей интоксикации может произойти внезапная потеря сознания с судорогами. Пары бензина тяжелее воздуха и при определенных концентрациях взрывоопасны.

Бензол (CgHg) – жидкость с ароматным запахом испаряется при комнатной температуре, кипит при 79,6 ^{0}С, легко воспламеняется. Пары бензола почти в три раза тяжелее воздуха. Используется в различных отраслях промышленности как растворитель жиров, лаков, красок, каучука, гуттаперчи.

Бензол влияет на центральную нервную систему, вызывая головные боли, слабость, головокружение, а в более тяжелых случаях – бред, судороги, потерю сознания.

Чистый бензол образует с воздухом сильно взрывчатые смеси.

Ацетон (CH_3COCH_3) – бесцветная, легковоспламеняющаяся жидкость, кипящая при температуре 56 °С. Ацетон отличается сильной летучестью при комнатной температуре; применяется в качестве растворителя при пульверизационных окрасках в целлюлозной и лаковой промышленности, при производстве искусственного (ацетатного) шелка и т. п.

Длительное вдыхание малых количеств ацетона вызывает раздражение верхних дыхательных путей и бронхов, головную боль.

Амилацетат, этилацетат, бутилацетат с соответствующими температурами кипения 135...140 ^{0}С, 74...75 ^{0}С, 121... 127 ^{0}С (их пары тяжелее воздуха в 3,5 и 4 раза) – применяются в промышленности главным образом в качестве растворителей нитроцеллюлозных лаков. Они вызывают кашель, головокружение, сердцебиение и усталость.

Аммиак (NH_3) применяется в аммиачных холодильных установках, выделяется через неплотности соединения трубопроводов, вентилей; в больших количествах образуется при разложении содержащих азот веществ, в канализационных колодцах и т.д.

Аммиак вызывает сильное раздражение слизистых оболочек, верхних дыхательных путей и глаз. Его плотность по отношению к воздуху равна 0,59.

Формальдегид (CH_2O) – газ с резким неприятным запахом, выделяется при работе двигателей внутреннего сгорания. Формальдегид оказывает раздражающее действие, поражая центральную нервную систему, способен вызывать аллергические заболевания. Его плотность по отношению к воздуху равна 1,4.

Радон (Rn) – газообразный радиоактивный изотоп, продукт распада радия (период полураспада Rn 3,825 сут.). Радон в 7,6 раза тяжелее воздуха, поэтому может скапливаться в подвальных помещениях. В естественных условиях радон выделяется из содержащих радиоактивные элементы пород (гранит, слан-

цы). Опасность представляют α- и β-частицы и λ-лучи; облучение радоном и продуктами его распада.

Полное описание вредных веществ приводится в справочниках.

Смеси воздуха с оксидом углерода, ацетиленом, этиленом, бензолом, бензином – взрывоопасны и пожароопасны. Каждая смесь имеет определенную температуру воспламенения. Если эта температура достигнута только в части смеси, то наступает воспламенение или взрыв всей смеси. Наступившая реакция распространяется с огромной, возрастающей скоростью.

Большей частью причиной взрывов является искра, пришедшая в соприкосновение с газом. Взрыв может произойти только при определенном соотношении горючих газов с воздухом или кислородом. Так, например, смесь метана с воздухом при концентрации кислорода в смеси равном 20 % взрывчата только при содержании более 5,3 % метана [1].

Пары разного рода летучих растворителей при определенном содержании в смеси с воздухом также взрывоопасны и пожароопасны. Они в больших количествах выделяются, например, при пневматической окраске мелких и крупных предметов, при обезжиривании металлических изделий и так далее.

Количество вредных примесей, поступающее в воздух помещения в единицу времени, служит исходным параметром для определения необходимого количества воздуха при общеобменной вентиляции.

В отношении пыли общее количество продукта, превращенного в пыль и поступившего в воздух помещения в единицу времени, не может служить основанием для определения воздухообмена в силу того, что пыль состоит из самых разнообразных по размеру, форме и плотности частиц, которые по разному ведут себя в воздухе. Крупные и тяжелые частицы быстро оседают на различные поверхности, выпадая из воздуха, и только мельчайшие перемешиваются с воздухом и подобно газам разносятся воздушными потоками по помещению, участвуя в циркуляции.

Количество воздуха при местной вытяжной вентиляции определяется в зависимости от ее вида и типа приемника – местного отсоса; при этом чаще всего исходят из скоростей в

отверстии приемника, которые должны обеспечить наибольший захват вредных примесей.

Таким образом, только при общей вентиляции требуется тщательное определение количества вредных примесей, поступающих в воздух помещения.

Для определения количества вредных выделений пользуются или теоретическими подсчетами, или проверенными экспериментальными данными, а в некоторых случаях для этого приходится ставить специальные опыты.

Наиболее надежным является последний путь, однако применение его возможно только в существующих цехах, между тем как вентиляционные мероприятия должны быть предусмотрены еще при проектировании цехов. Но и в этих случаях представляется возможность использовать данные опыта, полученные при испытании аналогичных существующих цехов, при наличии такого же оборудования в них, как и в проектируемых.

Чтобы определить содержание вредных веществ экспериментальным путем, нужно измерить количество воздуха, проходящее в единицу времени через исследуемое помещение, и концентрацию вредных веществ в воздухе при поступлении и выходе его из помещения.

Вентиляция – это организованный и регулируемый воздухообмен, осуществляемый с целью создания в помещениях различного назначения воздушной среды, безопасной и благоприятной для здоровья и трудовой деятельности человека.

Совокупность технических средств, обеспечивающих воздухообмен (вентиляторов, электродвигателей, воздухопроводов, калориферов, кондиционеров, дефлекторов, очистных аппаратов, воздухоприемных и воздухораздающих устройств и др.), образуют систему вентиляции.

Перемещение воздуха осуществляется за счет теплового напора и (или) создаваемого ветром динамического напора или за счет механической работы побудителей тяги (вентиляторов, эжекторов и др.). В первом случае вентиляция называется естественной, во втором – механической, или искусственной.

В любом случае создается некоторая разность давлений, что приводит к движению воздуха из мест с большим давлением в сторону меньшего давления.

В *системах естественной вентиляции* под влиянием теплового и скоростного давления воздух удаляется через вентиляционные каналы, проложенные в стенах или через воздухопроводы.

Ветер обдувает специальное устройство – дефлектор, позволяющее создавать разрежение при любых направлениях ветра. К отверстию дефлектора присоединена сеть воздухопроводов, через которую из различных точек производственного помещения удаляется воздух, содержащий те или иные вредные примеси.

Величина теплового или гравитационного напора P_T, Па, определяется по формуле

$$P_T = h_i g(\rho_н - \rho_в),$$

где h_i – расстояние по вертикали от центра вентиляционного отверстия в помещении до центра воздуховыпускного отверстия, м; g – ускорение свободного падения м/с^2; $\rho_н, \rho_в$ – плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3.

Из формулы следует, что тепловой напор на верхних этажах меньше, чем на нижних.

Напор, создаваемый ветром в дефлекторе $P_в$, Па, рассчитывается по формуле

$$P_B = K \frac{\upsilon^2}{2} \rho_H ,$$

где K – коэффициент, учитывающий часть кинетической энергии ветра, переходящую в потенциальную энергию; значение коэффициента K может быть больше нуля (+) и тогда возникает давление больше атмосферного и меньше нуля (-), т.е. наблюдается разрежение; для создания разрежения в вытяжной трубе (шахте) дефлектор следует устанавливать выше конька крыши не менее чем на 1 м.

Бывают бесканальные системы естественной вентиляции. В этих системах воздух входит в помещение и уходит из него через специальные проемы (отверстия) в строительных ограждениях. Такую систему естественной вентиляции называют аэрацией. Аэрация широко применяется для вентиляции производственных зданий с большими избыточными тепловыделениями [2].

По охвату вентилируемых объемов помещения *системы механической вентиляции делятся* на общеобменные и местные.

Общеобменные системы вентиляции бывают воздуховодные, в которых воздух движется по трубам, и бесканальные. Общеобменные воздуховодные системы вентиляции делятся на приточные, вытяжные и приточно-вытяжные. Различие между этими системами состоит в том, что приточные системы создают положительное давление (+), вытяжные – отрицательное (-), а приточно-вытяжные – в одной части помещения (+), в другой (-) давление, переходящее через 0.

Приток воздуха в помещение осуществляется равномерно по всей площади или сосредоточенно из нескольких точек.

При рассредоточенной подаче используются приточные насадки, которыми оканчиваются ответвления воздухопроводов. Применяют следующие виды насадок: для вертикальной подачи воздуха; для рассеивания вертикальной струи; для наклонной подачи воздуха; насадки с лопатками; перфорированные насадки и те же с заглушённым концом; тангенциальные насадки.

Местные системы вентиляции могут быть приточными и вытяжными. Последние получили весьма широкое распространение в производственных помещениях, так как позволяют решать задачи создания заданных условий воздушной среды наиболее экономичным путем. Местные вытяжные системы вентиляции, или местные отсосы, предназначены для улавливания выделяющихся вредных веществ вместе их образования. Этим предотвращается распространение вредных примесей во всем объеме помещения.

Местные приточные системы вентиляции осуществляют подачу воздуха в определенную зону помещения (чаще всего на рабочее место, а иногда в место, отведенное для отдыха). В зоне

действия подаваемого воздуха создаются условия, отличающиеся от условий во всем объеме помещения и удовлетворяющие постоянным требованиям.

При конструктивном оформлении местных вытяжных и приточных систем вентиляции необходимо учитывать аэродинамические свойства той зоны движущегося воздуха, которая непосредственно примыкает к всасывающему и нагнетательному (приточному) отверстию. Эти зоны носят соответственно названия всасывающего и приточного факела, или спектра всасывания и приточной струи.

Скорости движения воздуха в зоне спектра всасывания быстро затухают. На некотором расстоянии от плоскости сечения круглого отверстия, равном одному диаметру, скорость воздуха меньше 0,1 величины скорости в начальном сечении. Подтекание воздуха вблизи всасывающего отверстия происходит со всех сторон.

Приточный факел (струя) весьма дальнобоен. Осевая скорость уменьшается медленно и значения 0,1 от начальной величины достигает на расстоянии примерно 50 диаметров от приточного отверстия.

Местные вытяжные системы вентиляции или местные отсосы подразделяются в зависимости от конструктивного оформления воздухоприемного устройства на вытяжные зонты; вытяжные шкафы и кожухи; бортовые отсосы.

Вытяжным зонтом называется такая разновидность местного отсоса, когда воздухоприемное устройство (приемник) находится на некотором расстоянии от источника выделения вредных примесей, и окружающий воздух может свободно поступать в зону действия отсоса.

Зонты не являются совершенными местными отсосами, так как требуют удаления вместе с выделяющими вредными веществами больших количеств воздуха и могут использоваться для удаления не слишком токсичных вредных веществ при обязательном наличии соответствующего конвективного потока, т.е. при попутных тепловыделениях.

Возможно применение зонтов с естественной вытяжкой, если у выделяющегося вредного вещества имеется достаточная

подъемная сила и помещение обеспечено организованным притоком (во избежание опрокидывания тяги). Высота расположения зонта над уровнем пола должна быть 1,8...2,0 м, чтобы обслуживающий персонал не задевал его головой. Для обеспечения равномерности всасывания угол при вершине зонта не должен превышать 60°. В последнее время нашли довольно широкое применение так называемые кольцевые отсосы.

Вытяжными шкафами и кожухами называются такие местные отсосы, в которых источник выделения вредных примесей находится внутри воздухоприемного устройства (приемника). Окружающий воздух из помещения может поступать к источнику выделения вредных веществ лишь через специальные, сравнительно небольшие отверстия, предназначенные для работы или контроля.

Разница между вытяжными шкафами и кожухами заключается в том, что последние обычно применяются для отсоса вредных веществ, выделяющихся от различных станков (деревообрабатывающих, шлифовальных, заточных и т.д.) и имеют соответствующую им форму.

Вытяжные шкафы и кожухи являются более совершенным, чем зонты, видом местных отсосов. Размещение источника выделения вредных веществ внутри шкафа или кожуха способствует лучшему удалению их и препятствует распространению вредных веществ в объеме помещения.

Объем воздуха, отсасываемого через рабочие отверстия, меньше, чем объем воздуха, удаляемого через зонт, и зависит от конструктивного выполнения шкафа или кожуха, характера и особенностей выделяющихся вредных веществ, а также от степени их токсичности.

Поступление вредных примесей из шкафа или кожуха в помещение в общем случае вызвано образованием повышенного давления внутри них (чаще всего из-за разности температуры по сравнению с температурой воздуха помещения), циркуляцией струй внутри шкафа или кожуха, движением воздуха в помещении и, наконец, диффузией вредных веществ из шкафа или кожуха в помещении.

Иногда не представляется возможным поместить источники выделения вредных примесей в укрытие типа шкафа или кожуха и нельзя использовать менее совершенное устройство в виде зонта. В таких случаях прибегают к менее экономичным решениям и устраивают так называемые бортовые отсосы.

Бортовые отсосы применяются в промышленных ваннах, которые должны быть открыты сверху для погружения в них деталей с помощью подъемно-транспортных средств. Промышленные ванны используются для защитного металлического покрытия различных деталей такими металлами, как цинк, кадмий, свинец, олово, никель, медь, алюминий и хром. Чаще всего покрытие производится гальваническим способом. При этом могут выделяться весьма токсичные вредные примеси, ядовитое действие которых усиливается, если процесс ведется при повышенной температуре раствора.

Бортовые отсосы могут быть подразделены на три группы – простые, у которых плоскость всасывающего отверстия (щели) вертикальна, опрокинутые с плоскостью отверстия горизонтальной, обращенной в сторону зеркала ванны, и с передувкой, в которых помимо всасывающего отверстия имеется приточное, служащее для выпуска плоской струи, сдувающей вредные примеси с поверхности ванны к отсосу.

К местным приточным системам вентиляции относятся воздушные души, воздушные завесы и вентилируемые кабины.

Воздушный душ представляет собой местный, направленный на человека поток воздуха. В зоне действия воздушного душа создаются условия, отличные от условий во всем объеме помещения. С помощью воздушного душа могут быть изменены следующие параметры воздуха в месте нахождения человека: подвижность, температура, влажность и концентрация той или иной вредной примеси. Обычно зоной действия воздушного душа являются фиксированные рабочие места, места наиболее длительного пребывания рабочих и места отдыха.

Наиболее часто воздушные души применяются в горячих цехах на рабочих местах, подверженных влиянию теплового излучения. В зависимости от категории работы (легкая, средней тяжести, тяжелая), времени года и интенсивности облучения (от

350 до 2100 Вт/(м^2· ч)) скорость воздуха в потоке душа колеблется от 0,5 до 3,0 м/с, температура может изменяться от 16 до 24 ^{0}С. Если воздушный душ используется для борьбы с пылью, скорость воздуха не должна быть выше 0,5... 1,5 м/с, чтобы не допускать поднятия пыли, осевшей на пол [3].

Большое влияние на эффективность работы воздушного душа оказывает конструкция воздухо-выпускного патрубка (приточная насадка). Целесообразно, чтобы это устройство было поворотным и при этом была предусмотрена возможность изменять угол наклона оси потока введением поворотных лопаток. Насадки конструкции В.В.Батурина выполнены с учетом этих двух требований.

Для защиты от холодного внешнего воздуха применяются *воздушные завесы* с различными способами подачи воздуха.

Очень близкими к воздушным завесам по своему назначению являются так называемые воздушные буфера, создаваемые путем подачи теплого воздуха в тамбуры зданий общественного назначения (магазины, клубы, театры и т.д.).

В настоящее время необходимые условия воздушной среды на рабочем месте довольно часто создаются с помощью устройства специальных *вентилируемых кабин.* В таких кабинах поддерживаются условия, отличные от условий во всем объеме производственного помещения. Это достигается чаще всего подачей в кабины специальным образом приготовленного воздуха: в горячих цехах – охлажденного, в холодных, неотапливаемых помещениях – подогретого. Применение вентилируемых кабин возможно**,** когда рабочее место строго фиксировано, например, у пульта управления.

В ряде случаев экономически целесообразно использовать рециркуляционные системы. В этих системах удаляемый воздух подвергается кондиционированию и частично или весь подается вновь в помещение (рис. 1).

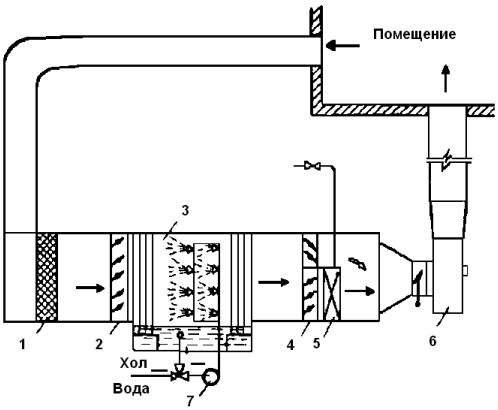


Рис.1. Схема рециркуляционной системы кондиционирования воздуха:
1 – фильтр; 2 – створчатый клапан; 3 – промывная камера; 4 – сдвоенный створчатый клапан; 5 – калорифер; 6 – вентилятор; 7 – насос

Если имеются выделения вредных веществ, то применение системы с полной рециркуляцией воздуха возможно лишь при включении в комплект устройств по обработке воздуха аппаратов, предназначенных для его очистки от соответствующих вредных примесей, что весьма усложняет систему и обычно экономически нецелесообразно. К такому решению приходится прибегать тогда, когда нельзя использовать наружный воздух.

При использовании рециркуляции необходимо, чтобы подаваемый в помещения воздух содержал вредных примесей в количестве не более 30 % предельно допустимых концентраций.

1.2. Определение необходимого расхода воздуха

Необходимый воздухообмен общеобменной вентиляции определяют следующими способами: по кратности воздухообмена, числу занятых людей, газовыделению, влаговыделению, выделению теплоты.

1. *По кратности воздухообмена n,* $ч^{-1}$:

$$\pm n = \frac{L}{V_{\ddot{I}}},$$

где *L*– количество воздуха, $м^3/ч$; $V_П$ – объем помещения, $м^3$. Знак"+" показывает приток, знак"-" – вытяжку.

Решая это уравнение относительно *L***,** найдем требуемый воздухообмен, $м^3/чL=nV_П$.

По кратности воздухообмена расход *L* определяют обычно для жилых и общественных зданий. Кратность воздухообмена регламентируется нормативными документами [4].

2. *По числу занятых людей* воздухообмен, $м^3ч$, определяется по формуле: $L_л=mqz$, где *m* – максимальное число людей, одновременно находящихся в помещении; *q* – норма воздуха на одного человека, $м^3/ч$; *z* – коэффициент запаса, равный 1,15...1,2.

При естественном проветривании помещений согласно нормам *q≥30 м³/ч,* если объем помещения, приходящегося на одного работника, меньше 20 *м³, и q*≥20 *м³/ч,* если объем помещения, приходящегося на одного работника, изменяется от 20 до 40 $м^3$. Если объем помещения, приходящийся на одного работника больше 40 $м^3$, то предусматривается периодическое проветривание.

Без естественного проветривания помещений значение *q*принимают по СНиП [5].

3. *По газовыделению* – объем воздуха, *м³/ч,* необходимый для статического разжижения выделяющихся вредных газов (паров),

$$L_Г = \frac{Г}{ПДК - C_0},$$

где Г – весовое количество газов, выделяющихся в помещении в единицу времени, мг/ч; ПДК – предельно допустимая концентрация, $мг/м^3$; C_0– концентрация газа в приточном воздухе, $мг/м^3$.

4. *По влаговыделению*– количество воздуха, м^3/ч, определяется по формуле

$$L_{Â} = \frac{G}{\left(d_{óä} - d_{ïð}\right)\rho_{ïð}},$$

G – масса водяных паров, выделяющихся в помещении, г/ч; $d_{уд}$ – влагосодержание воздуха, удаленного из помещения, г/кг сухого воздуха; $d_{пр}$ – влагосодержание приточного воздуха, г/кг сухого воздуха; $\rho_{пр}$ – плотность приточного воздуха, кг/м^3.

5. *По выделению теплоты* – необходимый воздухообмен, м^3/ч, по избыточной теплоте

$$L_Q = \frac{Q_{изб}}{\rho c\left(t_{уд} - t_{пр}\right)},$$

где $Q_{изб}$ – избыточная теплота, ккал/ч; c – теплоемкость воздуха, ккал/(кг·К); $t_{уд}$ – температура удаляемого воздуха. К; $t_{пр}$– температура приточного воздуха, К.

Если избыточная теплота $Q_{изб}$ выражена в Вт, а теплоемкость c– в кДж/(кг·К), то формула воздухообмена, *м^3/ч,* примет вид

$$L_Q = \frac{3{,}6Q_{изб}}{\rho c\left(t_{уд} - t_{пр}\right)},$$

где 3,6 – коэффициент перевода Вт в кДж/ч.

При одновременном выделении в помещение влаги и теплоты необходимое количество воздуха, м^3/ч, определяется по формуле

$$L_{B+Q} = \frac{mQ}{\rho_{пр}\left(l_{р.з} - l_{пр}\right)},$$

где m – коэффициент, учитывающий долю теплоты, поступающей в рабочую зону; при отсутствии опытных данных при-

нимают $m=1$; Q – количество избыточной полной теплоты, подлежащей удалению, кДж/ч; $l_{р.з.}$, $l_{пр}$– теплосодержание воздуха соответственно в рабочей зоне и в приточном воздухе, кДж/кг.

Количество воздуха определяется по всем факторам, характеризующим данное помещение, причем, в качестве расчетного принимается наибольшее из полученных значений. При этом следует учитывать комбинированное действие вредных веществ однонаправленного действия с эффектами суммации и потенцирования.

При местной вытяжной вентиляции необходимое количество воздуха, $м^3/с$, определяется по формуле

$$L_M = S\upsilon_{эф},$$

где S – площадь проема, через который удаляется воздух, м^2; $\upsilon_{эф}$ – эффективная скорость воздуха в проеме, м/с.

Эффективной является скорость воздуха, при которой вредные примеси (пыль, газ, пар) от места образования полностью отсасываются через проемы в воздухопровод. Поступление вредных веществ в атмосферу помещения ограничено. Значение $\upsilon_{эф}$ принимается по справочным данным или определяется по данным практики (замеров).

1.3. Аэродинамическое сопротивление вентиляционных сетей

Как известно, в аэрологии различают четыре типа (формы) движения воздуха [6]:

– движение воздуха в пространстве, ограниченном со всех сторон твердыми поверхностями (трубы, каналы);

– свободные струи, или приточные факелы (воздух, выходящий из труб в спокойное воздушное пространство);

– спектры всасывания (движение воздуха у отверстий, в которые воздух входит);

– движение воздушных потоков в воздушной среде (циркуляция воздуха в помещении, аэрация).

Закон сопротивления сети. Для перемещения воздуха по вентиляционным каналам необходимо затратить определенную энергию, которая расходуется на преодоление местных сопротивлений и сил трения. Экспериментально установлено, что закон сопротивления движению воздуха имеет вид $P = RL^n$, где P – полная потеря давления. Па; R– коэффициент сопротивления сети, учитывающий геометрические особенности сети, ее сопротивления трения, местные сопротиаіения; L– количество проходящего воздуха, м^3/с; n – показатель степени, зависящий от режима движения воздуха; при турбулентном режиме $n = 2$, при ламинарном $n= 1$.

Кривую, построенную по этому выражению, называют характеристикой сети (рис. 2). Она показывает зависимость потери давления в сети от расхода воздуха и может быть построена по точкам, результирующим ее расчет при различных расходах, или получена опытным путем при продувке системы. Характеристика сети позволяет наиболее просто и наглядно анализировать работу вентилятора на сеть.

Пример: Построить характеристику сети при турбулентном движении, если известно, что $P= 600$ Н/м^2 при $L = 13\,943$ м^3/ч.

$R = P/L^2 = 600/(13943/3600) = 40$, т. е. $P = 40 \cdot L^2$.

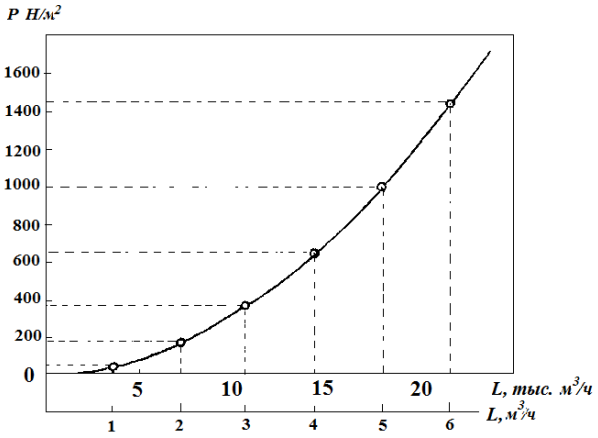


Рис.2. Характеристика сети

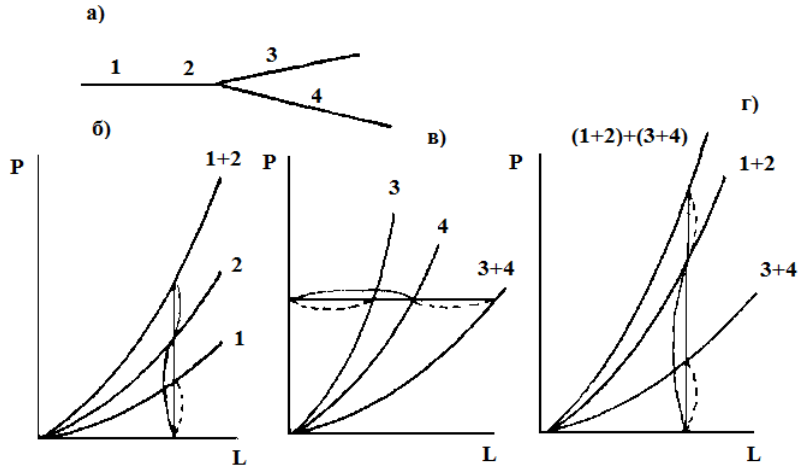


Рис.3.Сложение характеристик графически (аэродинамическое сопротивление вентиляционной сети):
а– вентиляционная сеть; б –последовательное соединение участков 1 и 2; в – параллельное соединение участков 3 и 4; г –комбинированное соединение участков воздухопроводов, общее аэродинамическое сопротивление сети

Таблица 1

Характеристика сети

L, $м^3/с$	0	1	2	3	4	5	6
L, $м^3/ч$	0	3600	7200	10800	14400	18000	21600
P $Н/м^2$	0	40	160	360	640	1000	1440

Тогда, задаваясь значениями *L* вычисляем *P* (табл. 1), а по точкам (координатам) *L* и *P*строим график (рис. 2).

Характеристику сложной вентиляционной сети можно получить путем графического сложения характеристик отдельных участков и ответвлений (рис.3).

