

Ю.С. ПЕТРОВ

# ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

*Допущено Управлением кадров и учебных заведений  
Минрыбхоза СССР в качестве учебника для курсантов  
мореходных училищ, обучающихся по специальности 1622  
«Эксплуатация судовых холодильных установок»*



ЛЕНИНГРАД  
«СУДОСТРОЕНИЕ»  
1984

ББК 39.46

ПЗ0

УДК [629.12.06:697.9] (075.8)

Рецензенты: Цикловая комиссия Ленинградского мореходного училища Минрыбхоза СССР (инж. С. Ю. Кондрашов); инж. Т. А. Каменская

**Петров Ю. С.**

ПЗ0 Вентиляция и кондиционирование воздуха: Учебник — Л.: Судостроение, 1984.— 160 с., ил.

ИСБН

В соответствии с программой рассмотрены теоретические основы обработки воздуха, его тепловлажностная обработка, судовые системы вентиляции и кондиционирования, основы автоматизации, а также вопросы хладотеплоснабжения судовых систем кондиционирования воздуха

Для учащихся мореходных училищ Министерства рыбного хозяйства

П  $\frac{3605030000-064}{048(01)-84}$  56—84

39.46

© Издательство «Судостроение», 1984 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

С ростом технической вооруженности судов возрастает роль и значение систем вентиляции и кондиционирования воздуха, которые предназначены для обеспечения нормальных условий работы и обитаемости судового экипажа и пассажиров. Предлагаемый учебник по курсу «Вентиляция и кондиционирование воздуха», изучаемому в средних мореходных училищах МРХ СССР, издается впервые. В нем рассмотрены конструкции аппаратов, механизмов, приборов автоматики и схемы судовых систем кондиционирования воздуха (СКВ), наиболее широко применяемые на современных судах рыбного промыслового флота. Теоретическая часть изложена сжато, но в объеме, достаточном для понимания процессов, происходящих в судовых СКВ. Много места отведено практическим примерам и вопросам эксплуатации, знание которых необходимо будущему рефрижераторному механику в его практической работе. Хладотеплоснабжение СКВ изложено кратко и только применительно к этим системам с учетом того, что обучающиеся по специальности «Эксплуатация судовых холодильных установок» эти вопросы изучают.

Отзывы и предложения направлять по адресу: 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8, издательство «Судостроение».

## ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране осуществляются важные преобразования по улучшению и облегчению условий труда. Забота о здоровье советских людей продолжает оставаться одной из важнейших социальных задач. Улучшение условий труда и быта имеет большое значение для моряков рыболовецкого флота, которые длительное время живут и работают в специфических условиях.

В течение промыслового рейса члены экипажа судна большую часть времени проводят в служебных и бытовых помещениях, круглосуточно подвергаются воздействию шума и вибрации. Суда за сравнительно короткий срок совершают переходы из одних географических районов в другие, например из Арктики или Антарктики в тропики, и наоборот. В зависимости от широты изменяется влагосодержание воздуха, значения которого максимальны в экваториальной зоне (20—22 г водяного пара и более на 1 кг сухого воздуха) и уменьшаются по мере удаления от экватора.

Большой перепад температур вызывает неблагоприятные тепловые ощущения у человека, нарушает процесс терморегуляции организма.

Количество отделяемого пота с повышением температуры возрастает. Так, при 30 °С организм теряет в час около 300 г пота, а при 45 °С — более 1 кг. Во время работы на открытой палубе организм перегревается быстрее, так как он дополнительно получает теплоту от нагретых на солнце металлических предметов.

К изменениям в организме могут привести и отклонения в относительной влажности воздуха. Высокая относительная влажность вызывает интенсивное потоотделение и вследствие этого быстрое утомление организма. Постоянная высокая влажность препятствует испарению пота с кожного покрова, вызывая перегревание тела, которое может привести к тепловому удару. При низкой относительной влажности воздуха пересыхают кожа, слизистые оболочки носа, рта и горла.

Подвижность воздуха при высокой относительной влажности оказывает благоприятное действие на терморегуляцию организма. Неподвижный воздух даже при низкой относительной влажности вызывает перегревание тела. С повышением скорости воздуха отдача теплоты организмом увеличивается. При температуре окружающего воздуха выше температуры тела перегревания может не

произойти, если другие факторы (влажность воздуха, температура окружающих предметов) обеспечат отвод от тела достаточного количества теплоты.

Состав воздуха играет важную роль. При уменьшении содержания кислорода в помещении до 17,5 % (при нормальном его содержании в воздухе 23,1 % по массе) человек погибает через несколько минут. Увеличение концентрации углекислоты в воздухе до 3 % по объему вызывает повышение температуры кожи человека примерно на 1 °С. Накопление теплоты в организме приводит к его постоянному перегреванию.

Примеси в воздухе в виде пыли и газа, проникающие в помещение по системе вентиляции, могут приводить к рефлекторной задержке дыхания и, как следствие, — к кислородному голоданию. На нормальное самочувствие членов экипажа существенное влияние оказывает освещенность, цвет и гладкость изоляции.