1.4. Определение потерь давления в вентиляционной сети

Существуют два вида потерь давления: на преодоление трения и местных сопротивлений [7]

Потери давления на трение возникают по всей длине воздухопровода, зависят от его геометрических размеров, расхода воздуха, состояния поверхности трения.

Эти потери для наиболее распространенного круглого поперечного сечения воздухопровода можно подсчитать по формуле

$$P_{TP} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} \upsilon^2,$$

где λ– безразмерный коэффициент трения; значение λ, или условного коэффициента трения λ/d дается в справочниках; l – длина воздухопровода, м; d – диаметр воздухопровода, м; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; υ – скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с.

Для расчета потерь давления на преодоление сопротивления трения по приведенной формуле в воздухопроводах не только круглого, но и всякого другого поперечного сечения введено понятие эквивалентного диаметра. Для прямоугольного поперечного сечения размером axb эквивалентный диаметр определяется по формуле

$$d_э = 2ab/a+b.$$

К местным сопротивлениям относятся расширения, сужения, повороты воздухопроводов, их разветвления, различное оборудование (насадки, окна, циклоны, дефлекторы, фильтры, калориферы и другие устройства). Следует отметить, что потери давления в местных сопротивлениях в промышленной вентиляции обычно превосходят потери давления на трение. Потери давления в местных сопротивлениях определяются по формуле

$$P_{M.C.} = \varsigma \frac{\rho}{2} \upsilon^2,$$

где, ζ – коэффициент местного сопротивления.

Коэффициенты местных сопротивлений, как правило, определяются опытным путем и приводятся в справочной литературе [4].

Общие потери давления P_0определяются путем суммирования потерь на трение и в местных сопротивлениях $P_{м.с.}$

$$P_0 = P_{TP} + P_{M.C.} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho \upsilon^2}{2} + \sum \varsigma \frac{\rho \upsilon^2}{2} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \varsigma \right) \frac{\rho \upsilon^2}{2}.$$

1.5. Основы расчета простых и сложных воздухопроводов

Воздухопроводы могут быть круглого или прямоугольного сечения. Они выполняются из различных материалов (металл, стекло, фанера и др.) в зависимости от условий эксплуатации. В воздухопроводах различают нагнетательную и всасывающую части.

Различают простые и сложные, или разветвленные воздухопроводы (рис. 4.).

Воздухопроводы в общем случае состоят из участков и ответвлений. Участок – это элемент сети, в котором расходы воздуха и поперечное сечение, а следовательно, и скорости на всем протяжении постоянны. За расчетную обычно принимается наиболее протяженная магистраль, состоящая из участков. Ответвления – это отходящие от выбранной магистрали воздухопроводы. Места соединения участков и ответвлений называют *узлами*.

Расчет воздухопроводов сводится к нахождению общих потерь давления. В простом воздухопроводе эта величина определяется путем суммирования потерь давления во всех участках

$$P = \sum_1^x \left(l \frac{\lambda}{d} + \sum \varsigma \right) \frac{\rho}{2} \upsilon^2,$$

где x – число участков воздухопровода; $\sum\zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений; $\rho/2\upsilon^2$ – динамическое давление.

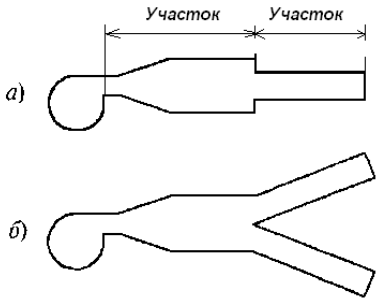


Рис. 4. Воздухопроводы:
а – простой; б – сложный или разветвленный

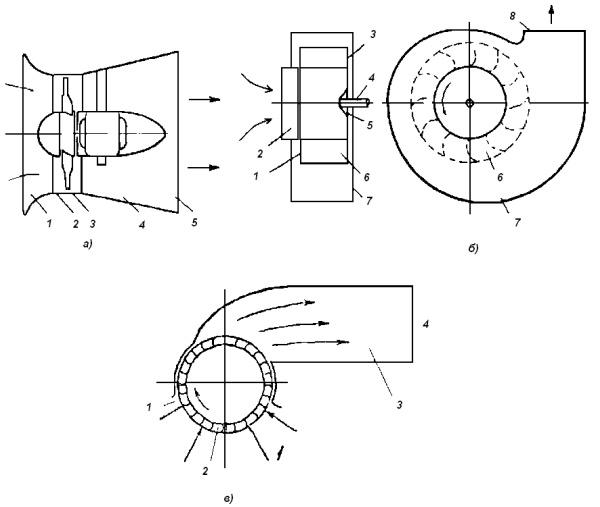


Рис. 5. Аэродинамические схемы вентиляторов:
а –осевой: 1 – входное отверстие; 2 – цилиндрический кожух; 3 –лопаточное колесо; 4 – диффузор; 5 – выходное отверстие; б– центробежный: 1– передний диск; 2–входное (всасывающее) отверстие: 3–задний диск; 4 –вал; 5– ступица; 6– рабочее колесо с лопатками; 7 – спиральный кожух; 8–выходное (нагнетательное) отверстие; в – диаметральный: 1– входное отверстие; 2 –рабочее колесо с лопатками; 3 – коленообразный кожух; 4 –выходное отверстие

В сложном воздухопроводе общая потеря давления определяется суммированием потерь давления только в участках какой-либо магистрали (без ответвлений), образующей весь путь движения воздуха от произвольно выбранных мест всасывания и нагнетания.

Сопротивление ответвления преодолевается за счет давления в месте присоединения его к магистрали (в узле), в соответствии с чем можно утверждать о равенстве потерь давления в узле воздухопровода при их определении (подсчете) при движении воздуха по магистрали и ответвлению.

Если бы такого равенства не было, то поток естественно устремился бы по пути наименьшего сопротивления и расходы стали бы перераспределяться до тех пор, пока потери давления не уравнялись.

Приведем пример, поясняющий расчет сложного воздухопровода.

Пример: Имеется разветвленный воздухопровод и известны потери давления в ряде участков. На рис. 6 для этих участков в кружочках проставлены безразмерные значения давлений. Требуется определить потери давления на участках *1* и *б,* а также общую потерю давления.

Исходя из принципа равенства давления в узлах, потеря на участке *1* должна равняться потере давления на участке *а.* т.е. 3. Потеря в участках *а* и *б* должна равняться потере в ответвлении 2, т. е. в сумме должна составить 5. Но на участке *а* уже израсходовано давление 3 и, следовательно, на долю участка *б* остается 2. Общая потеря давления по магистрали *а, б* и *в* составит 3 + 2 + 6 = 11, по другой возможной магистрали *1, б и в,* тоже 3 + 2 + 6=11 и по еще одной возможной магистрали *2 и в* будет равна 5 + 6 = 11, т.е. по всем магистралям общая потеря давления одинакова, что свидетельствует о расчетной увязке системы.

1.6. Побудители движения воздуха

Среди побудителей движения воздуха наибольшее распространение получили *вентиляторы* — воздуходувные машины, создающие давление, не превышающее 15 кПа. По конструкции

и принципу действия вентиляторы делятся на осевые (аксиальные), радиальные (центробежные) и диаметральные (тангенциальные) [8].

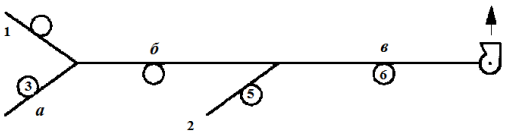


Рис. 6. К примеру, расчета разветвленного воздухопровода

В зависимости от величины полного давления, которое они создают при перемещении воздуха, вентиляторы бывают низкого (до 1 кПа), среднего (до 3 кПа) и высокого давления (до 12 кПа).

В зависимости от состава перемещаемой среды и условий эксплуатации вентиляторы подразделяются на следующие виды:

– обычные – для воздуха (газов) с температурой до 80 °С;

–коррозионно-стойкие – для коррозионных сред;

– термостойкие – для воздуха с температурой выше 80 ^{0}С;

– взрывобезопасные – для взрывоопасных сред;

– пылевые – для запыленного воздуха (твердые примеси в количестве более 100 мг/м^3).

По способу соединения колеса (ротора) вентилятора и электродвигателя вентиляторы могут быть:

– с непосредственным соединением с электродвигателем;

– с соединением на эластичной муфте;

– с клиноременной передачей;

– с регулирующей бесступенчатой передачей. По месту установки вентиляторы делят на три вида:

– обычные, устанавливаемые на специальной опоре (раме, фундаменте и т. д.);

– канальные, устанавливаемые непосредственно в воздуховоде;

– крышные, размещаемые на кровле.

Основными характеристиками вентиляторов являются следующие параметры:

– расход воздуха, м^3/ч;

– полное, статическое давление, Па;

– частота вращения, мин$^{-1}$;

– потребляемая мощность, затрачиваемая на привод вентилятора, кВт;

– КПД – коэффициент полезного действия вентилятора, учитывающий механические потери мощности на различные виды трения в рабочих органах вентилятора, объемные потери в результате утечек через уплотнения и аэродинамические потери в проточной части вентилятора;

– уровень звукового давления, дБ.

Вентилятор состоит из трех основных частей: рабочего колеса с лопастями (иногда называемого ротором), кожуха и станины с валом.

В *центробежном вентиляторе* воздух поступает в осевом направлении в кожух и выходит из него в направлении, перпендикулярном оси. Колесо вентилятора должно вращаться всегда по ходу разворота спирального (улиткообразного) кожуха, так как при обратном вращении колеса производительность вентилятора резко (примерно на 70...80 %) уменьшается, но реверсирование, т.е. изменение направления движения воздуха не происходит.

Вентилятору присваивается номер, соответствующий диаметру колеса, выраженному в дециметрах. Так, например, вентилятор № 5 имеет наружный диаметр рабочего колеса 5 дм (500 мм), № 3 – 3 дм (300 мм) и т.д. до № 20.

Осевые вентиляторы создают движение воздуха, направленное вдоль оси, что и определяет их название.

Диаметральный вентилятор представляет собой ротор с колесом центробежного типа большого размера с загнутыми вперед лопатками, частично заключенным в коленообразный кожух. При вращении колеса образуется вихревое несимметричное поле, вызывающее течение в направлении диаметра. При этом поток двухкратно проходит через вращающуюся решетку колеса.

Диаметральные вентиляторы имеют большие по сравнению с центробежными и осевыми производительности, а ввиду двухкратно получаемого от лопаток импульса – значительно большие давления.

Вентилятор любого типа – центробежный, осевой или диаметральный, расположенный на вертикальной оси и приспособленный для отсасывания или подачи воздуха через отверстие в кровле, получил название крышного вентилятора. Крышные вентиляторы предназначаются главным образом для систем вытяжной – бессетевой вентиляции производственных и общественных зданий.

Центробежные вентиляторы предпочтительно применять для подачи воздуха при значительных давлениях, а осевые – для подачи относительно больших объемов воздуха при небольших давлениях.

По сравнению с центробежными вентиляторами осевые имеют следующие преимущества конструктивного характера: меньшая масса, компактность, возможность непосредственного включения в сеть воздухопроводов и реверсивность.

Следует заметить, что работа вентиляторов всегда сопровождается шумом. По этим соображениям в жилых помещениях, школах, больницах, театрах и т.д. не рекомендуется применять вентиляторы при окружных скоростях более 25 м/с. В этом случае центробежные вентиляторы обычного типа должны развивать давление не более 300... 1000 Н/м^2, а осевые – не более 100... 150 Н/м^2.

Уменьшить шум работающих вентиляторов можно путем тщательной балансировки колес, применением скользящих подшипников, тщательной затяжкой креплений, установкой глушителей шума.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Факторами, характеризующими вентиляторы, являются диаметр колеса D(м), угловая скорость со (рад/с); частота вращения n (мин$^{-1}$) и окружная скорость на конце лопаток колеса $\upsilon_к$ (м/с).

Характеристика вентилятора графически выражает связь между основными параметрами его работы. Полная характеристика вентилятора при постоянной угловой скорости (ω = const; $\upsilon_к$ = const) выражает зависимость между производительностью L, с одной стороны, давлением P, мощностью N и КПД η, с другой стороны [9].

Все упомянутые зависимости (P –L, N –L, и η–L) обычно строятся на одном графике в соответствующих масштабах, причем L откладывается по оси абсцисс, а,Р, ω, $\upsilon_к$, и η– по оси ординат. Наиболее важна кривая зависимости между давлением и производительностью P – L – так называемая характеристика давления вентилятора (напорная характеристика). Полные характеристики вентилятора наглядно отражают особенности их работы и позволяют подобрать для данного воздухопровода наиболее экономичный вентилятор.

С помощью аэродинамики получить расчетным путем достаточно точную характеристику вентилятора затруднительно и поэтому характеристики строятся на основе данных испытаний, полученных в лабораторных условиях. Характеристики вентиляторов приводятся в специальных каталогах.

2.1. Нахождение рабочей точки

Наложение характеристики сети на характеристику вентилятора. Анализ характеристик вентиляторов позволяет заключить, что один и тот же вентилятор при одной и той же частоте вращения может иметь самые различные производительности и развивать различные давления. Величины производительности вентилятора и развиваемые им давления зависят от того, на какую сеть работает данный вентилятор.

Как уже отмечено, зависимость, связывающая потери давления на преодоление сопротивлений сети воздухопроводов с расходом перемещаемого воздуха, представляет собой характеристику сети. Для обычных случаев практики характеристика сети является квадратичной параболой. Она может пересекать начало координат (если давления воздуха в местах забора и выброса одинаковы) и может не переходить через него (если эти давления не равны).

Важно иметь в виду, что характеристика сети строится в той же системе координат, что и важнейшая (напорная) характеристика вентилятора.

Если на напорную характеристику вентилятора наложить характеристику сети, построенную в тех же координатах и в том же масштабе, получится точка пересечения, которая и определит параметры работы вентилятора в условиях данной сети. Эта точка носит название рабочей точки (рис. 7). Имея полную характеристику вентилятора, по рабочее точке можно найти все параметры вентилятора при работе на данную сеть (рис. 8).

При выборе вентилятора следует стремиться к тому, чтобы рабочая точка попадала на линию η_{max} или близкую к ней (не дальше чем 0,9 η_{max}). Кроме того, необходимо ориентироваться на такие частоты вращения его рабочего колеса, которые позволили бы осуществить наиболее надежное, простое и экономичное соединение вентилятора и электродвигателя. Таковым будет соединение на одном валу или оси**.**

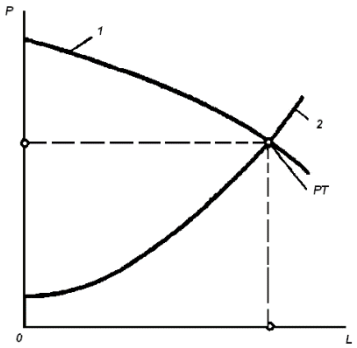


Рис. 7. Наложение характеристики сети на характеристику вентилятора:
1 – характеристика вентилятора;
2 – характеристика сети;
РТ – рабочая точка

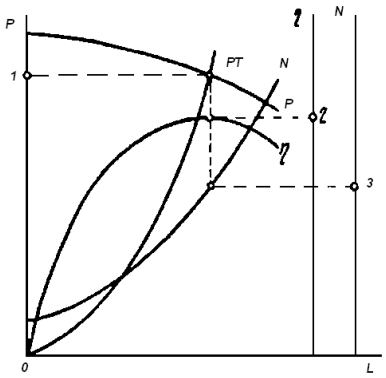


Рис. 8. Нахождение параметров вентилятора при его работе в сети:
1 – давление вентилятора P;
2 –КПД вентилятора η; 3– мощность вентилятора N

Поскольку для привода вентилятора используются асинхронные электродвигатели трехфазного тока с короткозамкнутым ротором, соответствующими частотами вращения являются: 480, 570, 720, 960, 1440 и 2890 мин$^{-1}$.

Вентиляторы очень широко, чаще чем какие-либо другие нагнетатели, применяются в системах теплогазоснабжения и вентиляции, широко используются практически и во всех других областях, потребляя в общей сложности до 10% всей вырабатываемой у нас в стране электроэнергии.

Еще не так давно их использовали только при давлениях до 2000…3000 Па, а теперь ввиду значительного повышения аэродинамических и прочностных качеств область использования вентиляторов расширилась до давлений в 20 000 и даже 30 000 Па.

Помимо наиболее распространенных радиальных (центробежных) вентиляторов все заметнее применяются осевые, а в настоящее время получают признание прямоточные, смерчевые, дисковые, вихревые, диаметральные вентиляторы.

2.2. Радиальные вентиляторы

Обычный радиальный (центробежный) вентилятор (рис. 9.) представляет собой лопастное рабочее колесо турбинного типа, расположенное в спиральном корпусе. При вращении колеса воздух, поступающий через входное отверстие, попадает в каналы между лопастями колеса, под действием возникающей центро-

бежной силы он перемещается по этим каналам, собирается спиральным корпусом и направляется в его выпускное отверстие.

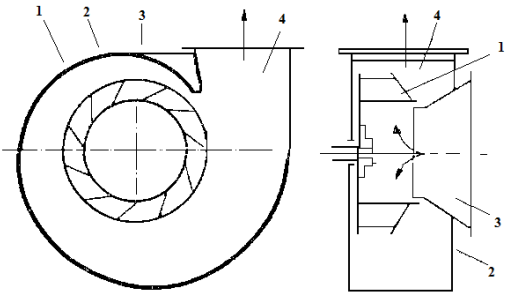


Рис. 9. Радиальный вентилятор:
1 – лопастное колесо; 2 – спиральный корпус; 3 – входное отверстие; 4 – выходное отверстие

Радиальный вентилятор состоит из трех основных элементов (рис. 9.): лопастного радиального колеса (иногда называемого *ротором, турбиной*), спирального корпуса (также именуемого кожухом или улиткой) и станины с валом и подшипниками.

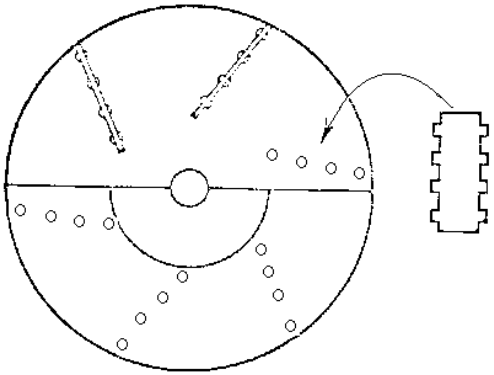


Рис. 10. Сборка лопастного колеса на шипах

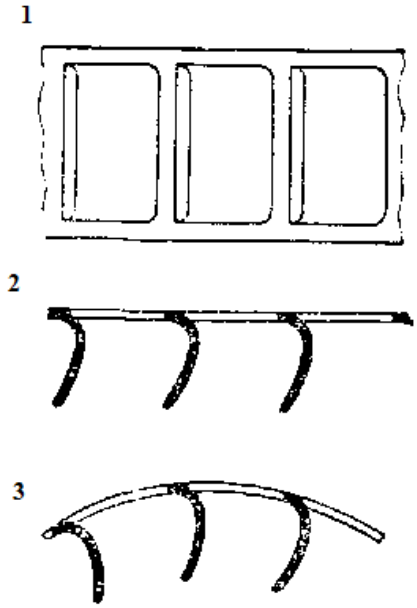


Рис. 11. Штампованные лопастные колеса:
1 – заготовка; 2 – лопасти отогнуты; 3 – заготовка свернута

Радиальные колеса обычного типа состоят из лопастей, переднего диска, заднего диска и ступицы.

Литые или точеные ступицы, предназначенные для насаживания колес на валы, крепят на заклепках, болтами или приваривают к задним дискам. К дискам, в свою очередь, прикрепляют лопасти с помощью заклепок или сварки. Удобно крепление с помощью шипов, которые оставляют при заготовке лопастей, вставляют в отверстия в дисках и расклепывают или прихватывают сваркой (рис. 10).

Вентиляторы специального назначения (например, пылевые) имеют лопасти, расположенные консольно без переднего диска, а в некоторых случаях и без заднего диска (открытое колесо). Колеса чаще встречаются литые и пластмассовые колеса. При изготовлении колес для дымососов широко применяют сварку.

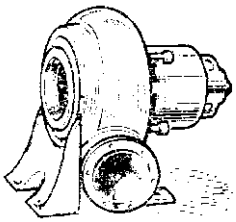


Рис. 12.Радиальный электровентилятор с литым корпусом

По предложению С.А. Рысина легкие и дешевые колеса изготовляли штамповкой. Для этой цели в полосе листовой стали делали высечки, отгибаемые затем в виде лопастей, после чего полосу свертывали по окружности и укрепляли между дисками (рис. 11).

Широкие колеса для большей прочности иногда снабжают тягами, соединяющими передние кольца со ступицами [10].

Зазор между колесом и входным патрубком корпуса должен быть минимальным. Влияние зазора увеличивается с уменьшением удельной быстроходности, так как даже при небольшом количестве протекающего через него воздуха доля его в общем количестве засасываемого воздуха становится значительной.

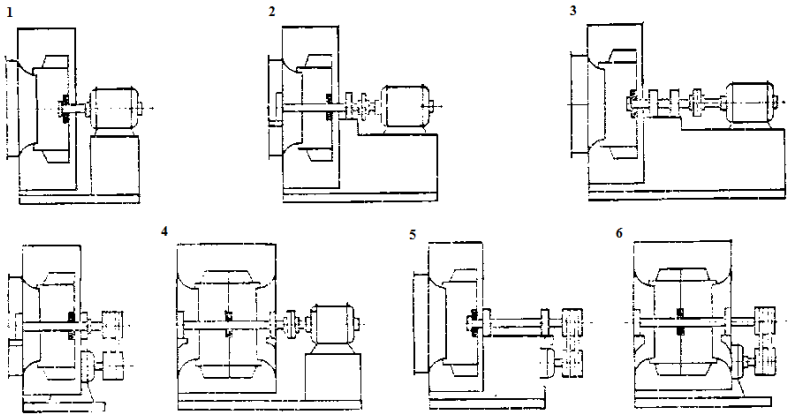


Рис. 13.Способы соединения радиальных вентиляторов с двигателями

Спиральные корпуса сваривают или склепывают преимущественно из листовой стали; их также можно соединять на фальцах. Применяют также литые спиральные корпуса (рис. 12.), имеющие хорошие в аэродинамическом отношении формы, однако при больших размерах вентиляторов они чересчур тяжелы. Спиральные корпуса больших вентиляторов устанавливают на самостоятельных опорах, у малых вентиляторов их крепят к станинам.

Станины отливают из чугуна или сваривают из стали. На станинах в подшипниках, чаще всего шариковых, устанавливают валы. Колеса на валах укрепляют шпонками и стопорными болтами.

Если вентиляторы предназначают для ременной передачи, то шкивы насаживают на валы за подшипниками консольно (рис. *13, 4, 6, 7).*

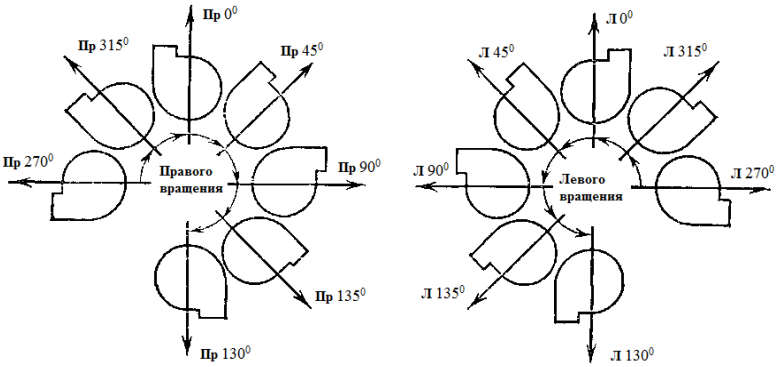


Рис. 14. Расположение спиральных корпусов

Колеса на валы чаще всего насаживают также консольно. Однако у вентиляторов с двусторонним всасыванием консольное расположение колес на валу нецелесообразно. Установка колес на валах между двумя опорами (рис. 13,*4, 5, 7)* обеспечивает более спокойный режим работы вентилятора, но усложняет конструкцию, монтаж и присоединение вентилятора к всасывающему воздуховоду.

Несомненные преимущества в отношении надежности, компактности, экономичности и бесшумности имеют вентиляторы, рабочие колеса которых насаживаются непосредственно на валы двигателей (рис. 13, *1*), но насадка колес целесообразна только для вентиляторов малых размеров. В больших вентиляторах колеса с валами двигателей можно соединять с помощью промежуточных муфт (рис. 13, *2, 3. 5)*.

Вентиляторы, у которых колеса правильно вращаются по часовой стрелке при наблюдении со стороны всасывания, называют правыми, а против часовой стрелки – левыми.

Правильным является вращение колес по ходу разворота спиральных корпусов. При обратном же вращении колес производительность вентиляторов резко уменьшается, но реверсирования, т.е. изменения направления подачи воздуха, не происходит.

Положение корпуса принято обозначать направлением вращения (Пр или Л) и углом поворота в градусах (рис. 14). На корпусе с расположением выходного отверстия вверх делают надпись Пр или Л 0^0, вниз – Пр пли Л 180^0, вправо – Пр или Л 90^0, влево – Пр или Л 270^0. Возможны промежуточные положения через 45^0.

Радиальные вентиляторы принято в зависимости от давления разделять на вентиляторы низкого давления (до 1000 Па), среднего давления (до 3000 Па) и высокого давления (более 3000 Па). Указанное разделение, как и для насосов, условно, так как кроме давления необходимо указать производительность вентилятора. Например, вентилятор высокого давления при уменьшении частоты вращения может создавать среднее и даже низкое давление. Но поскольку наибольшая частота вращения и соответственно наибольшее давление определяются прочностью колеса, такое разделение, как и у насосов, имеет некоторое конструктивное обоснование. Независимо от этого значительно удобнее классифицировать вентиляторы по значению удельной быстроходности на оптимальном режиме работы.

Вентиляторы, приспособленные для перемещения дымовых газов, принято называть дымососами, а для перемещения воздуха, засоренного механическими примесями, – пылевыми вентиляторами.

Для обеспечения широких пределов производительности вентиляторы проектируют сериями, состоящими из нескольких разных по размерам, но обычно геометрически подобных номеров. Номер вентилятора определяется наружным диаметром колеса, измеренным и дециметрах.

Рекомендуются следующие номера вентиляторов: 1; 2,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15 (3,2); 4; 5; 6,3; 8; 10, 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50.

Допускается модификация радиальных вентиляторов с изменением диаметров лопастных рабочих колес на величину ±10 %, получаемых путем перемещения лопастей или изменением их размеров при неизменных остальных размерах проточной части. Напоминаем, что у насосов такая модификация обеспечивается уменьшением диаметров литых колес путем обточки. При этом очевидно в серии принцип подобия несколько нарушается и подбор по безразмерным характеристикам становится приближенным.

Прежде широкое распространение имели радиальные вентиляторы низкого давления «Сирокко» с большим числом (48. . .64) лопастей – широких, загнутых вперед, и коротких в радиальном направлении.

Спиральные корпуса этих вентиляторов отличаются большой шириной, отношение диаметра входного отверстия к диаметру колеса велико. Такие вентиляторы наиболее удобны для подачи сравнительно больших объемов воздуха при невысоких давлениях (до 1000 Па), например в установках приточной или вытяжной вентиляции, так как в этих случаях они оказываются по габаритам меньше радиальных вентиляторов многих других серий.

Окружную скорость колес (на концах лопастей) нормально изготовленных радиальных вентиляторов низкого давления «Сирокко» по соображениям прочности не допускается принимать больше 30 м/с. Сейчас эти вентиляторы не выпускают, но разработаны новые аналогичные конструкции (например, Ц14–46).

Радиальные вентиляторы «Сирокко» среднего давления отличаются от описанных выше относительно меньшими диаметрами входных отверстий. Их колеса имеют меньшее число лопастей (24) трапециевидной формы, что обеспечивает большую

жесткость конструкции. Лопасти крепят к переднему и заднему дискам. Окружные скорости таких нормально изготовленных колес по соображениям прочности не допускались более 50 м/с. Эти вентиляторы можно применять при давлениях до 3000 Па в качестве дымососов, для отсасывания запыленного воздуха, и для других целей. Теперь такие вентиляторы не выпускают.

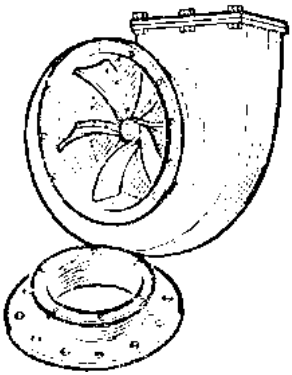


Рис. 15. Радиальный пылевой вентилятор

У разработанных автором радиальных пылевых вентиляторов ЦАГИ (рис. 15.) колеса снабжены шестью длинными, доходящими до втулок и загнутыми вперед лопастями. Такая конструкция колес обеспечивает достаточную их прочность (особенно при наличии переднего диска), сводит к минимуму возможность засорения вентиляторов механическими примесями, имеющимися в воздухе (опилки, стружки, волокна), а также упрощает изготовление.

Эти вентиляторы выгодны в эксплуатационном отношении, так как они имеют круто падающую характеристику. Они пригодны для перемещения запыленного воздуха; их используют также для подачи чистого воздуха и дымовых газов.

По соображениям прочности окружные скорости на концах лопастей нормально изготовленных колес пылевых вентиляторов допускается принимать до 45. . .50 м/с, чему соответствуют давления в 2000. . .2500 Па.

Разработанная Г.А**.** Кацнельсоном серия радиальных вентиляторов, высокого давления отличается узкими и корпусами и относительно малыми размерами входных и выходных отверстий. Вентиляторы имеют 12узких и длинных лопастей, загнутых вперед и скрепленных передним диском. Окружные скорости допускаются до 100... 120 м/с. Эти вентиляторы можно применять для подачи относительно малых объемов воздуха при давлениях до 10 000 Па. Они имеют достаточно высокий КПД.

Радиальные вентиляторы высокого давления применяются в качестве воздуходувок, для установок нагнетательного пневматического транспорта и др.

Позднее, в 40-х годах, были разработаны и внедрены в серийное производство вентиляторы ВРН, ВРС (низкого и среднего давления), ЭВР (специально предназначенные для непосредственного соединения с электродвигателями), Ц9-55 (иногда их обозначали ЦВ55-38), а также вентиляторы ЦАГИСТД (Ц9-57), Ц6-46(видоизмененные пылевые вентиляторы ЦАГИ), ЦП17-40 (пылевые вентиляторы конструкции А.Р. Боброва, доработанные Ю.Г.Вахваховым) и некоторые другие типы.

ГОСТ 31351–2007 (ИСО 14695:2003)были определены основные технические требования к радиальным вентиляторам общего назначения (для систем вентиляции, кондиционирования, воздушного отопления, аспирации, дутья) [11].

Особо важным требованием является обеспечение высокого максимального КПД вентиляторов; эти значения должны быть не ниже 0,6...0,75 в зависимости от типа машины.

Установлена определенная маркировка вентиляторов. Тип вентилятора обозначают индексом, который для радиальных (центробежных) вентиляторов состоит из буквы Ц (для пылевых – ЦП) и (округленных при оптимальном режиме чисел пятикратной величины коэффициента полного давления, а после дефиса – удельная быстроходность. Например, радиальный вентилятор с коэффициентом полного давления 0,86 и удельной быстроходностью 70 обозначается Ц4–70.

Для обозначения типоразмера вентилятора к указанному индексу после дефиса приписывается номер вентилятора (например, Ц4–70–4). Для осевых вентиляторов применяют та-

кую же систему обозначения, но без буквы. За индексом (перед номером) может быть указано в числителе число лопастей, а в знаменателе – угол их установки (например, 0,6–320–6 25–6,3).

Дополнительно может быть указан также способ соединения вентилятора с двигателем словом «исполнение» и цифрой или буквой (как на рис. 14.), а также положение спирального корпуса (рис. 15).

На корпусе каждого вентилятора должна быть прикреплена табличка, на которой указывают наименование предприятия-изготовителя или товарный знак, типоразмер, наибольшую частоту вращения, гарантируемую из соображений прочности, год выпуска вентилятора и его заводской номер; кроме таблички с данными заводских испытании весьма желательно каждый вентилятор сопровождать паспортом и инструкцией по эксплуатации [12].

Из целого ряда новых конструкций радиальных вентиляторов общего назначения особо следует остановиться на разработанных в ЦАГИ и освоенных серийным производством вентиляторах Ц4–70.

У вентилятора Ц4–70 колесо коническое, 12 прямых плоских лопастей загнуты назад. Всасывающий патрубок корпуса выполнен в виде коллектора, кромки которого заведены внутрь-колеса, спиральный корпус имеет постоянную ширину с языком. Максимальное значение КПД вентилятора Ц4–70 достигает 0,81, а давление при окружной скорости на концах лопастей до 50 м с – 1000. . .1400 Па.

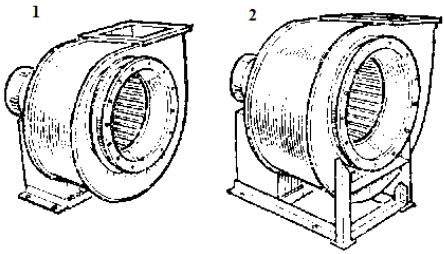


Рис. 16:
1 – на станине; 2 – на раме

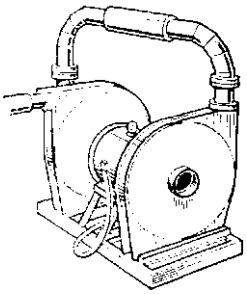


Рис. 17. Радиальный вентилятор Ц9–5(2)

Еще более высокий максимальный КПД (0,81) и большая конструктивная прочность (а значит, и более высокое достигаемое давление) у схожего по типу, но имеющего более сложные профилированные лопасти вентилятора Ц4–76.

В самое последнее время был разработан вентилятор Ц4–75 с максимальным КПД 0.85,отличающийся от Ц4–70только формой лопастей.

Широкое применение получает радиальный вентилятор Ц14-46 с 32 короткими и загнутыми вперед лопастями (рис. 16). Максимальный КПД его ниже, чем у вентиляторов Ц4–70 и Ц4–76,но коэффициент давления значительно выше, ввиду чего на ту же сеть установка получается компактнее.

Эффективен двусторонний радиальный вентилятор Ц4–94/2, сконструированный из двух параллельно соединениях вентиляторов Ц4–70**.** У этого вентилятора высокая удельная быстроходность, т.е. он может обеспечивать относительную большую производительность.

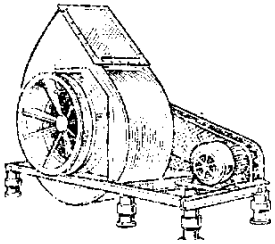


Рис. 18.Вентиляторный агрегат

Двусторонние вентиляторы менее удобно применять в установках, работающих на всасывание, так как при расположении колесна одном валу между подшипниками, когда обеспечивается наиболее спокойная и надежная работа, всасывающий воздуховод присоединить затруднительно.

Для получения больших давлений при ограничении окружных скоростей, а значит, при обеспечении большей надежности и бесшумности в работе целесообразно применять двухступенчатые последовательно соединенные вентиляторы. Примером такой конструкции может служить разработанный автором вентилятор Ц9–5(2) (рис. 17).

Весьма важно для потребителя получить вентилятор в укомплектованном виде т.е. с электродвигателем, приводом, виброизолирующим основанием, регулирующим устройством (рис. 18).

Такого рода агрегаты для санитарно-технических систем в различных исполнениях со стандартизованными присоединительными и установочными размерами выпускаются серийно на базе вентиляторов Ц4–70 и Ц4–76**.**

Все необходимые данные о таких агрегатах приведены в материалах заводов-изготовителей.

Входные и выходные устройства вентиляторов (как радиальных, так и осевых) – коллекторы, коробки, диффузоры – являлся элементами сетей, а не вентиляторов. Однако нужно иметь в виду, что расположенное непосредственно перед вентилятором колено или другое местное сопротивление может повлиять на структуру поступающего потока и характеристику вентилятора.

2.3. Осевые вентиляторы

Простейший осевой вентилятор (рис. 19) представляет собой расположенное в цилиндрическом корпусе лопастное рабочее колесо пропеллерного типа. При вращении колеса поступающий через входное отверстие воздух под воздействием лопастей перемещается между ними в осевом направлении, причем давление увеличивается. Далее воздух поступает в выпускное отверстие.

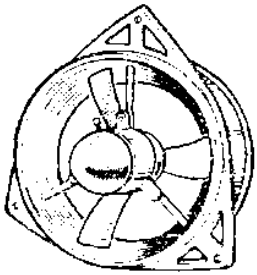


Рис. 19. Осевой вентилятор

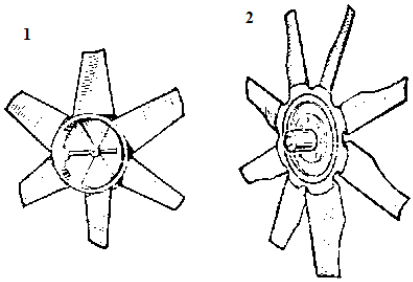


Рис. 20. Осевое лопастное рабочее колесо:
1 – сварное; 2 – штампованное

Осевые колеса (рис. 20.) состоят из втулок и прикрепленных к ним лопастей. В зависимости от профиля лопастей колеса называют нереверсивными или реверсивными.

Фактически все осевые колеса реверсивны, так как при изменении направления вращения обязательно меняется направление подачи. Однако называть реверсивными принято только колеса лопастями, имеющими симметричный профиль, а поэтому работающими одинаково при обоих направлениях вращения.

В аэродинамическом отношении более совершенны лопасти со специально рассчитанным несимметричным профилем.

Лопасти осевых колес, рассчитанных на основе вихревой теории Н.Е. Жуковского, по мере приближения к втулке расши-

ряются и закручиваются. В целях упрощения конструкции, что, однако, несколько ухудшает аэродинамические качества, применяют и незакрученные лопасти постоянной ширины [13].

Лопасти выполняют из металла или пластмасс, листовые и объемные, причем последние могут быть монолитными (литыми) или пустотелыми.

Втулки осевых вентиляторов (в современных конструкциях они имеют относительно большой диаметр) изготовляют сварными, литыми и штампованными. Штампуют одновременно лопасти и втулки, т. е. все колесо полностью (рис. 20). В центре втулок располагают ступицы для посадки колеса на вал привода.

Лопасти к втулкам приваривают или крепят на стержнях. При стержневом креплении лопасти можно поворачивать (в специальных конструкциях даже при вращении колеса), благодаря чему регулировку можно вести просто и в широких пределах.

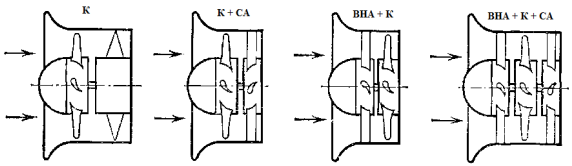


Рис. 21. Компоновка осевых вентиляторов:
К – колесо; СА – спрямляющий аппарат;
ВНА – направляющий аппарат

При реверсировании осевых вентиляторов с такими несимметричными поворотными лопастями нет необходимости для сохранения неизменной подачи менять направление вращения и переворачивать колесо – достаточно повернуть лопасти на 180^0.

Правильным для несимметричных лопастей является вращение тупыми кромками или вогнутостью вперед.

Осевые нереверсивные вентиляторы, лопастные колеса которых правильно вращаются по часовой стрелке по отношению к наблюдателю, находящемуся на стороне всасывания, намывают правыми, а в другую сторону – левыми.

Очень значительно на работу осевого вентилятора влияет зазор между концами лопастей и внутренней поверхностью ци-

линдрического корпуса – он не должен превышать 1.5 % длины лопастей. К сожалению, при монтаже, если осевой вентилятор поставляется не в комплекте, а одно его колесо, необходимые зазоры часто не обеспечиваются, что снижает эффективность работы вентилятора.

При отсутствии всасывающего воздуховода на входе перед вентилятором следует устанавливать коллектор (К), обеспечивающий хорошее заполнение корпуса, полезно устанавливать и обтекатель, а также направляющий (ВНА) и спрямляющий (СА) лопастные аппараты (рис. 21). При последовательном расположении осевых колес спрямляющий аппарат обязателен. Лопасти этих аппаратов могут конструироваться подвижными, и тогда осуществлять регулировку удобно путем изменения углов установки. Схемы соединения осевых вентиляторов с приводом показаны на рис. 22.

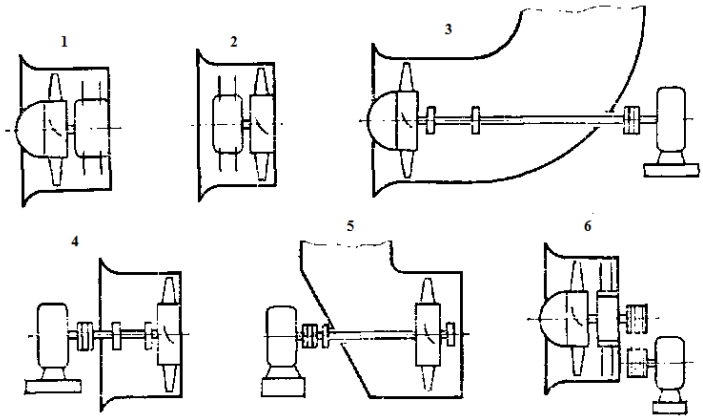


Рис. 22. Соединение осевых вентиляторов с двигателями:
1,2 – на одном валу; 3,4,5 – на одной оси; 6 – через редуктор

Обычные осевые вентиляторы используют при давлениях от 30до 300 Па. Производительность их при больших диаметрах колес может достигать нескольких миллионов кубических метров в час.

Проточные размеры и другие параметры осевых вентиляторов регламентированы.

Путем изменения числа лопастей или угла их установки при неизменном диаметре или даже постоянной частоте вращения можно в широких пределах изменять аэродинамические характеристики. Поэтому номенклатуру выпускаемых осевых вентиляторов по сравнению с радиальными можно ограничить.

Осевые вентиляторы у нас начали применять с 30-х годов. В первое время выпускались нереверсивные двух-, трех- и четырех лопастные осевые вентиляторы (вернее, осевые колеса) ЦАГИ, соответственно именовавшиеся, сериями №18, 7 и 4, а также реверсивные вентиляторы ЦАГИ с восемью поворотными лопастями. Позднее были внедрены в серийное производство осевые вентиляторы конструкции ЦАГИ типа М, МЦ, Д, В, У, а за последнее время – еще более совершенные серии.

2.4. Сравнение осевых вентиляторов с радиальными

Осевые вентиляторы появились позже радиальных, но область их использования быстро расширяется. Это объясняется прежде всего возможностью достижения более высоких КПД, так как на пути движения потока через осевой вентилятор меньше внутренних потерь давления. Осевые вентиляторы в конструктивном исполнении значительно проще радиальных, масса их в расчете на единицу мощности (металлоемкость) существенно меньшая.

Такие вентиляторы удобно регулировать в широких пределах путем изменения угла поворота или числа лопастей рабочего класса. Выше было показано, что ввиду особенностей характеристики мощности даже значительное изменение режима эксплуатации значительно меньше влияет на нагрузку двигателей, чем у радиальных вентиляторов.

Наконец, преимущество осевых вентиляторов состоит в том, что они реверсивны, т.е. при изменении направления вращения рабочего колеса изменяется направление потока, что невозможно в радиальных вентиляторах.

Но поскольку при действии осевых вентиляторов не используются центробежные силы, при прочих равных условиях они создают гораздо меньшие давления. Для повышения его приходится усложнять конструкцию добавлением числа ступеней или значительным увеличением частоты вращения рабочих колес, что увеличивает шум и силовые напряжения.

Осевые вентиляторы целесообразно использовать при больших производительностях и малых давлениях (больших удельных быстроходностях), например для проветривания тоннелей или в системах рудничной вентиляции, где немаловажное значение имеет возможность простого и быстрого реверсирования, т.е. изменения направления движения потока. В сложных же системах промышленной вентиляции, кондиционирования, аспирации, в тягодутьевых вентиляторных установках, где требуются значительно большие давления, обычно используют радиальные вентиляторы.

Таким образом, осевые вентиляторы не заменяют, а дополняют радиальные в соответствии с условиями использования.

2.5. Совместная работа вентиляторов

На практике иногда возникает необходимость в установке нескольких совместно работающих вентиляторов на одну вентиляционную сеть, например, в случае, если отсутствует вентилятор, который обеспечивал бы заданные расход и давление воздуха [13].

Как правило, совместная работа вентиляторов менее экономична и менее надежна. Совместная работа вентиляторов может быть параллельной или последовательной (рис. 23).

Если требуется изменить суммарную характеристику с тем, чтобы при той же производительности резко увеличилось давление, необходимо последовательное соединение вентиляторов. Если нужно изменить суммарную характеристику так, чтобы резко увеличился диапазон производительности, то целесообразно применять параллельное соединение вентиляторов. В обоих случаях конечным результатом является увеличение производительности вентиляторов.

При последовательной работе двух вентиляторов расход воздуха обоих вентиляторов будет одинаков, $L_0=L_1=L_2$, а общее давление равно сумме давлений, развиваемых каждым вентилятором, т.е., $P_{об} = P_1 + P_2$.

Таким образом, для получения суммарной характеристики последовательно работающих вентиляторов необходимо сложить ординаты давления индивидуальных характеристик при одних и тех же расходах воздуха.

При параллельной работе двух вентиляторов их суммарный расход $L_{об} = L_1 + L_2$,а напор, создаваемый вентиляторами, будет одинаков:$P_0 = P_1 = P_2$.

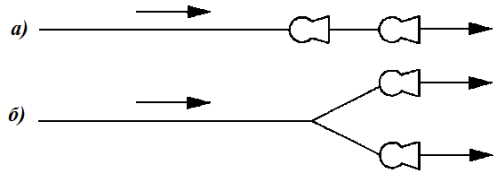
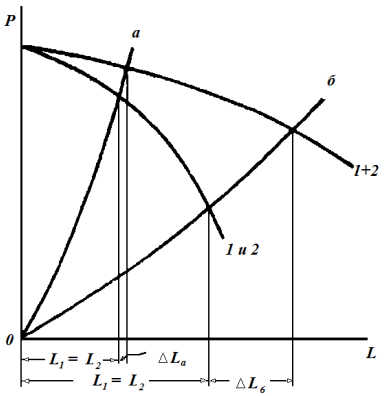


Рис. 23. Совместная работа вентиляторов:
а –последовательная;
б –параллельная

Рис. 24.Параллельная работа двух одинаковых вентиляторов с равномерно падающими характеристиками:
1 и 2 –характеристики двух одинаковых вентиляторов; 1+2 – совместная характеристика этих же вентиляторов при параллельной работе; $\Delta L_а$– увеличение производительности при работе вентиляторов на сетьа; $\Delta L_б$ – увеличение производительности при работе вентиляторов на сеть б



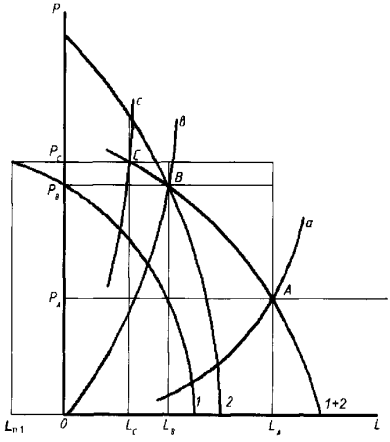


Рис. 25. Параллельная работа двух вентиляторов с различными характеристиками:
1 и 2 – индивидуальные характеристики вентиляторов; 1+2 – совместная характеристика этих же вентиляторов; а, в, с – характеристики сетей; L_A, L_B, L_C – производительности двух вентиляторов при их работе на сети а, в, с соответственно; А, В, С – режимы совместной работы вентиляторов на сети а, в, с; $L_{п.1}$ – парциальная (отрицательная) производительность вентилятора 1 при работе на сеть с

Следовательно, для получения суммарной характеристики параллельно работающих вентиляторов необходимо сложить расходы вентиляторов при одинаковых давлениях. Затем на полученные суммарные характеристики вентиляторов наложить характеристики сети.

Рассмотрим несколько примеров. На рис. 24. показано, что параллельная работа двух одинаковых вентиляторов позволяет получить максимальный эффект при работе вентиляторов на пологую сеть *б,* а при работе на сеть *а* эффект незначительный.

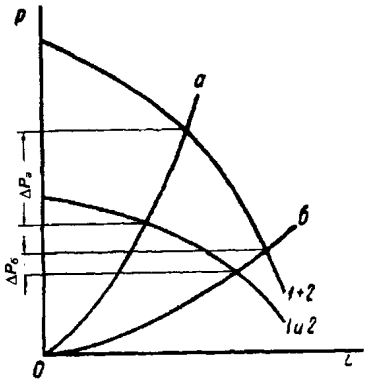


Рис. 26. Работа двух последовательно соединенных вентиляторов с различными характеристиками сети воздухопроводов:
1 и 2– характеристики двух одинаковых вентиляторов; 1 + 2 –совместная характеристика этих вентиляторов; а и б –характеристики сети; $\Delta P_а$– увеличение давления при последовательной работе вентиляторов на сеть а; $\Delta P_б$– увеличение давления при последовательной работе вентиляторов на сеть б

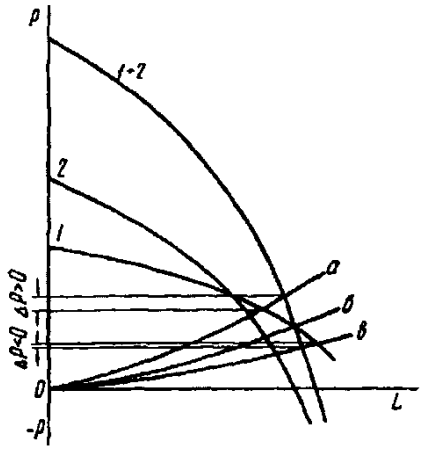


Рис. 27. Последовательная работа двух вентиляторов с разными характеристиками:
а – случай, когда ΔP>0,6 –случай, когда ΔP = 0; в – случай, когда ΔP <0

Если параллельно работают два разных вентилятора, то работа меньшего может быть выгодна, нецелесообразна или вредна (рис. 25.).

При совместной работе вентиляторов с горбатыми или седлообразными характеристиками возможны такие неустойчивые режимы, когда характеристика сети пересекает суммарную характеристику вентиляторов в двух, трех или более точках.

Работа двух последовательно соединенных вентиляторов на разные сети показана на рис.26 и 27. Увеличение создаваемого напора тем больше, чем круче характеристика сети (рис.26). Если соединяются разные вентиляторы, то создаваемое ими давление может иногда оказаться меньше давления одного вентилятора (рис. 27).

3. ДРУГИЕ ТИПЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Модернизированным вариантом радиального вентилятора является прямоточный вентилятор, в котором поток с лопастного рабочего колеса направляется в спиральный корпус не радиально, а по диагонали в кольцевой корпус с осевым выпуском. Эти вентиляторы особенно целесообразны в установках с ограниченными по радиусу габаритами [14].

В радиальных смерчевых вентиляторах, которые успешно можно применять в качестве пылевых без опасения механического повреждения пылевых примесей и самого лопастного рабочего колеса, последнее располагают в нише задней стоики спирального корпуса. При вращении колеса перед ним возникает интенсивное круговое (смерчеобразное) движение воздуха, благодаря чему примеси проходят, минуя колесо.

К радиальным следует также отнести дисковый вентилятор, в котором рабочее колесо представляет собой пакет дисков-колец, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Эти вентиляторы хотя имеют малый КПД и развивают незначительные давления, но при работе мало шумят и могут быть использованы в кондиционерах и в некоторых других случаях, когда шум недопустим.

В вихревом вентиляторе, так же как и в вихревом насосе, рабочим колесом является ротор с выступающими радиально лопастями, расположенный в цилиндрическом корпусе с всасывающим и нагнетательным патрубками.

Вихревой вентилятор при относительно малой подаче создает высокие давления, работая реверсивно и сравнительно бесшумно. КПД у него невысок, конструкция достаточно сложна.

С использованием лопастного рабочего колеса с короткими и загнутыми вперед лопастями, но не на радиальном принципе работает диаметральный вентилятор. При вращении колеса, частично заключенного в отводообразном корпусе, образуется вихревое несимметричное поле, вызывающее движение воздуха по диаметру (устойчивости этого движения может способствовать расположенный внутри колеса направляющий аппарат).

При этом поток двукратно проходит через вращающуюся решетку колеса. Благодаря простоте конструкции и возможности обеспечения значительных осевых размеров колес диаметральные вентиляторы могут иметь большую производительность, а вследствие двукратного воздействия лопастей колеса они развивают значительные давления. Поэтому такие вентиляторы успешно применяют для создания воздушных завес, обдува в электронно-вычислительных машинах, в кондиционерах и т. п.

В ЦАГИ был разработан ряд конструкций диаметральных вентиляторов, но серийно они пока не выпускаются.

Нужно учитывать, однако, что ввиду особенностей конструкций и происходящих аэродинамических процессов диаметральные вентиляторы, как и вихревые, прямоточные, смерчевые, дисковые и ранее описанные пылевые, имеют КПД, несколько пониженный по сравнению с обычными радиальными и осевыми.

Вентиляторы любого типа, расположенные на вертикальной оси в коротком патрубке в отверстии через кровлю (рис.28), называют *крышными*. Такие вентиляторы предназначают, прежде всего, для вытяжной бессетевой вентиляции производственных помещений. Путем отключения части вентиляторов удобно регулировать воздухообмен. Кроме того, они не занимают полезной площади зданий, так как их размещают на кровле.

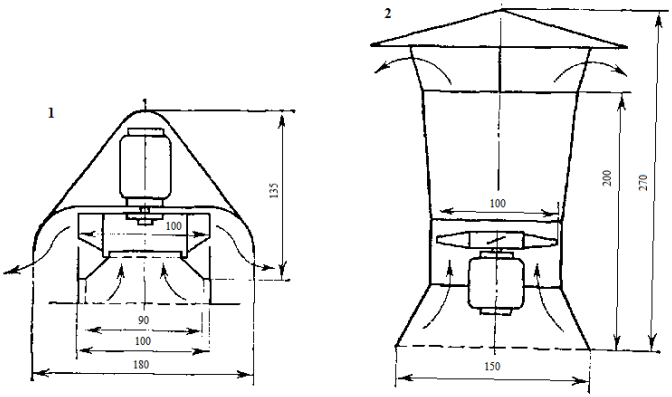


Рис. 28.Крышные вентиляторы:
1 – радиальный; 2 – осевой

В 1936 г. автором был сконструирован, применен и описан крышный осевой вентилятор для вентиляции железнодорожных вагонов. В настоящее время область применения разнообразных конструктивных компоновок крышных, радиальных и осевых вентиляторов весьма обширна и организовано их серийное производство.

3.1. Контроль эффективности работы вентиляционных систем

В соответствии с должностными обязанностями, регламентируемыми тарифно-квалификационными справочниками, работники служб охраны труда обязаны осуществлять контроль эффективности работы вентиляционных систем.

Необходимость обследований состояния воздушной среды на объекте возникает в связи с изменениями производственной мощности предприятия (цеха) и технологического процесса, уменьшением (увеличением) количества работающих, изменением вида и количества вредных выделений, тепловлаговыделений, увеличением (уменьшением) количества применяемого оборудования, его вида, расстановки и т.д.

Обследование производится с целью определения обеспеченности помещений и рабочих мест воздухом надлежащего качества.

В процессе работы в заранее намеченных местах (точках) производятся измерения атмосферного давления, температуры, скорости движения воздушных потоков, влажности воздуха, давления в сети воздухопроводов и др.

Для контроля необходимы следующие приборы и принадлежности: анемометры крыльчатые и чашечные, термоанемометры, психрометры, барометры-анероиды, воздухомерные трубки, микроманометры, секундомеры, рулетки, шланги и др.

При обследовании вентиляционных систем основные измерения связаны с определением давления и скорости движения воздуха [15] .

В воздушных потоках, как указывалось выше, действуют статическое, динамическое (скоростное) и полное давления.

Статическое давление действует на все поверхности в потоке воздуха, расположенные как параллельно потоку, так и под углом к нему (стенки воздухопроводов, поверхности тел, находящихся в потоке). Динамическое давление $P_д$ действует только на поверхности, на которые происходит набегание воздуха, т.е. расположенные под углом к потоку и обращенные навстречу ему. На поверхности, параллельные потоку, скоростное давление не действует. Величина динамического давления в различных точках поперечного сечения потока неодинакова и зависит от скорости движения воздуха в этих точках. Полное давление равно алгебраической сумме статического и динамического давления, т.е. $P_п = P_{ст} + P_д$.

В качестве приемника указанных видов давления используются воздухомерные трубки (трубки Пито). Эти трубки помещаются в поток воздуха, а к ним присоединяются приборы для измерения давления (депрессии). Не допускается продувать трубку Пито ртом в связи с возможностью образования конденсата и капель воды в каналах трубки, что нарушает передачу давления регистрирующему прибору.

Статическое давление можно измерить через отверстие в стенке трубопровода. Ось отверстия должна быть перпендикулярна стенке, поверхность стенки должна быть гладкой, без зауseниц. Диаметр отверстия не меньше 0,2 мм и не более 1,0 мм.

Воздухомерные трубки применяются для измерения динамических давлений при скоростях движения воздуха $v \geq 5$ м/с. При $v < 5$ м/с для измерения скоростей движения воздуха используются анемометры.

3.2. Прочность и защищенность вентиляторов

При работе вентиляторов в их конструкции появляются напряжения за счет возникающих при вращении колес центробежных сил, вибрации. Напряжения, зависящие прежде всего от частоты вращения колес, при определенных условиях могут вызвать разрушение.

Заводы, выпускающие вентиляторы, гарантируют их надежность в эксплуатации до предельной частоты вращения

(числа оборотов), выявляемой расчетами и опытной проверкой. Однако этот предел зависит не только от возникающих напряжений, но и от условий эксплуатации. Для дымососов и пылевых вентиляторов, например, всегда принимается больший запас прочности.

Для однотипных серийных вентиляторов в паспортах удобнее указывать не предельную частоту вращения ω, а предельную окружную скорость на концах лопастей, т. е. на наружном диаметре колеса D_2: $u_2=\omega D_2/2$.

Важно отметить, что во многих случаях (особенно в вентиляционных системах) предельная окружная скорость колеса определяется не прочностью, а требованиями малошумной работы, причем во втором случае она почти всегда меньше. Особенно это заметно в осевых вентиляторах, для которых из условий прочности допускается u_2=100. . .120 м/с и более, а исходя из требования малошумной работы – 15. . .30 м/с.

Необходимость в расчете на прочность может возникнуть при проектировании нового или форсировании серийного вентилятора. Тогда рассчитывают лопасти, диски колеса и вал. Рекомендуется поверять на прочность заклепочные соединения н другие элементы вращающейся системы. Неподвижный спиральный корпус и станину не рассчитывают. Методика этих достаточно сложных расчетов излагается в специальной литературе.

На прочность вентиляторов может существенно влиять эксплуатационный износ деталей и отложение пыли. Износ их от вредного влияния механических и газовых примесей к воздуху может быть абразивным и коррозионным (то и другое особенно характерно для дымососов).

В случае применения газоочистки следует иметь в виду, что при мокром способе, хотя абразивный износ уменьшается, но коррозионный износ может увеличиться.

Отложения пыли, нарушающие балансировку и сужающие протоки, особенно заметны при температуре воздуха ниже точки росы и образования конденсата внутри вентилятора.

Корпуса дымососов, перемещающих загрязненный золой и нагретый газ, в целях предохранения от быстрого истирания приходится снабжать более толстой или прочной обшивкой (из

легированных сталей), накладками. Особенно следует в этом случае усиливать лопасти колеса (например, твердыми наплавками).

Для предохранении подшипников дымососов от тепловых-деформаций, возникающих при температурах газа более 400^0, их следует охлаждать проточной водой. Для предотвращения возможной вибрации больших вентиляторов боковые стенки их корпусов полезно усиливать уголками жесткости.

Для перемещения газовых сред повышенной влажности используются коррозионностойкие вентиляторы, выполняемые из нержавеющей стали или титановых сплавов. Индекс их маркировки принято в конце дополнять буквой К. Практикуется и противокислотная защита вентиляторов путем изготовления их из алюминия, железохромистой или хромоникелевой стали, а при малых размерах – из виниплиста.

Вентиляторы, предназначенные для перемещения газопаровоздушных взрывоопасных смесей, называются искрозащищенными (взрывозащищенными) и их индекс на маркировке принято в конце дополнять буквой И.

Они выполняются из алюминиевых сплавов и разнородных металлов (например, сталь – латунь). Проточная часть может покрываться химически стойкими эмалями и графитонаполненным полиэтиленом. Искрозащищенные вентиляторы требуются также в коррозионностойком и термостойком исполнениях. Все они должны комплектоваться с взрывозащищенными электродвигателями, а выбор их необходимо согласовать с нормативами действующих правил безопасности (например, Правилами устройства электроустановок – ПЭУ).

Вентиляторы для перемещения газов с механическими примесями, например от стружкоотсасывающих систем, для предотвращения возможной закупорки выполняются с редко расставленными лопастями рабочего колеса и называются пылевыми, причем перед индексом маркировки обозначается ЦП**.** Если требуется перемещать через вентилятор вместе с воздухом волокнистые примеси, сохраняя их от повреждения и предотвращая закупорку рабочего колеса, то нужно использовать вентиляторы смерчевого типа.

Интересна конструкция защищенного и достаточно бесшумно работающего вентилятора из буксолита (бумага с картоном), предложенного А. А. Меликсетовым.

3.3. Балансировка колес вентиляторов

При вращении колес нагнетателей может возникнуть вибрация, которая разрушающе действует на подшипники и всю конструкцию, а также является причиной шума. Вибрация возникает вследствие неуравновешенности массы колеса относительно оси вращения, в результате чего образуются силы, действующие на изгиб вала [16].

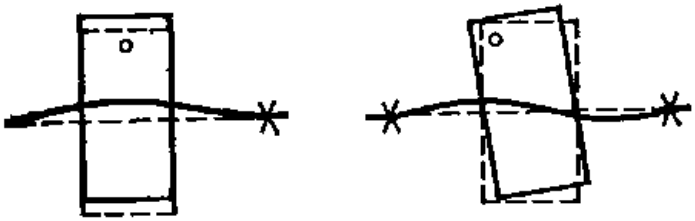


Рис. 29. Изгиб вала за счет неуравновешенности колеса:
1 – статической; 2 – динамической

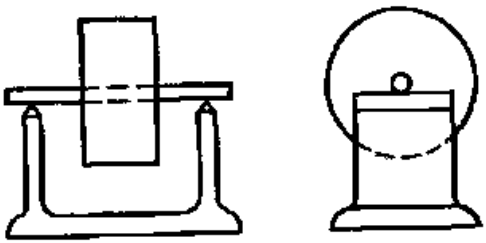


Рис. 30. Статическая балансировка

Если колесо узкое, сравнительно невелико по диаметру и рассчитано на работу при небольших окружных скоростях, то силу, изгибающую вал, считают расположенной в одной плоскости. Уравновешивание (балансировку) в этом случае можно

производить так называемым статическим способом. В других, более общих случаях, изгибающие силы могут располагаться в разных плоскостях, воздействуя сильнее на вал. В этих условиях балансировку следует производить динамическим способом на специальных станках.

Рабочие колеса радиальных вентиляторов, у которых ширина более 30 % диаметра, должны быть динамически уравновешены при сборке на заводе. Если при монтаже, а в особенности при эксплуатации первоначальная заводская балансировка нарушится, ее следует немедленно восстановить.

Статическая балансировка в отличие от динамической осуществляется без особых трудностей. Для этой цели на расположенные строго горизонтально две металлические призмы (ножи) опирают вал с насаженным на него колесом. Если колесо не уравновешено, то при поворотах оно все время будет занимать определенное сложение – избыточной массой вниз. При балансировке облегают колесо в этом месте (стачиванием, просверливанием) или подирают добавочный грузик для укрепления на противоположной стороне колеса (прикрепкой, приваркой). Уравновешенное колесо при легком повороте должно останавливаться в любом положении.

3.4. Звукоизоляция

Источником шума в нагнетательных установках являются работающие нагнетатели, электродвигатели и передача между ними. Им образуется также в сети при высоких скоростях течения жидкости. Уровень шума нагнетателей зависит от их типа, режима работы, а также от качестве монтажа.

Тип нагнетателя и режим его работы определяют при проектировании. При работе с одним и тем же давлением осевые, в частности, вентиляторы шумят сильнее, чем радиальные. Объясняется это тем, что коэффициент давления их значительно меньше, чем у радиальных, и поэтому требуются значительно большие окружные скорости. Меньше шумят вентиляторы с большим числом лопастей [17].

Уровень шума радиальных вентиляторов, колеса которых имеют лопасти, загнутые вперед, при той же окружной скорости больше, чем при колесах с лопастями, загнутыми назад, так как во втором, случае скорости выхода с лопастей и в кожухе получаются меньшими. Но колеса с лопастями, загнутыми назад, имеют меньший коэффициент давления, вследствие чего при работе с одними тем же давлением их приходится использовать при больших окружных скоростях, чем колеса с лопастями, загнутыми вперед.

Окружная скорость вращения колес как у осевых, так и радиальных вентиляторов по требованиям обеспечения достаточно бесшумной работы не должна превышать 25...30 м/с. При таких окружных скоростях давления могут достигать 100...200 у осевых и 800...1200 Па у радиальных вентиляторов. Если необходимо получить большие давления, то для обеспечения относительно бесшумной работы вентиляторы соединяют между собой последовательно.

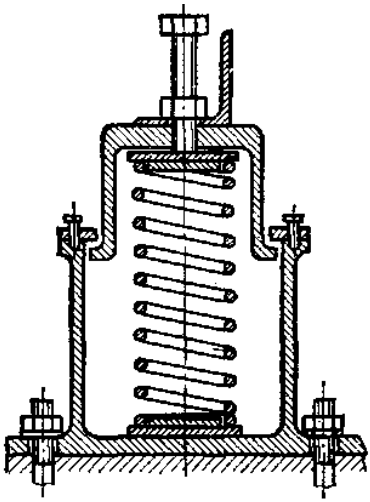


Рис. 31. Пружинный амортизатор

Шум механического происхождения вызывает конструкцией передачи, плохой балансировкой и работой подшипников, недостатками монтажа и т. п.

При проектировании и подборе нагнетателей обычно стремятся непосредственно соединить их с электродвигателями на одном валу или на одной оси. Это не только увеличивает экономичность эксплуатации благодаря устранению потерь мощности в передаче и обеспечению более выгодной компоновки установки, но и заметно снижает ее шум.

Как отмечалось выше, уровень шума нагнетателя увеличивается при не удовлетворительной его балансировке. Необходимо также регулярно проверять, затяжку всех соединений, состояние подшипников, наличие надлежащих зазоров.

Определенный эффект в снижении шума нагнетателей дает замена подшипников качения подшипниками скольжения, а еще больший – расположение колеса между двумя опорами вместо консольного расположения его на валу. Клиновидная передача создает меньший шум, чем плоскоременная.

Более бесшумны массивные конструкции центробежных насосов с литыми колесами, литыми корпусами и станинами. При монтаже нагнетателей и электродвигателей желательно устанавливать их на самостоятельных массивных основаниях с упругими прокладками.

За последнее время в нашей монтажной практике с успехом стали применять виброизолирующие основания – металлические рамы или железобетонные плиты, располагаемые на пружинных амортизаторах (рис. 31).

Основания под крупные установки не должны соприкасаться боковыми поверхностями с грунтом, чтобы вибрация не передавалась стенам и другим конструкциям здания. Если котлован огражден шпунтованными сваями, забитыми ниже подошвы фундамента, промежуток между ними заполняют каким-либо упругим материалом. Упругую прокладку помещают под подошвой основания; кроме того, дополнительно она может быть расположена и под станиной.

Основания под вентиляторами, монтируемыми на перекрытиях или площадках, должны иметь акустические швы (упругие прокладки), изолирующие их от каркаса здания или плотной ткани.

Для предотвращения передачи шума работающих нагнетателей через сеть следует в обязательном порядке располагать между ними упругие патрубки из резины или брезента.

Если соединения звеньев трубопроводов фланцевые, в целях звукоизоляции можно выполнять прокладки из резины, асбестового картона, а затяжные болты изолировать с помощью шайб из кожи или чулок из резиновых трубок.

При значительной скорости течения жидкости шум может появиться и внутри сети – в местных сопротивлениях и регулирующих устройствах.

Для поглощения шума вентиляторных установок стенки воздухопроводов на отдельных участках устраивают из звукопоглощающего материала с пористой поверхностью или предусматривают камеры глушения. Такие камеры (рис. 32.) представляют собой уширенные воздухопроводы, снабженные различного рода экранами перегородками для отражения и поглощения.

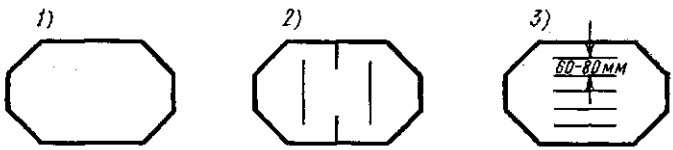


Рис. 32.Камеры глушения:
1 – расширительная; 2 – с экранами; 3 – пластинчатая

Методика расчета звукоизоляции описывается в специальных пособиях. В качестве звукопоглощающего материала (штукатурки) можно применять шлакоцементные плиты, пористый бетон, минеральную вату и т. п.

Силу шума (уровень звукового давления) оценивают в децибелах. Встречающиеся на практике уровни звукового давления лежат в пределах от 20 (в радиостудиях) до 130 дБ (на аэродроме). В жилых помещениях уровень звукового давления не

должен превышать 35 дБ, в служебных – 40 дБ и в торговых – 50 дБ. Восприятие шума обусловливается не только его силой, но и частой. Шум с большей частотой действует менее раздражительно, в зависимости от частоты уровень шума оценивают в фонах. При частотах, лежащих в пределах 800...2000 Гц, результаты измерений в децибелах или фонах практически совпадают. Если в помещении имеется источник шума, создающий уровень звукового давления S то m источников создадут уровень: $S_m = S+10\ 1gm$. Из этой формулы следует, что 10 источников шума увеличат его уровень на 10 дБ, а 100 – на 20 дБ. Таким образом, уровни звуковых давлений практически не складываются. Отсюда следует, что при наличии нескольких источников шума, мало отличающихся по мощности друг от друга, нужно предусматривать звукоизоляцию всех источников [18].

3.5. Защита от шума вентиляционных систем

Нормализуя воздушную среду, вентиляционные установки могут создавать повышенные уровни шума, если не будут предусмотрены соответствующие меры защиты.

Борьбу с шумом систем вентиляции следует начинать в процессе проектирования объекта. С помощью рациональных объемно-планировочных решений, подбора и компоновки оборудования удается создавать условия, способствующие снижению шума при эксплуатации систем. Правильному и экономичному решению этой проблемы способствует комплексный подход и совместная работа различных специалистов (инженеров-строителей, акустиков и специалистов по вентиляции). Никогда не удается полностью ликвидировать шум, возникающий при эксплуатации систем вентиляции. Поэтому задача сводится к максимальному уменьшению его уровня.

К источникам шума в системах вентиляции относятся вентиляторы и электродвигатели. Кроме того, шум образуется при движении воздуха в воздухопроводах, а также при истечении его через приточные отверстия и при поступлении в вытяжные.

Возникающий при работе различных установок шум может распространяться в объекте через воздух помещений и воздух, находящийся в воздухопроводах, а в виде вибраций – переда-

ваться по строительным конструкциям и различным коммуникациям (по стенкам труб, воздухопроводов и т.д.).

Различают механический и аэродинамический шум. Аэродинамический шум вентилятора, по своему уровню обычно значительно превосходящий механический, вызывается колебаниями (пульсациями) скорости и давления в потоке воздуха, протекающем через него. По своей физической сущности этот вид шума представляет собой вихревой шум и шум пограничного слоя. Уровень его зависит от аэродинамических и конструктивных особенностей вентилятора, числа оборотов его рабочего колеса и режима работы.

Борьба с аэродинамическим шумом вентиляторов заключается, во-первых, в проведении мероприятий, способствующих снижению этого шума в самом источнике, и, во-вторых, в применении различных шумопоглощающих устройств в сети воздухопроводов. Напомним, что аэродинамический шум вентилятора распространяется по воздухопроводам независимо от направления движения в них воздуха. Уменьшить аэродинамический шум в самом источнике можно путем правильного выбора типа вентилятора и режима его работы. Наименьший шум создают центробежные вентиляторы с лопатками, загнутыми назад, а для одного и того же типа вентиляторов уровень создаваемого ими звукового давления тем ниже, чем меньше диаметр и число оборотов рабочего колеса.

Для уменьшения шума, передающегося от вентилятора по воздухопроводам, используются глушители шума различных конструкций (пластинчатые, сотовые и др.).

Вопросы защиты от шума вентиляционных систем обстоятельно освещены в литературе [19].

4.ЭКОНОМИКА ЭКСПЛУАТАЦИИ НАГНЕТАТЕЛЕЙ

Даже безукоризненно налаженные нагнетатели могут спустя некоторое время работать неудовлетворительно, если их эксплуатация не организована надлежащим образом. Правильная эксплуатация нагнетателей заключается не только в повседневном наблюдении за их техническим состоянием и в своевременном ремонте, выполнении правил техники безопасности.

В большинстве случаев расходы на эксплуатацию нагнетателей за определенный промежуток времени, зависящие в основном от стоимости, потребляемой двигателями электроэнергии, превосходят их монтажную стоимость, отнесенную к тому же промежутку времени (амортизацию).

Количество потребляемой двигателем электроэнергии зависит от режима работы сети, нагнетателя и самого двигателя. Известно, например, что увеличение расхода жидкости через сеть приводит к резкому увеличению мощности центробежных (радиальных) нагнетателей, в связи, с чем целесообразно отключать бездействующие ответвления [20].

Еще больший эффект общего снижения расхода жидкости через сеть (например, в вентиляционных установках при изменении сезона) дает снижение частоты вращения нагнетателей. Это позволяет резко снизить мощность, в частности, лопастных нагнетателей (и соответствии с третьей степенью уменьшения частоты вращения).

При этом нужно иметь в виду, что уменьшение мощности нагнетателей не приводит к пропорциональному уменьшению мощности, потребляемой электродвигателями из сети, так как у недогруженного электродвигателя снижается cos φ. Поэтому при постоянном или длительном изменении режима необходимо заменять двигатель. Рентабельной может оказаться и замена самого нагнетателя. Следует ясно представлять, что в случае возможности даже незначительного увеличения КПД установки затраты по перемонтажу или замене оборудования быстро окупятся.

Снизить стоимость эксплуатации нагнетателей можно также уменьшением издержек на содержание обслуживающего персонала. Механизация и удешевление обслуживания обеспечиваются применением автоматизации и диспетчеризации управления.

Автоматику можно применять для текущей регулировки путем прикрывания или открывания задвижек моторчиками, для выключения двигателей при перегрузке с помощью тепловых реле и т.д. Диспетчеризация осуществляется путем управления всеми нагнетателями из одного пункта. При этом дублирующие пусковые устройства должны быть расположены непосредственно возле оборудования.

На рис. 33 показана функциональная схема автоматического регулирования, например вентиляции помещения. В сфере действия объекта размещают чувствительный измерительный орган – датчик в виде термопары, гигрометра, манометра или другого прибора.

Командный импульс от датчика поступает в усилитель – управляющий орган, а оттуда в исполнительный орган (механизм), который может быть в виде электродвигателя, электромагнитного клапана, мембранного или поршневого устройства. Ими приводится в действие регулирующий орган – задвижка, клапан, направляющий аппарат и др.

Пневматические устройства проще, но электрические универсальнее. Для обеспечения устойчивого регулирования предусматриваются различные виды обратной связи с управляющим органом.

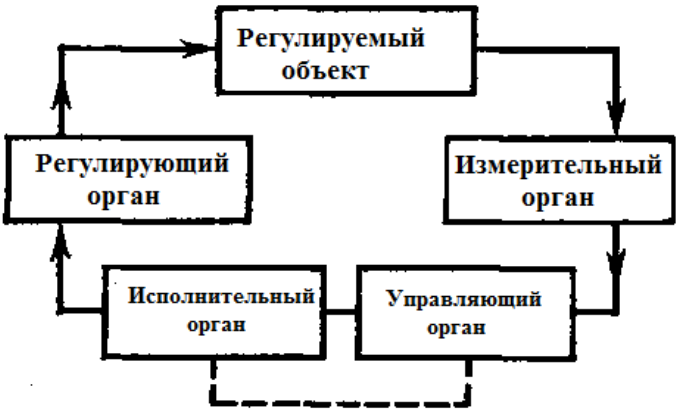


Рис. 33.Схема системы автоматического регулирования

Автоматизированными и неавтоматизированными нагнетателями, особенно при большом их числе, следует управлять с помощью средств диспетчеризации, для чего контрольные приборы, кнопки или ключи располагают на щитах, устанавливаемых в специально выделенных помещениях диспетчерских пунктов.

В диспетчерских пунктах по приборам дистанционно контролируются сигналы о нормальном действии оборудования, изменении режима эксплуатации, об аварийном отключении и производится дистанционно включение и отключение. Все это позволяет значительно сократить дежурный персонал у местных щитов управления.

Диспетчеризацию нагнетателей выгодно объединить с диспетчеризацией других систем – энергоснабжения, водоснабжения и др.

4.1. Служба эксплуатации нагнетателей

При эксплуатации всех видов объемных и лопастных нагнетателей требуется обеспечивать тщательный надзор, регулировку, своевременный ремонт.

На предприятиях всегда имеются насосы, компрессоры и обычно много вентиляторов, комплектующих технологические, энергетические и всякого рода вентиляционные системы. Поэтому для обслуживания вентиляторных установок общей численностью свыше 100 часто в эксплуатационно-ремонтной службе энергетика или механика предприятия создаются самостоятельные группы из наладчиков, ремонтников, а также лаборантов и конструкторов.

Этот персонал пускает и останавливает вентиляторы, выполняет мелкий текущий ремонт, делает необходимые анализы воздушной среды, разрабатывает реконструкцию, определяет объём планово-предупредительного и капитального ремонта.

В соответствии со спецификой предприятия разрабатываются соответствующие правила и инструкции, повседневно ведется эксплуатационный журнал.

Серьезное внимание при эксплуатации нагнетателей должно уделяться пожарной и производственной безопасности.

Опасность пожара и взрыва особенно значительна при эксплуатации вентиляторов, перемещающих горючие газы и смеси. Источником воспламенения могут стать искрообразование при касании вращающегося колена вентилятора с корпусом, накопление заряда статического электричества, несоответствие или неисправность электрооборудования.

В этом случае необходимо применение искрозащищенных вентиляторов или вообще замена вентиляторов эжекторами, а также применение специальных электродвигателей, пусковых устройств и предохранителей.

Наиболее вероятными причинами несчастных случаев при эксплуатации нагнетателей являются поражения электротоком при пуске или ремонте электродвигателей, повреждения движущимся рабочим органом, шкивом, приводом, для предотвращения чего должно быть обеспечено надежное заземление, ограждение. Должны строго также выполняться и все другие, действующие правила по пожарной и производственной безопасности.

Все действующие нагнетатели должны иметь технические паспорта, содержащие сведения из проектной документации, протоколов испытаний, сведений по ремонту и др. Также должен составляться сводный для всего предприятия паспорт нагнетательного хозяйства.

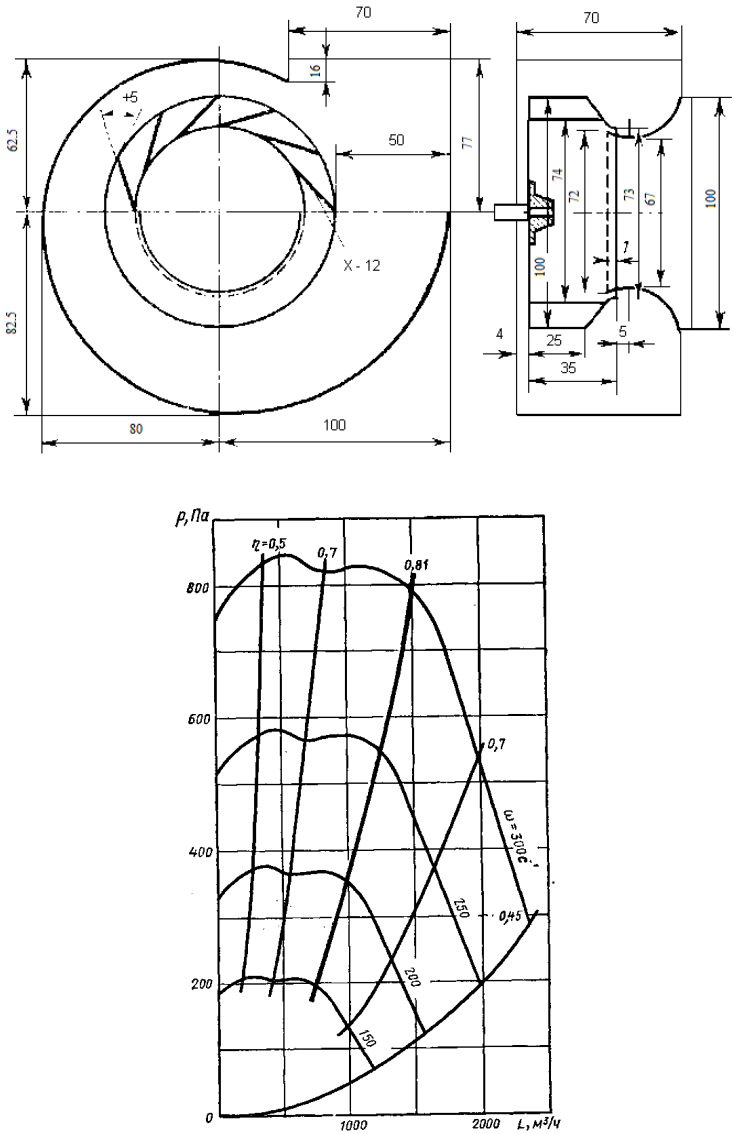


Рис. 34. Аэродинамическая схема радиального вентилятора Ц4–70 (размеры в процентах от диаметра колеса, номера в дм)
Характеристика радиального вентилятора Ц4–70 №2,5

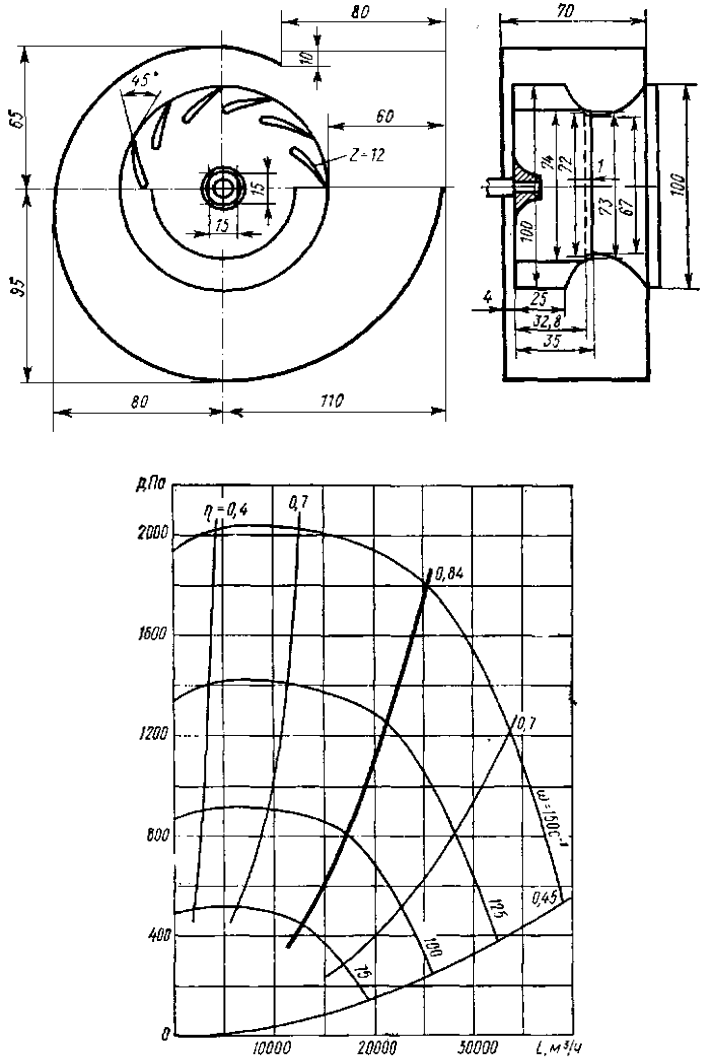


Рис. 35. Аэродинамическая схема радиального вентилятора Ц4–76 (размеры в процентах от диаметра колеса, номера в дм)
Характеристика вентилятора Ц4–76 № 8

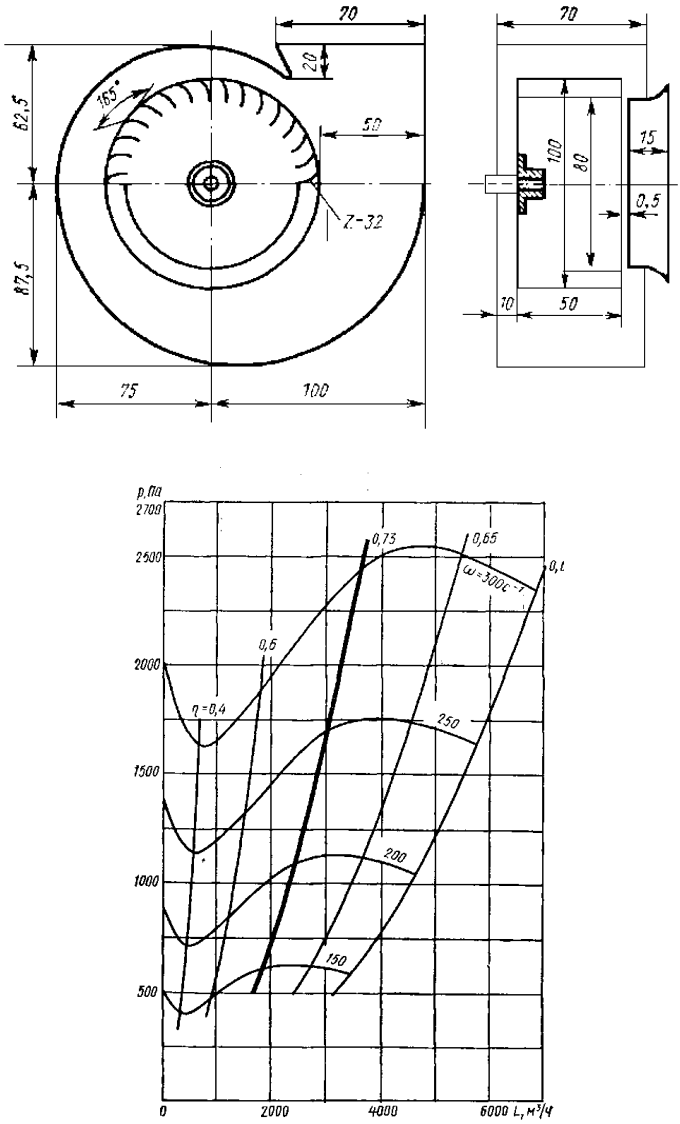


Рис. 36. Аэродинамическая схема радиального вентилятора Ц14–46 (размеры в процентах от диаметра колеса, номера в дм)
Характеристика радиального вентилятора Ц14–46 № 2,5

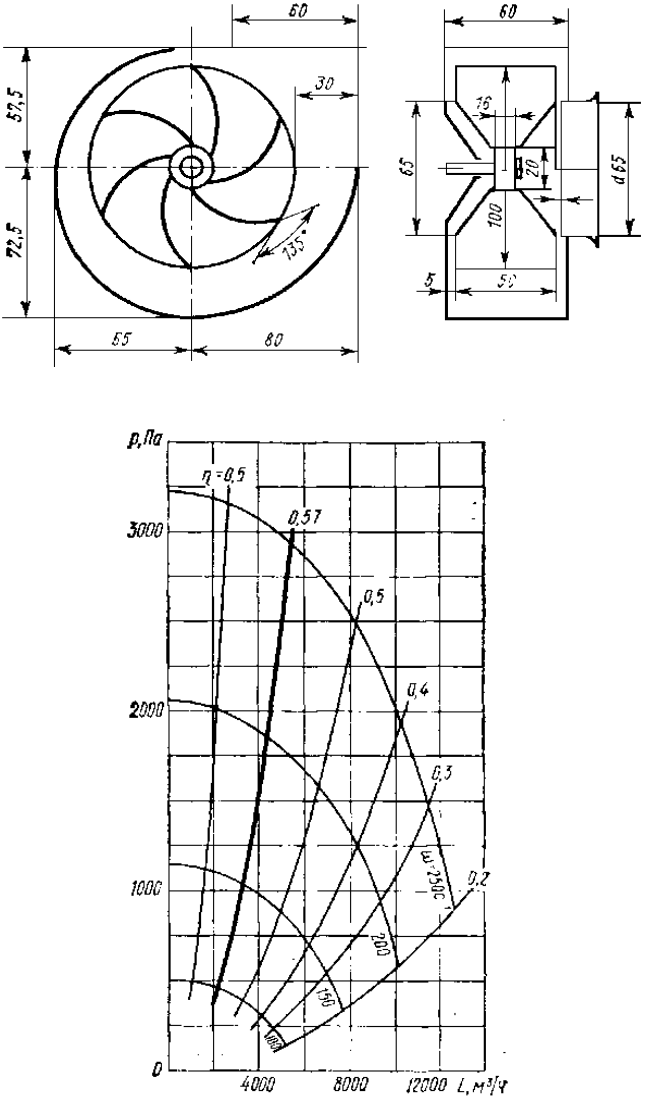


Рис. 37. Аэродинамическая схема радиального пылевого вентилятора ЦП7–40 (размеры в процентах от диаметра колеса, номера в дм)
Характеристика радиального пылевого вентилятора ЦП7–40 №5

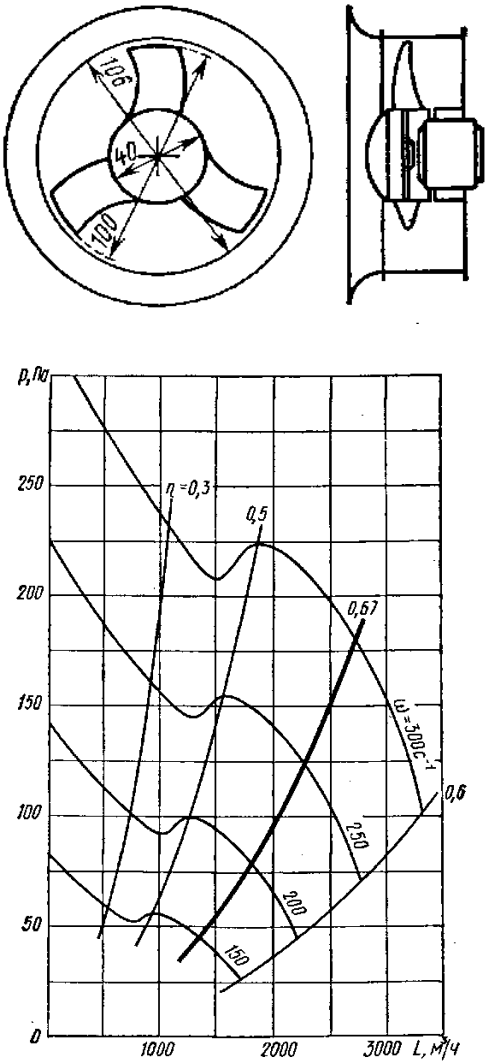


Рис. 38. Аэродинамическая схема осевого вентилятора 06–300 (размеры в процентах от диаметра рабочего колеса, номера в дм)
Характеристика осевого вентилятора 06–300 № 3,2

5. КОНДИЦИОНЕРЫ И СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

5.1. Типы и серии кондиционеров

Кондиционирование воздуха – автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения воздуха) с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей.

Кондиционирование воздуха в помещениях предусматривается для создания и поддержания в них:

– установленных нормами допускаемых условий воздушной среды, если они не могут быть обеспечены более простыми средствами;

– искусственных климатических условий в соответствии с технологическими требованиями внутри помещения или части их круглогодично или в течение теплого либо холодного периода года;

– оптимальных (или близких к ним) гигиенических условий воздушной среды в производственных помещениях, если это экономически оправдано увеличением производительности труда;

– оптимальных условий воздушной среды в помещениях общественных и жилых зданий, административных и многофункциональных, а также вспомогательных зданий промышленных предприятий.

Кондиционирование воздуха предусматривается преимущественно в общественных и административных зданиях, поездах, самолётах, автомобилях, на судах – для обеспечения комфортных условий; в промышленных зданиях – для получения продукции, качества которой удовлетворяют требованиям стандартов, а также для обеспечения оптимальных условий труда и повышения его производительности при одновременном уменьшении производственного брака; в жилых домах (главным образом в южных районах); в шахтах и рудниках, в кабинах кранов, тракторов, комбайнов, экскаваторов и др. машин – для

облегчения условий труда; в научно-исследовательских учреждениях – для проведения экспериментальных работ в строго определённых воспроизводимых климатических условиях, в библиотеках, архивах, музеях, картинных галереях – для обеспечения наиболее благоприятных условий хранения книг, документов и произведений искусства; в хранилищах пищевых и сельскохозяйственных продуктов – для создания и поддержания микроклимата, при котором достигаются минимальные потери продукции и сохраняются её вкусовые и питательные качества; в медицинских учреждениях – для поддержания требуемой чистоты воздуха и в лечебных целях; в сельскохозяйственных зданиях – для круглогодичного выращивания овощей, фруктов, цветов, выращивания и откорма птицы и др.

Технологическое кондиционирование воздуха в промышленности устраивается с целью обеспечения постоянства влагосодержания материалов, скорости протекания химических и биохимических реакций, процессов кристаллизации, поддержания неизменных температуры и влажности, необходимых для испытания материалов в стандартных условиях, и др. Технологическое кондиционирование воздуха требуется, например, для помещений, в которых изготовляются и обрабатываются гигроскопичные материалы, т.к. температура и относительная влажность воздуха оказывают большое влияние на ход технологических процессов, массу, внешний вид и качество материалов и изделий из них; поддержание постоянной внутренней температуры необходимо при точной обработке инструментов, приборов с допусками порядка 2–3 мкм, т. к. колебания температуры воздуха приводят к недопустимым отклонениям в размерах деталей в процессе их обработки; относительная влажность воздуха (выше 55%), поддерживаемая в некоторых производственных помещениях, практически исключает возможность накопления электростатических зарядов, что особенно важно для производств со взрывоопасной средой. Кондиционирование воздуха устраивается более чем в 200 видах производств различных отраслей промышленности. В ряде случаев уровень температуры воздуха внутри производственных помещений определяется комфортными условиями.

Установки для кондиционирования очищают, нагревают или охлаждают, увлажняют или подсушивают подаваемый в помещение воздух.

При кондиционировании основная масса воздуха вводится в рециркуляцию за исключением производств, в которых это недопустимо по санитарно-гигиеническим условиям.

Установки для кондиционирования воздуха снабжаются приборами автоматического регулирования. Кондиционеры автономные общего назначения обеспечивают автоматическое регулирование воздуха в помещениях от +18 до +28^{0}С с точностью ±1^{0}С. Изготавливают также кондиционеры с регулированием относительной влажности воздуха в помещении от 30 до 70% с точностью ±5%.

Схема кондиционера, предназначенного для полной обработки воздуха в двух ступенях рециркуляции, приведена на рис. 39.

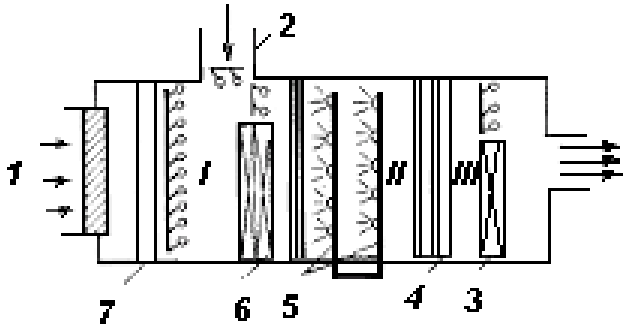


Рис. 39. Схема кондиционера:
I – камера смешения воздуха; II – промывная камера; III – камера второго подогрева; 1 - воздуховод наружного воздуха; 2 - воздуховод рециркуляционного воздуха; 3, 6 – калориферы; 4 –каплеотделитель; 5 – форсунки; 7 – фильтр

Наружный воздух поступает через жалюзийную решетку, очищается от пыли в фильтре. Далее, посредством клапанов воздух частично или полностью направляется в калориферы первого подогрева или непосредственно в камеру смешения. В ней свежий подогретый воздух смешивается с некоторым объемом рециркулируемого воздуха, возвращаемого из обслуживае-

мого кондиционером помещения, проходящего через клапан. Клапаны, установленные на подаче горячей воды в калориферы, регулируют степень нагрева в них воздуха.

Из первой ступени рециркуляции воздух поступает в оросительную камеру, где он увлажняется и поступает в камеру смешения, где к нему по воздуховоду вновь подводится рециркулируемый воздух. При необходимости воздух может быть вновь подогрет в калорифере, регулируемом клапаном. Объем воздуха, проходящий через калорифер или минующий его, регулируется сдвоенным клапаном. От кондиционера воздух вентилятором подается в обслуживаемое помещение.

Регулирование подачи в оросительную систему холодной воды осуществляется клапаном, а горячей – трехходовым смесительным краном.

Данный тип кондиционера обеспечивает очистку воздуха от пыли, первичный нагрев и увлажнение в оросительной камере, смешение с рециркулируемым воздухом и вторичный подогрев перед подачей в обслуживаемое помещение.

Использование рециркулируемого воздуха предусмотрено из экономических соображений. Летом, при высокой температуре наружного воздуха, подача его в кондиционер потребует большого расхода холодной воды. Зимой, наоборот, потребует большого расхода тепла на подогрев воздуха.

На сегодняшний день существует несколько основных видов кондиционеров, отличающихся друг друга конструктивными решениями, функциональностью и удобством в эксплуатации. Однако, в общем и целом все кондиционеры предназначены для выполнения одной основной функции – охлаждения воздуха, и принципиальная суть процесса кондиционирования, независимо от вида и конструкции охлаждающей системы, остается неизменной.

Общий принцип работы всех кондиционеров одинаков. Кондиционирование воздуха основывается на простом физическом законе – газ в процессе перехода из жидкого состояния в газообразное поглощает тепло, и наоборот, выделяет это тепло при переходе из газообразного состояния в жидкое.

Каждый знаком с этим простым физическим процессом по пользованию простым аэрозольным баллончиком – при выделе-

нии струи аэрозоля баллончик охлаждается. Это происходит именно из-за того, что газ, находящийся внутри баллончика в жидком состоянии, при переходе в газообразное состояние поглощает тепловую энергию. По сути то же самое делают и все системы кондиционирования воздуха, в которых этот процесс протекает в трех основных технологических блоках: испаритель, компрессор и конденсатор.

Любой кондиционер можно представить в виде единого контура – кольца из медных труб, внутри которых циркулирует хладагент (фреон) – газ, при переходе которого из одного состояния в другое происходит сначала поглощение тепла, а потом его выделение. Этот фреоновый контур объединяет все основные технологические блоки в едином процессе кондиционирования воздуха.

Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемым *системой кондиционирования воздуха (СКВ)*. В состав СКВ входят технические средства забора воздуха, подготовки, т.е. придания необходимых кондиций (фильтры, теплообменники, увлажнители или осушители воздуха), перемещения (вентиляторы) и его распределения, а также средства хладо- и теплоснабжения, автоматики, дистанционного управления и контроля. СКВ больших общественных, административных и производственных зданий обслуживаются, как правило, комплексными автоматизированными системами управления [21].

Автоматизированная система кондиционирования поддерживает заданное состояние воздуха в помещении независимо от колебаний параметров окружающей среды (атмосферных условий).

Основное оборудование системы кондиционирования для подготовки и перемещения воздуха агрегатируется (компонуется в едином корпусе) в аппарат, называемый кондиционером. Во многих случаях все технические средства для кондиционирования воздуха скомпонованы в одном блоке или в двух блоках, и тогда понятия СКВ и «кондиционер» однозначны.

Прежде чем перейти к классификации систем кондиционирования, следует отметить, что общепринятой классификации СКВ до сих пор не существует и связано это с многовариантностью принципиальных схем, технических и функциональных характеристик, зависящих не только от технических возможно-

стей самих систем, но и от объектов применения (кондиционируемых помещений).

Современные системы кондиционирования могут быть классифицированы по следующим признакам:

–основному назначению (объекту применения): комфортные и технологические;

–принципу расположения кондиционера по отношению к обслуживаемому помещению: центральные и местные;

–наличию собственного (входящего в конструкцию кондиционера) источника тепла и холода: автономные и неавтономные;

– принципу действия: прямоточные, рециркуляционные и комбинированные;

– способу регулирования выходных параметров кондиционированного воздуха: с качественным (однотрубным) и количественным (двухтрубным) регулированием;

– степени обеспечения метеорологических условий в обслуживаемом помещении: первого, второго и третьего класса;

– количеству обслуживаемых помещений (локальных зон): однозональные и многозональные;

– давлению, развиваемому вентиляторами кондиционеров: низкого, среднего и высокого давления.

Кроме приведенных классификаций, существуют разнообразные системы кондиционирования, обслуживающие специальные технологические процессы, включая системы с изменяющимися во времени (по определенной программе) метеорологическими параметрами.

Комфортные СКВ предназначены для создания и автоматического поддержания температуры, относительной влажности, чистоты и скорости движения воздуха, отвечающих оптимальным санитарно-гигиеническим требованиям для жилых, общественных и административно-бытовых зданий или помещений.

Технологические СКВ предназначены для обеспечения параметров воздуха, в максимальной степени отвечающих требованиям производства. Технологическое кондиционирование в помещениях, где находятся люди, осуществляется с учетом санитарно-гигиенических требований к состоянию воздушной среды.

Центральные СКВ снабжаются извне холодом (доставляемым холодной водой или хладагентом), теплом (доставляемым горячей водой, паром или электричеством) и электрической энергией для привода электродвигателей вентиляторов, насосов и пр.

Центральные СКВ расположены вне обслуживаемых помещений и кондиционируют одно большое помещение, несколько зон такого помещения или много отдельных помещений. Иногда несколько центральных кондиционеров обслуживают одно помещение больших размеров (производственный цех, театральный зал, закрытый стадион или каток).

Центральные СКВ оборудуются центральными неавтономными кондиционерами, которые изготавливаются по базовым (типовым) схемам компоновки оборудования и их модификациям [22].

Центральные СКВ обладают следующими преимуществами:

1) возможностью эффективного поддержания заданной температуры и относительной влажности воздуха в помещениях;

2) сосредоточением оборудования, требующего систематического обслуживания и ремонта, как правило, в одном месте (подсобном помещении, техническом этаже и т.п.);

3) возможностями обеспечения эффективного шумо- и виброгашения. С помощью центральных СКВ при надлежащей акустической обработке воздуховодов, устройстве глушителей шума и гасителей вибрации можно достигнуть наиболее низких уровней шума в помещениях и обслуживать такие помещения, как радио – и телевизионные студии и т.п.

Несмотря на ряд достоинств центральных СКВ, надо отметить, что крупные габариты и проведение сложных монтажно-строительных работ по установке кондиционеров, прокладке воздуховодов и трубопроводов часто приводят к невозможности применения этих систем в существующих реконструируемых зданиях.

Местные СКВ разрабатывают на базе автономных и неавтономных кондиционеров, которые устанавливают непосредственно в обслуживаемых помещениях.

Достоинством местных СКВ является простота установки и монтажа [23].

Такая система может применяться в большом ряде случаев:

–существующих жилых и административных зданиях для поддержания теплового микроклимата в отдельных офисных помещениях или в жилых комнатах;

–вновь строящихся зданиях для отдельных комнат, режим потребления холода в которых резко отличается от такого режима в большинстве других помещений, например, в серверных и других насыщенных тепловыделяющей техникой комнатах административных зданий. Подача свежего воздуха и удаление вытяжного воздуха при этом выполняется, как правило, центральными системами приточно-вытяжной вентиляции;

–вновь строящихся зданиях, если поддержание оптимальных тепловых условий требуется в небольшом числе помещений, например, в ограниченном числе номеров-люкс небольшой гостиницы;

–больших помещениях как существующих, так и вновь строящихся зданий: кафе и ресторанах, магазинах, проектных залах, аудиториях и т.д.

Автономные СКВ снабжаются извне только электрической энергией, например, кондиционеры сплит-систем, шкафные кондиционеры и т.п.



Рис.40. Фрагмент центрального кондиционера



Рис.41.Чиллер с водяным охлаждением конденсатора



Рис.42.Чиллер с воздушным охлаждением конденсатора

Такие кондиционеры имеют встроенные компрессионные холодильные машины, работающие, как правило, на фреоне-22.

Автономные системы охлаждают и осушают воздух, для чего вентилятор продувает рециркуляционный воздух через поверхностные воздухоохладители, которыми являются испарители холодильных машин, а в переходное и зимнее время они могут производить подогрев воздуха с помощью электрических подогревателей или путем реверсирования работы холодильной машины по циклу так называемого *«теплового насоса».*

Наиболее простым вариантом, представляющим децентрализованное обеспечение в помещениях температурных условий, можно считать применение кондиционеров сплит-систем.

Неавтономные СКВ подразделяются на:

– воздушные, при использовании которых в обслуживаемое помещение подается только воздух. (Мини-центральные кондиционеры, центральные кондиционеры);

– водовоздушные, при использовании которых в кондиционируемые помещения подводятся воздух и вода, несущие тепло или холод, либо то и другое вместе (системы чиллеров-фанкойлов, центральные кондиционеры с местными доводчиками и т.п.).

Однозональные центральные СКВ применяются для обслуживания больших помещений с относительно равномерным распределением тепла, влаговыделений, например, больших залов кинотеатров, аудиторий и т.д. Такие СКВ, как правило, комплектуются устройствами для утилизации тепла (теплоутилизаторами) или смесительными камерами для использования в обслуживаемых помещениях рециркуляции воздуха.

Многозональные центральные СКВ применяют для обслуживания больших помещений, в которых оборудование размещено неравномерно, а также для обслуживания ряда сравнительно небольших помещений. Такие системы более экономичны, чем отдельные системы для каждой зоны или каждого помещения. Однако с их помощью не может быть достигнута такая же степень точности поддержания одного или двух заданных параметров (влажности и температуры), как автономными СКВ (кондиционерами сплит-систем и т.п.).

Прямоточные СКВ полностью работают на наружном воздухе, который обрабатывается в кондиционере, а затем подается в помещение.

Рециркуляционные СКВ, наоборот, работают без притока или с частичной подачей (до 40%) свежего наружного воздуха или на рециркуляционном воздухе (от 60 до 100%), который забирается из помещения и после его обработки в кондиционере вновь подается в это же помещение.

Классификация кондиционирования воздуха по принципу действия на прямоточные и рециркуляционные обусловливается, главным образом, требованиями к комфортности, условиями технологического процесса производства либо технико-экономическими соображениями [24].

Центральные СКВ с качественным регулированием метеорологических параметров представляют собой широкий ряд наиболее распространенных, так называемых одноканальных систем, в которых весь обработанный воздух при заданных кондициях выходит из кондиционера по одному каналу и поступает далее в одно или несколько помещений.

При этом регулирующий сигнал от терморегулятора, установленного в обслуживаемом помещении, поступает непосредственно на центральный кондиционер.

СКВ с количественным регулированием подают в одно или несколько помещений холодный и подогретый воздух по двум параллельным каналам. Температура в каждом помещении регулируется комнатным терморегулятором, воздействующим на местные смесители (воздушные клапаны), которые изменяют соотношение расходов холодного и подогретого воздуха в подаваемой смеси.

Двухканальные системы используются очень редко из-за сложности регулирования, хотя и обладают некоторыми преимуществами, в частности, отсутствием в обслуживаемых помещениях теплообменников, трубопроводов теплохолодоносителя; возможностью совместной работы с системой отопления, что особенно важно для существующих зданий, системы отопления которых при устройстве двухканальных систем могут быть сохранены.

Недостатком таких систем являются повышенные затраты на тепловую изоляцию параллельных воздуховодов, подводимых к каждому обслуживаемому помещению.

Двухканальные системы так же как и одноканальные, могут быть прямоточными и рециркуляционными.

5.1.1. Центральные однозональные СКВ

Широкое распространение получили центральные системы кондиционирования воздуха (СКВ), обслуживающие одно большое или несколько небольших помещений. Эти системы оборудуются неавтономными кондиционерами, тепло- и хладоснабжение которых осуществляется от внешних источников.

Кондиционеры собираются из отдельных секций или блоков, где расположено основное оборудование для обработки и перемещения воздуха. Дополнительное оборудование СКВ – местные подогреватели, доводчики, смесители и др. – расположены вне кондиционеров.

Транспортировка воздуха в центральных СКВ осуществляется по стальным, пластмассовым и асбоцементным трубам или каналам, прокладываемым внутри помещений.

Центральные СКВ обладают следующими преимуществами эффективно поддерживают заданные температуру и относительную влажность воздуха в помещениях; оборудование, требующее систематического обслуживания и ремонта, сосредоточено в малом количестве мест или даже в одном месте; возможность организации эффективного шумо- и виброгашения. Область применения центральных СКВ – промышленные здания различного назначения и общественные здания, больших объемов.

К недостаткам центральных систем следует отнести: сложные монтажно-строительные работы по установке кондиционеров и прокладке коммуникаций (воздушные каналы, трубопроводы), вследствие чего в ряде случаев применение центральных систем в существующих зданиях исключается; менее гибкое регулирование параметров воздуха в отдельных помещениях, в системах с разветвленными воздуховодами.

Применение схемы центральных СКВ весьма разнообразно; выбор той или иной схемы зависит от назначения и режима использования кондиционируемых помещений, конструктивных особенностей здания, климатических условий местности и некоторых других факторов.

В проектной практике применяют обычно следующие центральные СКВ: одноканальные однозональные, обслуживающие одно или несколько помещений без разделения систем на зоны; одноканальные многозональные, обслуживающие несколько зон в одном помещении или несколько помещений с подачей воздуха по отдельному воздуховоду в каждую зону или помещение; двухканальные многозональные, обслуживающие несколько зон в одном помещении или несколько помещений с подачей воздуха по двум воздуховодам – с холодным и подогретым воздухом

– в каждую зону или помещение. Применяются также местные системы кондиционирования воздуха, состоящие из агрегатированных кондиционеров производительностью до 18 000 $м^3$/ч, обслуживающих одно или несколько помещений, причем в каждом из них устанавливается один или несколько кондиционеров, обеспечивающих местное поддержание требуемых параметров воздуха.

В отдельных случаях применяют комбинированные системы, работающие совместно с местным до увлажнением воздуха и другими устройствами.

В проектных решениях по центральным СКВ должны учитываться следующие рекомендации. В системах кондиционирования, предназначенных для круглогодичного и круглосуточного поддержания заданных параметров воздуха в помещениях, не имеющих системы отопления, следует устанавливать не менее двух кондиционеров производительностью по 50% общей производительности системы. В системах с рециркуляцией целесообразна схема подачи в помещение смеси переменных объемов наружного и рециркуляциоиного воздуха, зависящих от параметров наружного воздуха. В этом случае для рециркуляции следует применять самостоятельный вентилятор.

Для калориферов второго и местного подогревов, тепловая нагрузка которых не зависит от температуры наружного воздуха, можно применять теплоноситель постоянных параметров.

В центральных кондиционерах в результате процессов смешения, нагрева и охлаждения воздуха происходит значительное его расслоение по температуре и влагосодержанию. Наиболее равномерные параметры воздух имеет на выходе из вентилятора. Поэтому в кондиционерах, где влажность воздуха регулируется по методу «точки росы», рекомендуется калориферы второго подогрева устанавливать на стороне нагнетания приточных вентиляторов, что дает возможность монтировать датчики терморегуляторов *«точки росы»* на хорошо перемешанном воздухе после вентилятора.

Фильтры общей очистки воздуха следует размещать в тех частях кондиционера, через которые проходит весь обрабатыва-

емый воздух, и так, чтобы предохранить от пыли возможно большее число секций кондиционера.

В ряде случаев по экономическим соображениям камеры орошения могут быть заменены поверхностными орошаемыми и неорошаемыми воздухоохладителями.

Центральные однозональные СКВ следует применять для обслуживания помещения площадью не более 2500 м^2 или такой же части большего помещения. На рис. 43 изображена однозональная Схема СКВ. Воздуховоды, изображенные сплошной линией соответствуют работе установки только на наружном воздухе (прямоточная система), штриховой линией показан воздуховод с первой рециркуляцией, штрихпунктирной – воздуховод со второй рециркуляцией.

Прямоточные системы проектируют в тех случаях, когда рециркуляция воздуха недопустима по санитарно-гигиеническим соображениям. Количество воздуха, подаваемого в обслуживаемое помещение, постоянно. Рассмотрим работу установки в теплый период года (см. рис. 43). Наружный воздух, засасываемый вентилятором 8, поступает в кондиционер через воздухозаборное устройство 1, очищается в фильтре 3,охлаждается и осушается в оросительной камере 6 и затем нагнетается в помещение. При необходимости воздух может быть подогрет в калорифере второго подогревателя. Из помещения воздух вытяжным вентилятором удаляется в атмосферу. На вытяжном воздуховоде, если это требуется по акустическому расчету, устанавливается шумоглушитель 10.

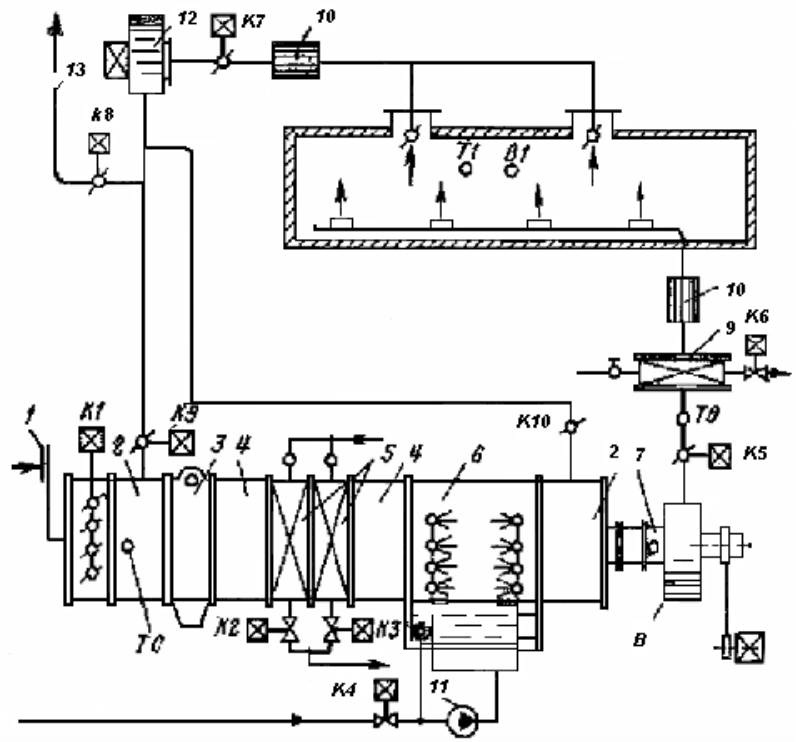


Рис. 43. Принципиальная схема однозональной СКВ, работающей на наружном воздухе (сплошные линии) или с рециркуляцией:
1 – воздухозаборное устройство; 2 – смесительная камера; 3 –фильтр; 4 – камера обслуживания; 5 – секции калориферов первого подогрева; 6 – оросительная камера; 7 – направляющий аппарат; 8 –приточный вентилятор; 9 – секции калориферов второго подогрева;10 – шумоглушители; 11 – насос; 12 – вытяжной вентилятор; 13 – воздуховод; К – клапан; Т – терморегулятор; В – влагорегулятор; первыйи второй рециркуляционные каналы – соответственно штриховая штрихпунктирная линии.

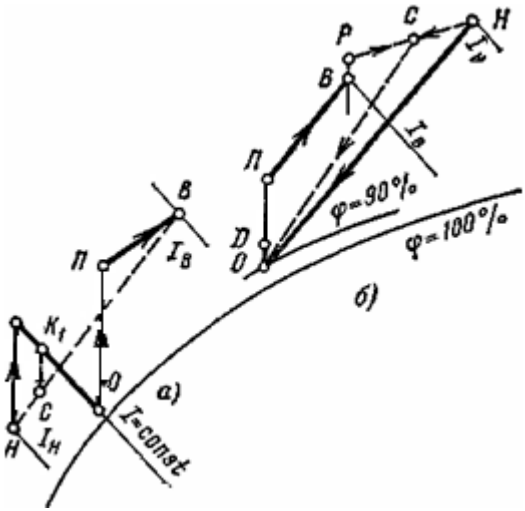


Рис. 44. Построение процессов на I–d диаграмме для однозональной СКВ при работе на наружном воздухе прямоточной схеме (сплошные линии) и спервой рециркуляцией (штриховые линии):
а – холодный период; б – теплый период

В холодный период года наружный воздух подогревается в калориферах первого подогрева 5, увлажняется (и охлаждается) в оросительной камере, работающей в это время на рециркуляционной воде, и затем догревается до нужной температуры в калориферах второго подогрева. На рис. 44 сплошными линиями показаны процессы обработки воздуха в кондиционере для прямоточной системы в холодный и теплый периоды года.

В теплый период года (рис. 44, *б*) наружный воздух с параметрами точки Н охлаждается и осушается в камере орошения до параметров точки 0. За счет работы вентилятора воздух несколько подогревается (на 0,5–1,5 ^{0}С) до параметров точки *D* и при необходимости догревается в калорифере второго подогревателя до параметров точки *П*. Отрезок *ПВ* характеризует изменение состояния воздуха за счет ассимиляции избыточной теплоты и влаги, выделяемых в помещении. В холодный период года (рис. 44 *а*) наружный воздух с параметрами точки *Н* нагревается в калорифере первого подогрева, затем увлажняется в

оросительной камере и догревается в калорифере второго подогрева до параметров точки *П* (приточный воздух). Таким образом, весь процесс обработки воздуха в кондиционере изобразится ломаной линией НКОП. Отрезок *ПВ* здесь также показывает изменение состояния воздуха в помещении. Ниже дано описание регулирования параметров воздушной среды в помещении, обслуживаемом прямоточной СКВ.

Системы кондиционирования воздуха, работающие с рециркуляцией (если она допускается), обычно проектируют с подачей переменных количеств рециркулируемого и наружного воздуха для сокращения расхода теплоты и холода соответственно в холодный и теплый периоды года. Минимальное (требуемое по расчету) количество наружного воздуха должно быть обеспечено при любом режиме работы кондиционера.

На рис. 44 с дополнением штриховыми линиями показана принципиальная схема двухвентиляторной СКВ, работающей с рециркуляцией воздуха.

В отличие от прямоточной системы СКВ наружный воздух, поступающий в кондиционер, смешивается с рециркуляционным воздухом. Далее смешанный воздух проходит такую же тепловлажностную обработку, как и в прямоточной системе.

Процесс обработки воздуха в кондиционере для системы с рециркуляцией показан штриховыми линиями. В режиме для теплого периода года воздух, подаваемый по рециркуляционному воздуховоду, нагревается в нем и вентиляторе *12* от параметров точки *В* до параметров точки *Р,* а затем смешивается с наружным воздухом (параметры точки *Н*). Полученная смесь воздуха с параметрами точки *С* обрабатывается в оросительной камере и в калорифере второго подогрева так же, как и в системах, работающих без рециркуляции.

Процесс обработки воздуха, изображенный на I–d-диаграмме при расчетном режиме для холодного периода года, протекает в следующей последовательности (рис. 44*а*, штриховая линия). Наружный воздух (точка *Н*) смешивается с рециркуляционным*(*точка *В).* Полученная смесь (точка *С*) нагревается в калорифере первого подогрева до температуры, соответствующей точке *К,* и затем увлажняется в оросительной камере до со-

стояния, определяемого точкой *0*. Увлажненный воздух нагревается в калорифере второго подогрева до параметров точки *П* и подается в обслуживаемое помещение.

При наличии второй рециркуляции (линия показана штрихпунктиром) регулирование количества рециркуляционного воздуха, подаваемого за оросительной камерой, производится ручным клапаном *К10,* переключаемым посезонно.

5.1.2. Центральные многозональные СКВ

Применение многозональных СКВ целесообразно для обслуживания больших помещений с неравномерно расположенными источниками тепло- и влаговыделении, а также группы небольших помещений. Системы могут работать на наружном воздухе и с рециркуляцией в зависимости от санитарно-гигиенических соображений. Многозональные системы более экономичны, чем отдельные системы для каждой зоны или каждого помещения. Вместе с тем многозональные системы не могут обеспечить такую же высокую точность поддержания заданных параметров воздуха в помещении (температура или относительная влажность), как и при отдельных СКВ. Основное отличие многозональных одноканальных СКВ от однозональных состоит в том, что вместо одного центрального воздухоподогревателя второго подогрева в многозональных СКВ для каждого отдельного помещения или для каждой зоны большого помещения устанавливается индивидуальный (зональный) воздухоподогреватель.

Режим работы зональных подогревателей задается терморегуляторами, установленными в обслуживаемых помещениях. Терморегуляторы могут быть заменены влагорегуляторами, если в помещениях требуется поддерживать на заданном уровне относительную влажность.

Принципиальная схема центральной многозональной одноканальной СКВ и построение процесса обработки воздуха на I–d-диаграмме приведены на рис. 45. Работа СКВ на наружном воздухе в теплый период года протекает следующим образом (см. рис. 45). Наружный воздух (точка *Н* на I–d-диаграмме) по-

ступает в кондиционер, очищается в фильтре и охлаждается в оросительной камере до параметров, характеризуемых точкой *0.* В вентиляторе и воздуховодах происходит его подогрев до параметров точки *D,* затем он поступает к зональным подогревателям *9, 14, 15,* где при необходимости догревается до требуемых параметров (точки *П1*, *П2*, *П3*), чтобы обеспечить заданный микроклимат в различных помещениях (точки *В1*, *В2*, *В3*).

В холодный период года (рис. а*)* обработка наружного воздуха (точка *Н*) в кондиционере осуществляется так же, как и при однозональной прямоточной СКВ (процесс *НКО* в I–d-диаграмме). По выходе из кондиционера воздух подается к местным подогревателям *9, 14, 15,* в которых нагревается до температуры, требуемой для каждого помещения (точки *П1*, *П2*, *П3*). Подогрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах в холодный период года не учитывается. Терморегуляторы Т1, Т2, Т3 установленные в каждом помещении, воздействуя на клапаны *К6, К11, К12,* регулирующие подачу теплоносителя в соответствующие зональные подогреватели, поддерживают требуемые параметры воздуха в помещениях (точки *В1*, *В2*, *В3*). Центральные многозональные СКВ, работающие с рециркуляцией воздуха (штриховая линия на рис. 45), применяются в тех же случаях, что и прямоточные многозональные СКВ, если по санитарно-гигиеническим требованиям допустимо использование рециркуляционного воздуха. Обычно в СКВ, работающих с рециркуляцией, осуществляют переменное соотношение между количествами наружного и рециркуляционного воздуха, подаваемого в помещение.

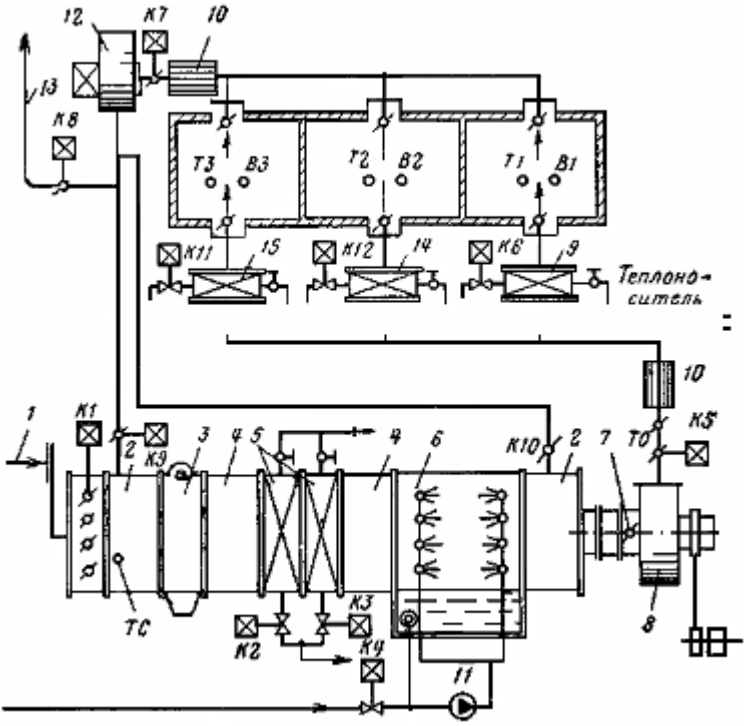


Рис. 45. Принципиальная схема многозональной одноканальной СКВ, работающей на наружном воздухе (сплошные линии) или с рециркуляцией:

1 – воздухозаборное устройство; 2 – смесительная камера; 3 –фильтр; 4 – секция обслуживания; 5 – секция калориферов первого-подогрева; 6 – оросительная камера; 7 – направляющий аппарат; 8 –приточный вентилятор; 9, 14, 15 – зональные подогреватели; 10 – шумоглушитель; 11 – насос; 12 – вытяжной вентилятор; 13 – воздуховод; первый и второй рециркуляционные каналы (соответственно штриховая и штрихпунктирная линии)

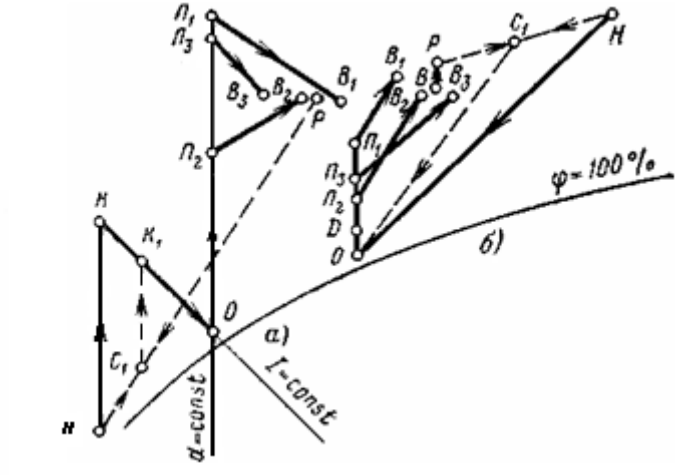


Рис. 46. Построение процессов в I-d диаграмме для многозональной одноканальной СКВ при работе на наружном воздухе(сплошные линии) и с первой рециркуляцией(штриховые линии):
а – холодный период; б – теплый период

Обработка воздуха в кондиционере (рис. 46, *а*) осуществляется так же, как и в однозональной СКВ с первой рециркуляцией. Отличается лишь схема регулирования температуры воздуха, подаваемого в обслуживаемые помещения: она идентична схеме для прямоточной многозональной СКВ, так как в рассматриваемой СКВ также вместо центрального воздухоподогревателя второго подогрева установлены зональные. СКВ с двумя рециркуляциями может быть получена, если ее дополнить вторым каналом для подачи части воздуха за оросительную камеру (штрихпунктирная линия на рис. 46) и регулирующим клапаном *К10,* выполненным, как правило, с ручным управлением.

Центральные многозональные двухканальные СКВ имеют ту же область применения, что и многозональные одноканальные СКВ с местными подогревателями. Воздух, прошедший тепловлажностную обработку в кондиционере, поступает к обслуживаемым помещениям по двум воздуховодам. По одному подается холодный воздух, вышедший непосредственно из кон-

диционера, по другому– теплый, подогретый в калориферах второго подогрева *9*.

Температура воздуха в каждом помещении регулируется комнатными терморегуляторами *Т1, Т2, Т3,* управляющими смесительными клапанами *К9, К10, К11,* которые изменяют соотношение количества теплого и холодного воздуха в подаваемой смеси.

Двухканальные СКВ бывают прямоточные и с использованием рециркуляции. На рис. изображена прямоточная СКВ. В расчетных условиях теплого периода года наружный воздух с параметрами, соответствующими точке *Н* на I–d-диаграмме (рис. 46,*б*), засасывается в кондиционер, проходит через воздушный фильтр и затем охлаждается и осушается в оросительной камере до параметров точки 0. После вентилятора с учетом подогрева в вентиляторе и воздуховодах до параметров точки *D* часть воздуха поступает в канал холодного воздуха, другая часть – в калорифер второго подогрева 9, установленный в канале теплого воздуха, где он нагревается до параметров точки *П*. В смесительных клапанах *К9, К, 10, К11* холодный и подогретый воздух смешиваются до параметров, соответствующих точкам *П1 П2, П3,* с которыми он поступает в помещения, где, ассимилируя тепло и влаговыделения, приобретает параметры, соответствующие точкам *В1, В2, В3*.

При расчетных условиях холодного периода года наружный воздух с параметрами точки *Н* (рис. 46,*а*) подогревается в калорифере первого подогрева до параметров точки *К,* увлажняется в оросительной камере и приобретает параметры точки 0. Затем часть воздуха подогревается в калорифере второго подогрева 9 (точка *П*) и поступает в канал теплого воздуха, а остальная часть – в канал холодного воздуха. Приготовленный в смесительных клапанах воздух с параметрами, соответствующими точкам *П1 П2, П3*, поступает в помещения, где приобретает заданные параметры (точки *В1, В2, В3* на I–d-диаграмме).

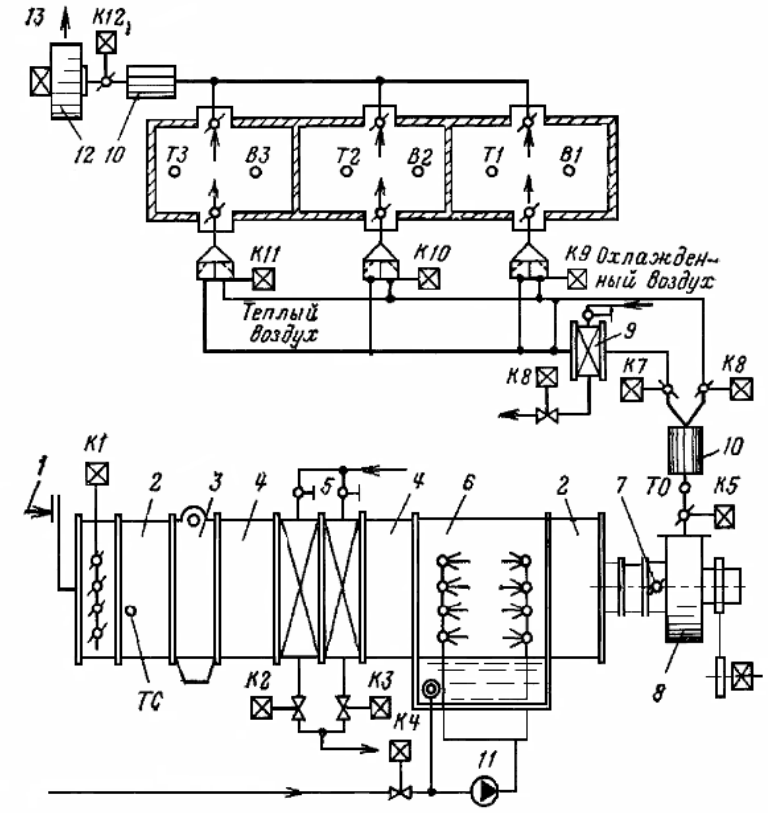


Рис. 47. Принципиальная схема прямоточной многозональной двухканальной СКВ:
1 – воздухозаборная решетка; 2, 4 – камеры обслуживания; 3 –фильтр; 5 – секции калориферов первого подогрева; 6 – ороситель-наякамера; 7 – направляющий аппарат; 8 – приточный вентилятор; 9 –секции калориферов второго подогрева; 10 – шумоглушитель; 11 –насос; 12 – вытяжной вентилятор; 13 – воздуховод

Двухканальная СКВ с рециркуляцией воздуха работает по аналогичной схеме. Преимущества двухканальных СКВ по сравнению с одноканальными следующие: отсутствие вблизи помещений теплообменников, трубопроводов; в переходное время года возможно максимальное использование холода

наружного воздуха; хорошее сочетание с работой систем отопления (это особенно важно при оборудовании СКВ существующих зданий).

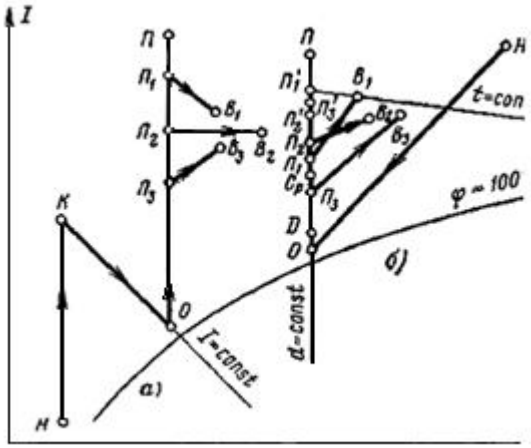


Рис. 48. Построение процессов на I-d диаграмме для прямоточной многозональной двухканальной СКВ:
а – холодный период; б – теплый период.

К недостаткам двухканальных СКВ относятся повышенные капиталовложения на устройство двух параллельных воздуховодов и их изоляцию, затруднительность прокладки в зданиях, как в существующих, так и во вновь проектируемых.

5.1.3. Центральные водовоздушные СКВ

В системах кондиционирования воздуха большой производительности даже при переходе к высоким давлениям и скоростям воздуха в воздуховодах их сечение и количество остаются значительными. Поэтому для кондиционирования воздуха помещений в многоэтажных и многокомнатных зданиях применяются центральные водовоздушные СКВ с кондиционерами-доводчиками вентиляторного или эжекционного типа, устанавливаемыми в каждом помещении.

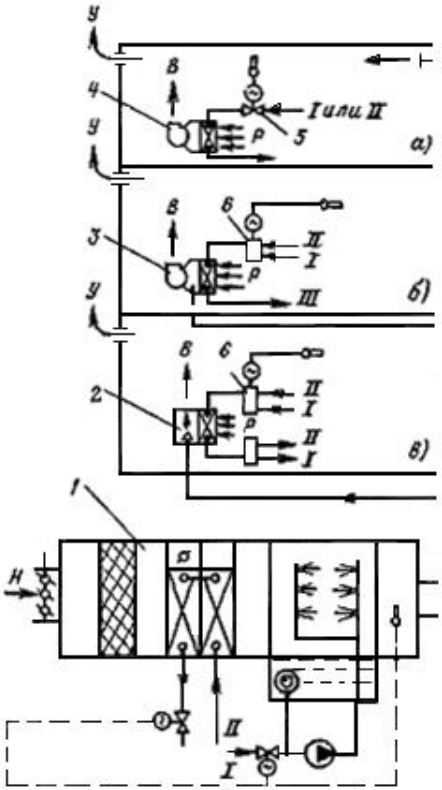


Рис. 49. Принципиальная схема водовоздушной СКВ:
а – с вентиляторным кондиционером-доводчиком, работающим на рециркуляционном воздухе и присоединенным по двухтрубной схеме; б – то же, работающим на смеси первичного и рециркуляционного воздуха и присоединенным по трехтрубной схеме; в – с эжекционным кондиционером-доводчиком, присоединенным по четырехтрубной схеме; 1 – центральный кондиционер наружного воздуха; 2 –эжекционный кондиционер-доводчик; 3 и 4 – вентиляторные кондиционеры-доводчики; 5 – проходной клапан; 6 – смесительный клапан; I – теплопровод; II – холодопровод; III – общий обратный трубопровод; В – воздух, подаваемый доводчиком; Н – наружный воздух; Р – рециркуляционный воздух; У – воздух, удаляемый из помещения

В кондиционируемые помещения для обработки рециркуляционного воздуха подается тепло- и хладоноситель. Снабжение кондиционеров-доводчиков горячей и холодной водой осуществляется по двух-, трех- и четырехтрубной схемам.

Двухтрубная схема может работать с подачей в теплообменники группы доводчиков или теплоносителя, или хладоносителя. Трех- и четырехтрубные схемы позволяют подавать тепло- или хладоноситель в любой доводчик. Недостатком трехтрубной схемы является смешивание тепло- и хладоносителя (с различными температурами) в общем обратном трубопроводе. Вентиляторные кондиционеры-доводчики применяются в СКВ низкого давления и не получили широкого распространения из-за высокого уровня шума, создаваемого работающим вентилятором доводчика.

В проектируемых водовоздушных СКВ среднего давления рекомендуются к применению эжекционные кондиционеры-доводчики (ЭКД) типов КПЭ–У 0,8А и КНЭ–У 1,2.

Работа эжекционного доводчика протекает следующим образом. Обработанный в центральном кондиционере воздух подается в звукоизолированную часть эжекционной коробки *1* и далее поступает через эжектирующие сопла *2* в смесительную камеру *5*. Туда же из помещения через теплообменник *6* подсасывается воздух, где он нагревается или охлаждается в зависимости от режима работы системы кондиционирования (теплый или холодный периоды года). Воздушная смесь поступает из камеры *5* в помещение через воздуховыпускную решетку *3*.

Регулирование параметров воздуха в помещении осуществляется путем изменения соотношения рециркуляционного и приточного воздуха в результате открытия или закрытия жалюзийной решетки *4*. Температура воздуха на притоке в смесительную камеру регулируется изменением количества воды, поступающей в теплообменник *6*.

Если последний работает как воздухоохладитель, на его поверхности может выпадать из воздуха конденсат. Для сбора и удаления конденсата предусмотрен поддон *7*.

5.1.4. Местные системы кондиционирования воздуха

Местные СКВ в большинстве случаев представляют собой заводские автономные или неавтономные местные кондиционеры. Автономные кондиционеры имеют встроенные компрессионные холодильные машины и теплообменники непосредственного испарения. Для работы неавтономных кондиционеров требуется подводка тепло и хладоносителя.

Охлаждение конденсатора холодильной машины может быть водяное и воздушное. При водяном охлаждении в кондиционер необходимо подводить охлаждающую воду.

Автономные кондиционеры холодопроизводительностью до 3 кВт имеют конденсаторы воздушного охлаждения, а конденсаторы холодопроизводительностью 8,5–50 кВт, как правило, конденсаторы водяного охлаждения. Обычно автономные кондиционеры предназначаются для работы в теплый период, т. е. для охлаждения и осушения воздуха, однако некоторые конструкции имеют электрокалорифер для подогрева воздуха в холодный период.

Местные кондиционеры по конструкции делятся на шкафные, оконные и подоконные.

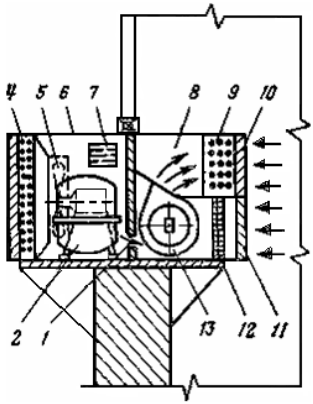


Рис. 50. Схема автономного кондиционера с воздушным охлаждением конденсатора:
1 – отверстие для сообщения наружного воздуха с внутренним; 2 – компрессор; 3, 7 – жалюзи; 4 – конденсатор; 5, 13 – вентилятор; 6 –наружный отсек; 8 – внутренний отсек; 9 – испаритель; 10, 11 –декоративная решетка; 12 – воздушный фильтр

Автономные кондиционеры с воздушным охлаждением конденсатора имеют обычно малую холодопроизводительность и устанавливаются в оконном проеме или в стене помещения. Кожух кондиционера состоит из двух отсеков, разделенных

внутренней перегородкой с теплозвуковой изоляцией. В наружном отсеке, расположенном за окном, размещены герметический компрессор, работающий на фреоне, воздушный конденсатор с обдувающим его осевым вентилятором и электродвигатель. Во внутреннем отсеке расположены испаритель холодильной машины, воздушный фильтр и центробежный вентилятор, нагнетающий воздух в помещение. Наружный отсек сообщается с атмосферным воздухом, а внутренний – с воздухом кондиционируемого помещения.

Работа кондиционера протекает следующим образом. Наружный воздух, засасываемый вентилятором, через жалюзи подается на охлаждение конденсатора и затем через жалюзи выбрасывается наружу. Поступающий воздух из помещений очищается в фильтре и вентилятором подается в испаритель холодильной машины. Охлажденный в испарителе воздух поступает в помещение.

Следовательно, кондиционер работает только в режиме охлаждения.

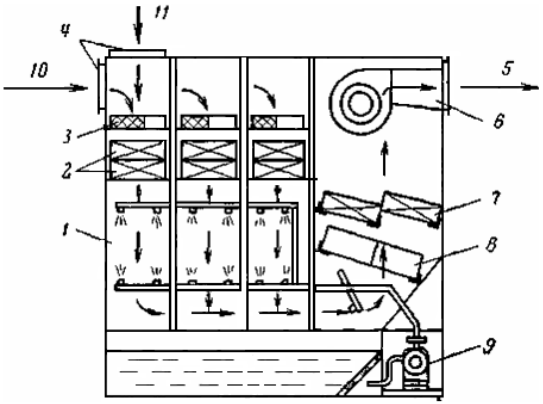


Рис. 51. Схема неавтономного кондиционера типа КНУ–7,5.
1 – камера орошения; 2 – калорифер первого подогрева; 3 – рамочный фильтр; 4 – воздушный клапан; 5 – подача воздуха в помещение; 6 – вентилятор; 7 – калорифер второго подогрева; 8 – каплеуловитель; 9 – насос; 10 – наружный воздух;11 – рециркуляционный воздух

Неавтономный кондиционер типа КНУ–7,5 предназначен для круглогодичного комфортного и технологического кондиционирования воздуха. Снабжение его тепло- и хладоносителем осуществляется от внешних центральных источников. Кондиционер КНУ–7,5 работает как на одном наружном воздухе, так и при рециркуляции воздуха из помещения. На сети наружного воздуха устанавливается утепленный воздушный клапан, который включается и выключается автоматически. Обработка воздуха производится в следующей последовательности: смешивается наружный и рециркуляционный воздух и очищается в рамочных фильтрах от пыли. Затем воздух нагревается в калорифере первого подогрева, проходит термовлажностную обработку в камере орошения и догревается в калорифере второго подогрева до требуемых параметров. В кондиционере применяется пневматическая схема автоматического регулирования.

Автоматизация местных систем обычно сводится к двухпозиционному включению и отключению кондиционера или его теплообменников.

К достоинствам местных СКВ следует отнести: возможность быстрой установки и ввода в эксплуатацию в любых помещениях при небольшом объеме строительно-монтажных работ, возможность индивидуального регулирования температуры воздуха в помещении при меняющейся тепловой нагрузке. Недостатками местных систем являются повышенный шум в помещении, создаваемый вентиляторами и компрессорами холодильных машин, затруднения при обслуживании большого числа агрегатов, расположенных в различных помещениях, а также сравнительно короткий срок службы местных кондиционеров (7–10 лет), примерно в 2–3 раза меньший, чем для центральных СКВ.

5.2. Методы автоматического регулирования СКВ

В процессе эксплуатации установок кондиционирования воздуха имеют место изменения параметров наружного воздуха (температуры и относительной влажности). Тепло- и влаговыделения в помещениях также обычно колеблются. Поэтому уста-

новки должны быть оснащены устройством автоматического регулирования параметров воздуха внутри помещения.

Автоматика улучшает работу СКВ, повышает производительность труда обслуживающего персонала, сокращает эксплуатационные расходы, увеличивает срок службы оборудования, обеспечивает защиту установок кондиционирования воздуха от аварий осуществляет непрерывный контроль за их работой. Автоматическое регулирование поддерживает или устанавливает значение того или иного параметра какого-либо объекта без участия человека.

В системах кондиционирования воздуха регулируемыми величинами являются температура, влажность, давление и расход воздуха.

Выбор технологической схемы автоматического регулирования систем кондиционирования воздуха по виду используемой энергии (электрическая, пневматическая, гидравлическая) и по характеру действия (позиционное, пропорциональное, изодромное) определяется назначением систем, требуемой точностью поддержания параметров и экономической целесообразностью.

Приборы автоматического регулирования в кондиционирующих установках помимо поддержания параметров воздуха для комфортных условии и технологических процессов предназначаются также и для экономичности работы установки.

Установки кондиционирования воздуха снабжаются приборами автоматического регулирования для поддержания параметров состояния воздуха по времени. Регуляторы состоят из двух основных элементов - датчика, воспринимающего изменения регулируемого параметра воздуха и преобразующего их в импульсы, и исполнительного механизма, действующего в соответствии с полученным импульсом на регулируемый агент.

Импульсы от датчика передаются к исполнительным механизмам непосредственно или через промежуточный агент (сжатый воздух, жидкость или электрический ток). В технике кондиционирования воздуха качестве датчиков применяются терморегуляторы и влагорегуляторы. Исполнительные механизмы воздействуют на жалюзийные смесительные заслонки, клапаны,

регулирующие подачу теплоносителя, трехходовой клапан для смешения воды и др.

Регулирование работы центральных кондиционеров обычно осуществляется по методу *«точки росы»*, т. е. путем поддержания заданной температуры воздуха за оросительной камерой. Этот метод достаточно простой, однако несовершенный по энергетическим показателям из-за необходимости расхода теплоты на калориферы второго подогрева даже в тех случаях, когда энтальпия наружного воздуха выше энтальпии приточного.

Применение же второй рециркуляции, когда часть рециркулируемого воздуха подают в кондиционер после оросительной камеры, не всегда возможно или по санитарно-техническим условиям, или изния воздуха в помещении.

Регулирование кондиционеров по оптимальным режимам, разработанное А. Я. Креслинем, позволяет во многих случаях избежать включения в работу калориферов второго подогрева и рационально использовать теплоту рециркуляционного воздуха, что дает годовую экономию тепло- и хладоносителей в сравнении с регулированием по методу «точки росы».

В кондиционере, регулируемом по оптимальному режиму, часть воздуха, минуя оросительную камеру, проходит по обводному воздуховоду с регулирующим клапаном. Кондиционер имеет пять исполнительных механизмов, приводимых в действие от терморегулятора и влагорегулятора с датчиками, расположенными в кондиционируемом помещении.

Сложная система автоматического регулирования повышает ее стоимость, вследствие чего применять метод оптимальных режимов экономически целесообразно в крупных установках кондиционирования воздуха.

В последнее время получают распространение количественный и качественно-количественный методы регулирования. Первый метод регулирования предполагает снижение расхода воздуха. При регулировании по второму методу снижение расхода воздуха происходит до определенного минимума, после чего регулирование осуществляется качественным методом, т.е. путем изменения параметров приточного воздуха. Этот метод регулирования применяют, когда снижение расхода воздуха ли-

митируется санитарными нормами или при условии компенсации местных отсосов в помещении.

По проведенным исследованиям количественный и качественно-количественный методы регулирования дают экономию в расходе теплоты, холода и электроэнергии по сравнению с качественным методом регулирования. Однако в настоящее время эти методы еще не получили широкого распространения из-за отсутствия надежных методов расчета и малой аэродинамической устойчивости воздухоразводящей системы.

В качестве иллюстрации рассмотрим схему автоматического регулирования по методу «точки росы» однозональной прямоточной СКВ.

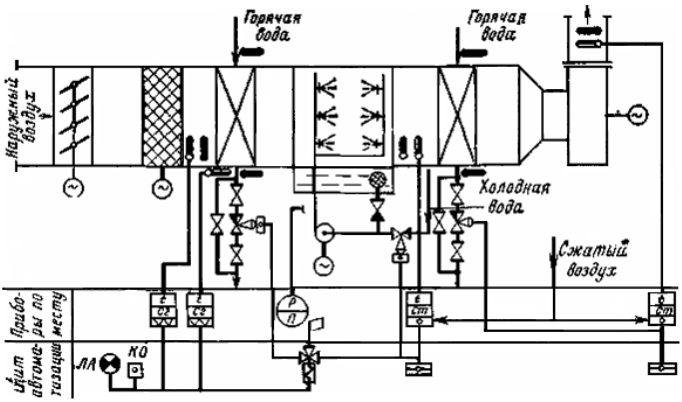


Рис. 52. Схема контроля и автоматического регулирования однозональной СКВ с пневмоавтоматикой

Регулирование температур «точки росы» и приточного воздуха осуществляется регуляторами температуры дилатометрического типа. Регулятор температуры для поддержания заданной температуры «точки росы» и холодный период с помощью клапана меняет подачу теплоносителя в калориферы второго подогрева, в теплый период воздействует на клапан, установленный по линии холодной воды. Регулятор температуры приточного воздуха управляет клапаном, обеспечивающим нужный расход теплоносителя через калориферы второго подогрева.

Для защиты от замораживания калорифера первого подогрева применены дилатометрические датчики с электрическим сигнальным устройством, контролирующим температуры наружного воздуха и теплоносителя (воды), выходящего из калорифера. Контроль температуры воздуха по кондиционеру осуществляется ртутными стеклянными термометрами, контроль температуры и влажности в помещении - психрометром. Регулятор температуры приточного воздуха управляет клапаном.

5.3. Кондиционеры сплит-системы

Кондиционирование воздуха, согласно СНиП по степени обеспечения метеорологических условий подразделяются на три класса [25]:

Первый класс – обеспечивает требуемые для технологического процесса параметры в соответствии с нормативными документами.

Второй класс – обеспечивает оптимальные санитарно-гигиенические нормы или требуемые технологические нормы.

Третий класс – обеспечивает допустимые нормы, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в теплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха.

По давлению, создаваемому вентиляторами центральных кондиционеров, СКВ подразделяются на системы низкого давления (до 100 кг/м^2), среднего давления (от 100 до 300 кг/м^2) и высокого давления (выше 300 кг/м^2).

Типы кондиционеров:

1. Сплит-системы (настенные, напольно-потолочные, колонного типа, кассетного типа, многозоональные с изменяемым расходом хладагента);
2. Напольные кондиционеры и кондиционеры сплит-системы с приточной вентиляцией;
3. Системы с чилерами и фанкойлами;
4. Крышные кондиционеры;
5. Шкафные кондиционеры;
6. Прецизионные кондиционеры;
7. Центральные кондиционер

Для кондиционирования воздуха в жилых и общественных (офисных) помещениях наибольшее распространение получили кондиционеры сплит-систем. Кондиционеры сплит-систем состоят из внешнего блока (компрессорно-конденсаторного агрегата) и внутреннего блока (испарительного). Во внешнем блоке находятся компрессор, конденсатор и вентилятор. Внешний блок может быть установлен на стене здания, на крыше или чердаке, в подсобном помещении или на балконе, т. е. в таком месте, где горячий конденсатор может продуваться атмосферным воздухом более низкой температуры. Внутренний блок устанавливается непосредственно в кондиционируемом помещении и предназначен для охлаждения или нагревания воздуха, фильтрации его и создания необходимой подвижности воздуха в помещении.

Блоки соединены между собой двумя тонкими медными трубками в теплоизоляции, которые проводятся, как правило, в подвесных потолках, за панелями или закрываются декоративными пластиковыми коробами. Конструктивное и дизайнерское исполнение внутренних блоков весьма разнообразно, что позволяет решать практически любые задачи по кондиционированию помещений от 15 до 140 м^2, учитывая при этом интерьер помещений и индивидуальные требования потребителя [26].

Внутренние блоки сплит-систем эффективно поддерживают заданную температуру, обеспечивают равномерное распределение воздуха в помещении и работают практически бесшумно. Основным преимуществом кондиционеров сплит-систем является относительная простота конструкции, позволяющая получить достаточно низкую стоимость кондиционера при быстрой и легкой его установке. Недостатком таких кондиционеров можно считать невозможность подачи в помещение свежего воздуха. Только модели большой мощности и настенно-потолочного типа позволяют организовывать подмес небольшого количества свежего воздуха (до 10 %). Типология кондиционеров сплит-систем представлена на рис. 53.



Рис. 53. Типология кондиционеров сплит-систем

Преимущества: простота конструкции, низкая себестоимость.

Недостатки: невозможность подачи свежего воздуха в помещении.

Наибольшее распространение получили настенные кондиционеры, в которых к одному наружному блоку подключается один внутренний блок.

При кондиционировании нескольких соседних комнат могут использоваться модели, в которых к одному наружному блоку подключены два внутренних блока и даже три-четыре блока, так называемые *мультисплит-системы* (рис.54).

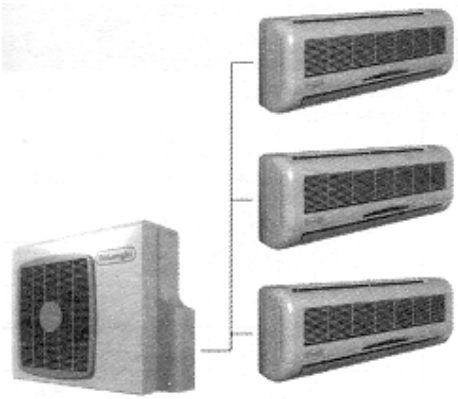


Рис.54. Настенный кондиционер с тремя внутренними блоками

Управление работой настенного кондиционера производится с пульта дистанционного управления (рис.55).



Рис. 55. Схема пульта дистанционного управления кондиционера серии СР

Исполнение и возможности пультов управления отличаются друг от друга, но, как правило, все они позволяют:

– задать режим работы кондиционера: обогрев, охлаждение, осушку, вентиляцию, а также ночной режим;

– определить фактическую температуру в помещении и задать кондиционеру требуемую температуру, которую он должен автоматически поддерживать;

– выбрать режим работы вентилятора;

– настроить таймер, который включит или выключит кондиционер в заданное время, что позволяет, например, к приходу сотрудников создать необходимые условия и автоматически выключить кондиционер в конце рабочего дня;

– автоматически регулировать положение направляющих шторок и изменять таким образом направление воздушного потока.

Мощность настенных кондиционеров ограничена, так как сильная струя холодного воздуха, характерная для кондиционеров большой мощности, может вызвать неприятные ощущения у потребителя.

Поэтому в помещениях, где необходима установка более мощного кондиционера, или в вытянутых помещениях устанавливаются кондиционеры напольно-потолочного, типа, позволяющие направить сильную струю вдоль стены или потолка и таким образом обеспечить равномерное распределение температуры в помещении (рис.56).

Внутренний блок напольно-потолочного кондиционера имеет несколько иной внешний вид и устанавливается на стене

или потолке. Пульт управления может быть или дистанционным, или встраиваться в конструкцию внутреннего блока.

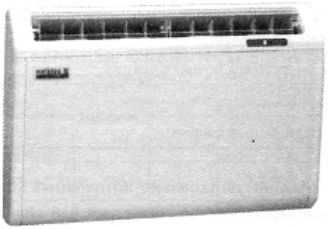
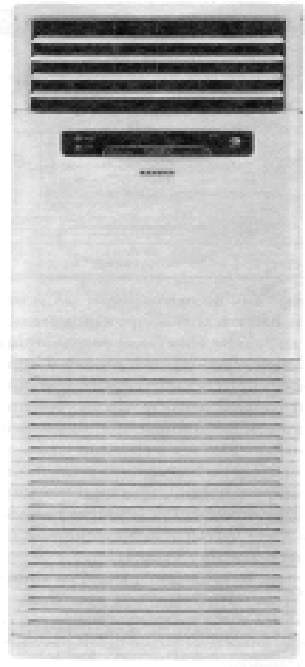


Рис. 56. Напольно-потолочный кондиционер

Мощность напольно-потолочных кондиционеров обычно составляет 4–9 кВт по холоду и теплу.



В больших помещениях-залах, ресторанах, холлах, особенно там, где нет подвесных потолков, часто используются кондиционеры колонного типа. Такие кондиционеры имеют холодопроизводительность и создают сильный воздушный поток, который может первоначально подаваться в потолочное пространство, а затем равномерно распространяться на весь объем помещения (рис. 57).

Как правило, такие кондиционеры имеют распределительные жалюзи с автоматическим регулированием направления воздушного потока.

Рис. 57. Кондиционер колонного типа серии APH фирмы SAMSUNG

Еще один тип кондиционеров сплит-систем – кондиционеры кассетного типа, специально разработанные для больших

помещений с подвесным потолком – операционных залов банков, офисов, супермаркетов. Они очень хорошо вписываются в интерьер помещения и во многих случаях их использование – единственное решение проблемы кондиционирования помещения (рис. 58).

Внутренний блок монтируется в пространстве за подвесным потолком, при этом видна только декоративная решетка с размерами, как правило, соответствующими стандартному размеру 600 х 600 мм потолочной панели.

Воздух из помещения забирается через центральную решетку внутреннего блока, проходит в нем все виды обработки и далее распределяется по четырем направлениям через регулируемые жалюзи, что обеспечивает равномерный воздухообмен в помещении [26].

В кассетных кондиционерах предусмотрена возможность подсоединения воздуховодов как для подачи небольшого количества свежего воздуха(до 10%), так и для распределения подготовленного воздуха через дополнительные вентиляционные решетки. Мощность кассетных кондиционеров обычно составляет 6–13 кВт по холоду и теплу.

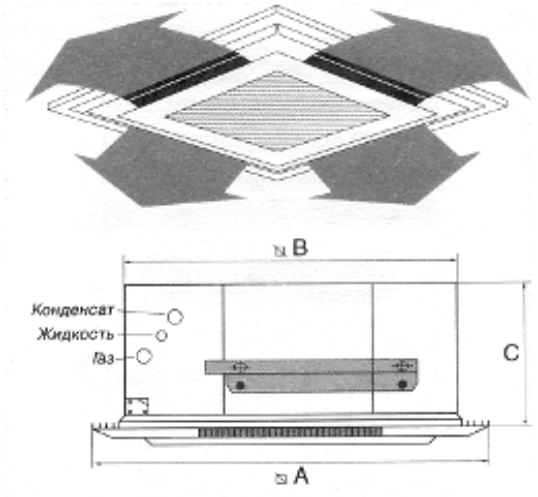


Рис.58. Кассетный кондиционер

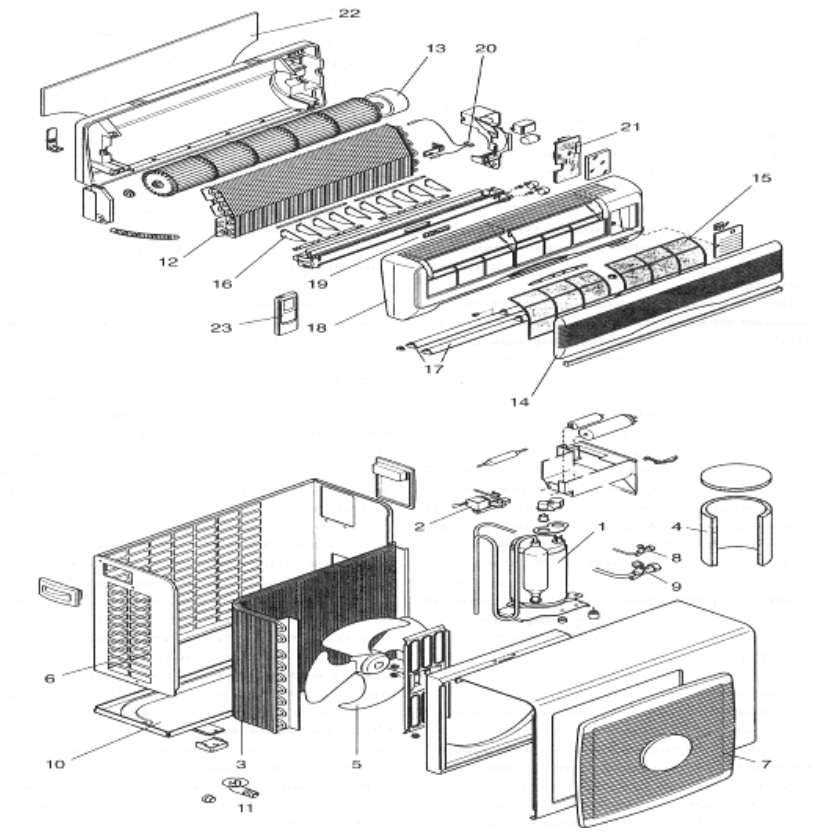


Рис.59. Состав внешнего и внутреннего блоков кондиционера серии СР:
1 – компрессор; 2 – четырёхходовой клапан; 3 – теплообменник-конденсатор;4 – звукоизоляция; 5 – вентилятор; 6 – кожух;
7 – выходная решетка; 8 – двухходовой клапан; 9 – трехходовой клапан;
10 – поддон; 11 – сливной патрубок; 12 – теплообменник-испаритель;
13 – вентилятор тангенциального типа; 14 – решетка;
15 – входной фильтр; 16 – направляющие жалюзи; 17 –створки;
18 – лицевая панель; 19 – светодиоды;20 – датчики температуры;
21 – плата управления; 22 – монтажная плата; 23 – пульт

Устройство кондиционеров СПЛИТ-Системы (рис. 60) Компрессор – в кондиционерах до 3,5 кВт применяется компрессор типа SCROLL, обеспечивающий бесшумность работы и

пониженный пусковой ток. На моделях мощностью 5 кВт применяются поршневые компрессоры.

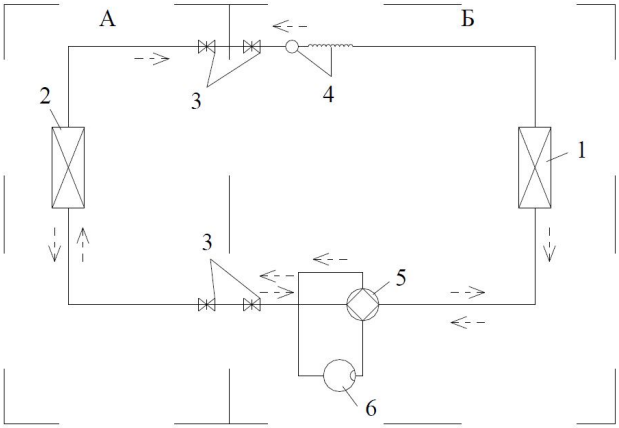


Рис. 60. Схема холодильного контура кондиционера серии CP фирмы DELONGHI

А – внутренний блок
В – наружный блок
1 – теплообменник-конденсатор
2. – теплообменник-испаритель
3 – двухходовой клапан
4 – регулятор потока
5 – ресивер
6 – компрессор

С подогревом картера.

Назначение компрессора: компрессор всасывает парообразный хладоагент, поступающий от испарителя при низком давлении и низкой температуре, производит его сжатие, повышая давление и температуру и направляет его затем в конденсатор.

Параметры на выходе: $P_u \approx 15 \div 25$ атм $t \approx 70 \div 90\ ^0$C

Применяются компрессоры двух видов:

а) поршневые;

б) ротационные, винтовые, спиральные.

Принципиальное отличие ротационных, спиральных и винтовых компрессоров от поршневых заключается в том, что всасывание и сжатие хладоагента осуществляется не за счет возвратно-поступательного движения поршней в цилиндре, а за счет вращательного движения рабочих органов.

Регулатор потока – представляет собой капиллярную медную трубку диаметром 0,6÷2,25 мм. Служит для дозированной подачи жидкого хладоагента из области высокого давления (от компрессора) в область низкого давления (к испарителю). В более мощных установках применяются терморегулирующие вентили.

Теплообменники – выполняются в виде многорядной медной трубки с пластинчатым оребрением. Служат для охлаждения (подогрева) рабочей среды.

В зависимости от рабочей среды применяются:

а) пластинчатые испарители для охлаждения воды;

б) кожухотрубные испарители для охлаждения воздуха;

в) испарители для охлаждения воздуха.

Вентиляторы – во внешнем блоке устанавливаются осевые вентиляторы с регулируемой скоростью вращения. Во внутреннем блоке применяются вентиляторы тангенциального типа. Они хорошо вписываются в конструкцию блока и позволяют получить широкую струю выходящего воздуха с малым уровнем шума (беличье колесо).

Дренажная система – при работе кондиционера может происходить конденсация влаги из воздуха, проходящего через испаритель. Для сбора конденсата имеется специальный поддон, откуда влага самотеком выводится на улицу или отводится в канализацию (дополнительную емкость).

Система управления.

Различные модели кондиционеров обязательно имеют основные режимы:

а) охлаждение;

б) обогрев;

в) осушение;

д) вентиляция.

Дополнительные режимы:

а) full (auto);

б) горячий запуск;

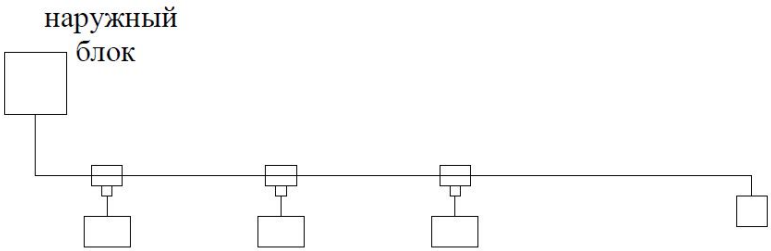
в) самодиагностика.

Многозапальные системы с изменяемым расходом хладоагента.

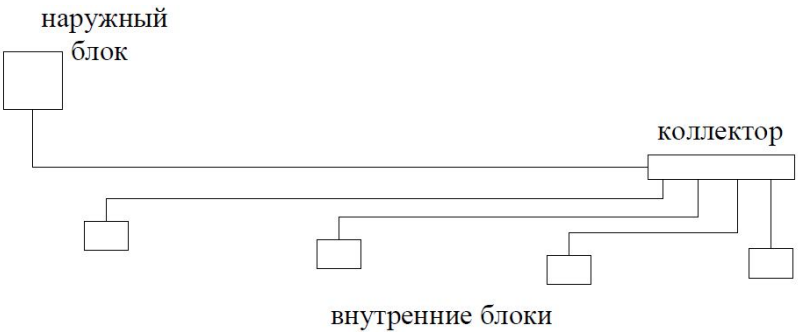
Кондиционеры СПЛИТ систем предназначены для кондиционирования одной комнаты или max 3–4 комнат от одного блока.

Многозональные системы позволяют и одному наружному блоку присоединить до 16 внутренних блоков не только различной мощности, но и различного конструктивного исполнения.

Одна часть может работать на режиме охлаждения, а другая – на режиме обогрева.



а) линейная схема



б) схема с коллектором



в) комбинированная схема

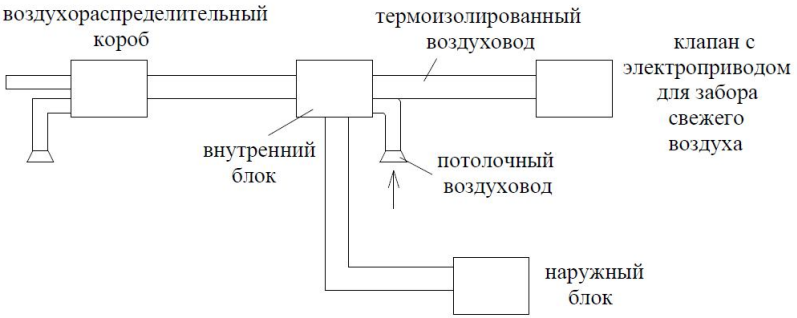
После коллекторов не должно быть дополнительных разветвлений.

Если все внутренние блоки работают в режиме охлаждения или нагрева, то эти системы не отличаются от мульти СПЛИТ-систем.

Длина соединительных трубопроводов должна быть не более 80–100 м.

5.4. Канальные кондиционеры и кондиционеры СПЛИТ систем с приточной вентиляцией

Предназначены для кондиционирования нескольких помещений одновременно. Отличие от СПЛИТ систем состоит в том, что внутренние блоки устанавливаются за подшивным потолком, а воздух забирается и раздается воздуховодами по кондиционируемым помещениям.



Напор вентилятора во внутреннем блоке составляет 100÷150 Па, имеют низкий уровень шума и поэтому могут устанавливаться за подшивными потолками в помещениях.

Устанавливаются в больших помещениях, в которых вместе с кондиционированием необходима подача свежего воздуха: рестораны, конференцзалы и т.р.

Физические свойства хладоагентов

Обозначение свойства	R–22	R–134a	R–407C
Химическая формула	$CHClF_2$	CH_2FCF_3	смесь
Температура кипения, ^0C	-40,75	-26,1	-43,6
Температура замерзания, ^0C	-160	-101,0	-
Плотность жидкости, кг/м^3	1194	1206	1136
Температура испарения, кДж/кг	233,5	217,1	246,1
Давления пара, бар при 25	10,4	6,66	11,85
Критические температуры, ^0C	96	101,1	86,7
Критическое давление, бар	49,77	40,6	46

5.5. Работа современный сплит-системы в условиях низких температур

Если сравнить климатическую карту мира с диаграммой, отражающей количество продаваемых кондиционеров, легко прийти к выводу: в регионах с холодной зимой оседает не более 0,5 % всей климатической техники. Действительно, в странах, потребляющих львиную долю сплит-систем, даже в январе столбик термометра редко опускается ниже 3–9 ^{0}C тепла. Неудивительно, что большинство фирм, производящих кондиционеры, не испытывает их в условиях низких температур, и основная масса технических каталогов ведущих японских производителей содержит информацию о работе сплит-систем в режиме обогрева до минус 8–9 ^{0}C. Любопытно, но это в точности совпадает с абсолютным минимумом температуры, зафиксированным в Токио. При работе этих же кондиционеров в режиме охлаждения обычно приводятся характеристики в диапазоне от +43 до +10.15 ^{0}C.

Между тем опыт эксплуатации ряда японских и европейских марок сплит-кондиционеров в суровых российских условиях показывает, что они вполне работоспособны и при более низких температурах. Это важно, так как нередко возникает необходимость круглогодичного охлаждения помещений, насыщенных компьютерами, копировально-множительной техникой или другим тепловыделяющим оборудованием.

Использовать в таких случаях кондиционеры типа «CloseControl» не всегда целесообразно по чисто экономическим соображениям. Регулировать температуру, подавая холодный наружный воздух, тоже не всегда приемлемо, так как он слишком сух. Это крайне негативно влияет на сложную электронику, приводя к быстрому высыханию изоляционных покрытий со всеми вытекающими последствиями. По этой причине в зимнее время нередко используют обычные сплит-системы, которые не опускают влажность ниже 30 %.

Подбор этого оборудования нередко идет *«на глазок»*, с двух–трехкратным превышением мощности охлаждения над существующими теплопоступлениями. Не имея точной инфор-

мации о снижении холодопроизводительности в условиях низких температур, приходится страховаться, закладывая в проект более мощную, а следовательно, более дорогую технику. Значительные превышения необходимой мощности нехороши и тем, что приводят к быстрому износу кондиционера за счет более частых включений-выключений. По понятным причинам это особенно опасно в зимнее время, когда густеет масло, и каждый лишний пуск не разогретого компрессора сокращает срок его службы [27].

Зная параметры работы кондиционера на охлаждение в условиях низких температур, подобные проблемы можно избежать. В частности, это позволяет провести специальную адаптацию кондиционера к работе в зимних условиях (низкотемпературное исполнение). Для того, чтобы холодопроизводительность кондиционера оставалась на уровне, близком к номинальному, необходимо регулировать давление конденсации. Оно должно соответствовать наиболее благоприятному значению, достигаемому при температуре наружного воздуха 19–25 ^{0}C. Этого проще всего добиться, изменяя скорость вращения вентилятора внешнего блока, в зависимости от температуры конденсации.

А для того, чтобы включение компрессора проходило более гладко, предусматривается подогрев масла в его картере хотя бы до + 10 ^{0}C. Опыт показывает, что для этого хватает электротена мощностью 25–30 Вт.

Но гораздо чаще работа систем отопления вызывает нарекания из-за несвоевременного включения-выключения и недостаточно высокой температуры теплоносителя. В стране, где отопительный период длится 7–8 месяцев в году, возможность погреться у кондиционера при температурах ниже минус 5–10 ^{0}C волнует многих.

Реальное тестирование сплит-систем Daikin (в обычном и низкотемпературном исполнении) и «Элемаш», проведенное с интервалом в полтора года на различном испытательном оборудовании, дало результат, изображенный на рис. 61 и 62. Для сравнения показаны результаты заводских испытаний кондиционеров Sanyo и Airwell, приведенные в технических каталогах этих фирм.

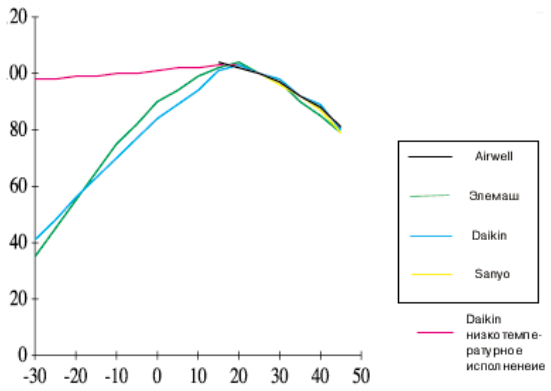


Рис. 61. Холодопроизводительность в % к номиналу для сплит-систем различных марок мощностью 9 BTU/h

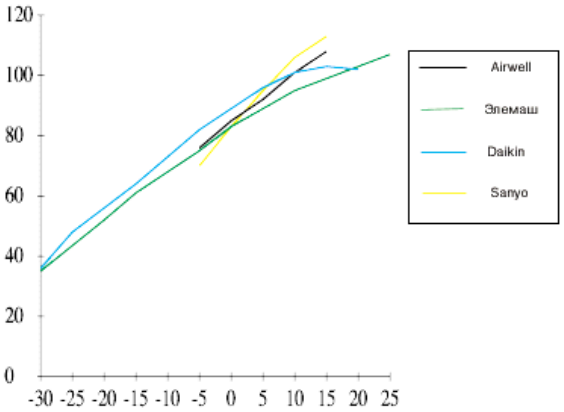


Рис. 62. Теплопроизводительность в % к номиналу для сплит-систем различных марок мощностью 9 BTU/h

Более подробную информацию о работе сплит-системы в диапазоне температур наружного воздуха от - 30 до +30 ^{0}C можно почерпнуть из рис.63 и 64, полученных при испытаниях кондиционеров «Элемаш», проведенных в лаборатории завода.

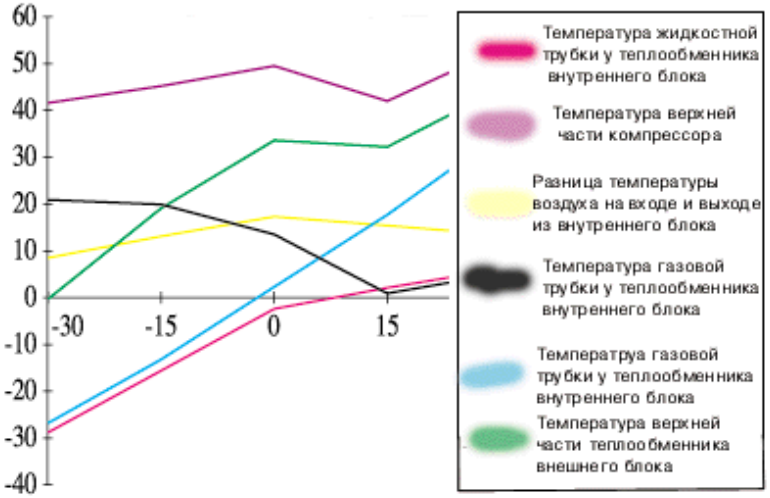


Рис. 63. Температура различных узлов кондиционера при работе на охлаждение

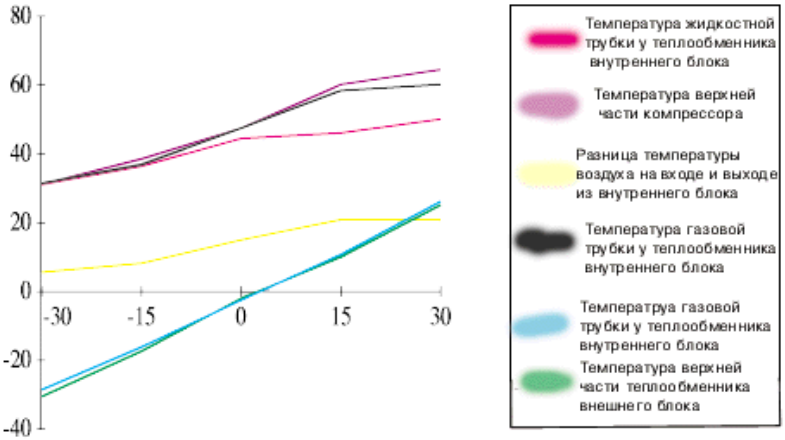


Рис. 64. Температура различных узлов кондиционера при работе на обогрев

Даже при температуре наружного воздуха – 30 ^{0}С температура компрессора не опускается ниже +30 ^{0}С, то есть он сам себя греет. Именно поэтому подогрев картера необходим только при пуске. Это же объясняет, почему, включившись при – 20 ^{0}С, кондиционер продолжает работать и при снижении температуры до – 30 ^{0}С. В то же время попытка включить *«неразогретый»* компрессор при – 30 ^{0}С может окончиться безрезультатно.

Достаточно низкая производительность кондиционеров, работающих на тепло при отрицательных температурах, во многом объясняет тот факт, что в странах с прохладной зимой кондиционеры для обогрева практически не используют.

Страна	Доля кондиционеров с тепловым насосом, %	Средняя температура января, ^{o}С
Япония	97	+8
Греция	91	+9
Португалия	90	+9
Великобритания	61	+5
Испания	57	+7
Италия	47	+6
Италия	47	+6
Франция	29	+3
Германия	11	-1

И действительно, в Средиземноморье и густонаселенных районах Японии температура воздуха редко опускается ниже +5 ^{0}С. По этой причине системы отопления просто не предусмотрены, а одну-две прохладных недели вполне можно погреться с помощью кондиционера [28].

Но уже в относительно прохладной Германии, где отопительный период обычно длится 2–3 месяца, считают, что топить с помощью кондиционера, – роскошь. Дешевле использовать простенький масляный радиатор или печку-буржуйку.

Включать кондиционер на обогрев целесообразно только осенью и весной, когда отопление еще или уже не работает, а на улице холодно. Да и лето в наших широтах бывает такое, что уже в августе лишнее тепло не помешает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индустрия климата стремительно движется вперед, и каждый год, месяц, день в мире вырастает число людей, активно использующих кондиционеры и прогрессивные системы вентиляции. Человек всегда создает вокруг себя комфортную среду, будь он у себя дома или на работе. Ведь от того насколько микроклимат вокруг него благоприятен, зависит его работоспособность, настроение, самочувствие и здоровье. Эта работа показывает, какую роль в нашей повседневной жизни занимает вентиляция и кондиционирование помещений, в которых мы находимся большую часть своего времени. Основная задача систем вентиляции и кондиционирования это поддержание необходимых условий, т. е. того микроклимата который позволит повысить работоспособность и сохранить здоровье человека.

Раскрыты научные и физические основы вентиляции как средства коллективной защиты людей от потенциальных опасностей воздушной среды. Отмечена необходимость усиления роли вентиляции в подготовке специалистов в области безопасности жизнедеятельности.

Следует отметить, что официально утвержденный Министерством здравоохранения и социального развития РК порядок аттестации рабочих мест по условиям труда полностью игнорирует коллективные средства защиты и предлагает использовать индивидуальные средства защиты для улучшения условий труда. Парадоксальность ситуации состоит в том, что весь мир признает приоритет коллективных средств защиты и вспомогательную роль средств индивидуальной защиты. Неучет этого обстоятельства противоречит политике охраны труда и наносит вред здоровью людей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей, в 2-х частях /Под общ. ред. *Н.В.Лазарева*. – Изд. 5-е, стереотипное. – М.–Л.: Химия, 1995. – 831 с.

2. *Кротов Ю.А.* Предельно допустимые концентрации химических веществ. 41-01-2003: Учеб. пособие /*Ю.А. Кротов, А.О. Карелин.*– СПб: Интер-лайн, 2000.

3. *Полушкин В.И.* Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. ГН 2.25.1313-03.Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учеб. пособие. – Ч. I /*В.И. Полушкин, О.Н.Русак*– СПб: Профессия, 2002. – 285 с.

4. СНиП РК 02.006-2001.Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

5. СНиП РК 4.02–42–2006.Отопление, вентиляция и кондиционирование.

6. *Хохлов Н.А.*Определение и исследование аэродинамических параметров вентиляционной установки. – СПб: Изд. МАНЭБ, 1999. – 42 с.

7. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1995. – 557 с.

8. *Богословский В.Н.* Отопление и вентиляция: Учебник для вузов. –Ч. 2 */В.Н. Богословский, Новожилов В.И. и др.* Вентиляция /Под ред. *В. И. Богословского.* – М.: Стройиздат, 1996. – 439 с.

9. *Беккер А.* Системы вентиляции. – М.: Техносфера, Еврокликмат, 2007. – 240 с.

10. *Русак О.Н.* Основы вентиляции: Учеб. пособие. – СПб: МАНЭБ, 2004. – 187 с.

11. ГОСТ 31351-2007 (ИСО 14695:2003). Технические требования к радиальным вентиляторам общего назначения (для систем вентиляции, кондиционирования, воздушного отопления, аспирации, дутья).

12. *Хохлов Н.А.* Основы промышленной вентиляции. Определение и исследование аэродинамических параметров воздуховодов на моделях. – СПб: СПбГЛТА, 2010. – 74 с.

13. *Русак О.Н.* Промышленная вентиляция: Метод. указания. Программа, контрольные задания и задания по курсовому проектированию/*О.Н. Русак, Н.А. Хохлов.* – СПб:СПбГЛТА, 2006. – 47 с.

14. *Батурин В.В.* Основы промышленной вентиляции. – Изд. 4-е. – М.: Профиздат, 1990. – 448 с.

15. *Гримитлин А.М.* Отопление и вентиляция производственных помещений: Учеб. пособие /*Гримитлин А.М., Дацюк Т.А. и др.* –СПб: Изд-во «АВОК Северо-запад», 2007. – 399 с.

16. *Русак О.Н.* Наладка и эксплуатация вентиляционных систем: Учеб. пособие /*О.Н. Русак, В.И. Полушкин*– СПб: Изд-во МАНЭБ, СПбГЛТА, 1998. – 216 с.

17. ГОСТ 12.036-01 ССБТ. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях.

18. СНиП II-12-07. Защита от шума. –М.: Стройиздат, 1978. – 49 с.

19. Руководство по расчету и проектированию звукоизоляции ограждающих конструкций зданий. – М.: Стройиздат, 1983. – 64 с.

20. *Стефанов Е.В.* Вентиляция и кондиционирование воздуха. – СПб: Изд-во "АВОК Северо-запад", 2005. – 399 с.

21. СН 245-98 Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.

22. Системы вентиляции и кондиционирования, теория и практика. – М.: ЕвроКлимат, 2000.

23. *Нимич Г.В.*Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха: Учеб. пособие */Г.В. Нимич, В.А. Михайлов, Е.С. Бондарь*.– Киев: ТОВ "Видавничийбудинок "Аванпост-Прим" 2003. – С. 630.

24. *Коляда В.В.* Кондиционеры. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – С. 240.

25. СНиП 3.02-02-2002. Общественные здания и сооружения.

26. Вентиляция многоэтажных жилых зданий: Монография / *Ливчак И.Ф., Наумов А.Л.* – М.: Авок-Пресс,2005.

27. *Свистунов В.М., Пушняков Н.К.* Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. 2001. – С. 423.

28. *Коляда В.* Кондиционеры. Принципы работы, монтаж, установка, эксплуатация. 2002, С. 240.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение ……..…….	3
1.	Классификация систем вентиляции и ее элементов	4
1.1.	Метеорологические условия производственной среды	4
1.2.	Определение необходимого расхода воздуха……..	19
1.3.	Аэродинамическое сопротивление вентиляционных сетей……...	22
1.4.	Определение потерь давления в вентиляционной сети……..……..	25
1.5.	Основы расчета простых и сложных воздухопроводов….	26
1.6.	Побудители движения воздуха……..…..	28
2.	Характеристики вентиляторов……..…..	32
2.1.	Нахождение рабочей точки……....	32
2.2.	Радиальные вентиляторы……..…...	34
2.3.	Осевые вентиляторы……..…..	45
2.4.	Сравнение осевых вентиляторов с радиальными..……	49
2.5.	Совместная работа вентиляторов……..….	50
3.	Типы вентиляторов……...…	54
3.1.	Контроль эффективности работы вентиляционных систем……..…….	56
3.2.	Прочность и защищенность вентиляторов……..…..	57
3.3.	Балансировка колес вентиляторов……..……	60
3.4.	Звукоизоляция……..…….	61
3.5.	Защита от шума вентиляционных систем……..……	65
4.	Экономика эксплуатации нагнетателей……..……...	67
4.1.	Служба эксплуатации нагнетателей……..…….	69
5.	Кондиционеры и системы кондиционирования..……..	76
5.1.	Типы и серии кондиционеров……..……	76
5.1.1.	Центральные однозональные СКВ……..…...	86
5.1.2.	Центральные многозональные СКВ……..….	93
5.1.3.	Центральные водовоздушные СКВ……..…..	99
5.1.4.	Местные системы кондиционирования воздуха…..….	102
5.2.	Методы автоматического регулирования СКВ…..…....	104
5.3.	Кондиционеры сплит-системы……..…..	108
5.4.	Канальные кондиционеры и кондиционеры СПЛИТ систем с приточной вентиляцией ……..…….	118

5.5. Работа современный сплит-системы в условиях низких температур……..…… 120
Заключение……..……. 125
Библиографический список……..……... 126

Учебное издание

Акубаева Дария Мараловна

ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА В ОХРАНЕ ТРУДА

Учебное пособие

Нач. ОППНП РО ДСО	*З. А. Губайдулина*
Редактор	*З. А. Губайдулина*
Компьютерная верстка	*Л. Т. Касжанова*

Подписано в печать 14. 11.2016 г.
Тираж 300 экз. Формат 60х84х 1/16. Бумага типогр. № 1.
Уч.-изд.л. 8,2. Усл. п.л. 7,5. Заказ № 764. Цена договорная.

Издание Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева
Департамент по связям с общественностью КазНИТУ
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-323-007-8