Организм человека может перестроить на непродолжительное время многие физиологические функции в зависимости от влияния неблагоприятных факторов внешней среды, но длительное напряжение физиологических функций нередко приводит к заболеваниям.

Поддержание постоянной температуры человеческого организма (36,6—36,8 °С) осуществляется механизмом терморегуляции. Процесс терморегуляции заключается в стремлении организма сохранить постоянной температуру тела путем теплообмена через кожный покров, который осуществляется радиацией, конвекцией и испарением. Независимо от параметров внешней среды через кожный покров постоянно выделяется влага в виде пота и пара. Перегревание вызывает увеличение потоотделения и при испарении пота происходит охлаждение организма (удельная скрытая теплота парообразования воды составляет при  $t=0$  °С 2500 кДж/кг). При понижении температуры воздуха работа потовых желез сокращается, уменьшается приток крови к поверхности тела из-за сужения поверхностных кровеносных сосудов, в результате чего температура кожи снижается и теплоотдача уменьшается. При низкой относительной влажности теплоотдача в основном происходит за счет испарения пота, при этом температура поверхности тела повышается незначительно. В воздухе с повышенной влажностью, наоборот, теплоотдача осуществляется в результате повышения температуры тела.

Физиологические процессы протекают нормально, если окружающая среда принимает теплоту, вырабатываемую организмом. При этом тепловое ощущение у человека может быть одинаковым при различном сочетании параметров окружающей среды.

Среда, которая способна принимать все количество теплоты, вырабатываемой организмом, не вызывая беспокоящих человека ощущений холода или перегревания, называется *комфортной*. Автоматической терморегуляцией самого организма комфортное тепловое ощущение может осуществляться только в узком интер-

вале температур и влажности. Когда организм не в состоянии путем терморегуляции осуществлять необходимый теплообмен, прибегают к искусственному созданию нормальных условий путем применения вентиляции и кондиционирования воздуха.

Общесудовая вентиляция предназначена для поддержания в помещениях заданных параметров воздуха (температура, состав, подвижность) без тепловлажностной обработки, обеспечиваемых средствами вентиляции. Воздух в помещениях, где находятся люди, должен быть чистым (без примесей пыли, газа и без запаха), обладать способностью поглощать тепло- и влаговыделения и циркулировать по всему объему помещения, не создавая сквозняков.

Опыт плавания судов в тропиках показывает, что только одна система вентиляции не может обеспечить необходимых параметров для нормального труда и отдыха членов экипажа. Даже высокие скорости вентилируемого воздуха не дают должного охлаждающего эффекта, когда наружная температура выше температуры кожного покрова человека. Для создания и поддержания искусственного микроклимата необходимо наряду с вентиляцией применять кондиционирование воздуха. Только в этом случае могут быть созданы нормальные условия для жизнедеятельности моряков.

Под *микроклиматом* помещений понимают совокупность состава и физических параметров воздушной среды, вызывающих у человека благоприятные тепловые ощущения.

*Кондиционирование воздуха* — это комплекс мероприятий по обработке воздуха с целью поддержания заданных физических параметров (температуры, относительной влажности и скорости).

По назначению кондиционирование воздуха разделяется на комфортное и техническое.

Судовая система *комфортного кондиционирования* предназначена для комплексной обработки воздуха с целью поддержания в жилых помещениях комфортных параметров воздуха независимо от метеорологических условий, времени года и районов плавания.

В жарких районах система комфортного кондиционирования охлаждает и осушает воздух, в холодных — нагревает и увлажняет.

*Техническое кондиционирование* имеет целью поддержание необходимых параметров воздуха в производственных и служебных помещениях для сохранности продукции и уменьшения коррозии внутренних металлических частей корпуса.

Рыбопромысловый флот оснащен и постоянно пополняется новыми судами, оборудованными СКВ. Для грамотной эксплуатации СКВ необходимы подготовленные специалисты. Цель настоящего учебника — оказать помощь в подготовке рефрижераторных механиков, которые являются организаторами производственного процесса всего рефрижераторного хозяйства на судне, включая СКВ.

## ВЕНТИЛЯЦИЯ

## 1.1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

## 1.1.1. Параметры состояния влажного воздуха

Атмосферный воздух представляет собой смесь сухого воздуха и водяного пара. Сухой воздух состоит из смеси различных газов (табл. 1).

Таблица 1. Состав сухой части воздуха, %

Газ	По объему	По массе
N <sub>2</sub> (азот)	78,08	75,54
O <sub>2</sub> (кислород)	20,95	23,14
Ar (аргон)	0,93	1,27
CO <sub>2</sub> (углекислый газ)	0,03	0,05

В расчетах сухой воздух рассматривается как смесь азота и кислорода. Содержание азота принимается равным 79 % по объему или 77 % по массе, кислорода соответственно 21 и 23 %. Водяные пары составляют от 0,2 до 2,6 % по объему.

Атмосферный воздух в естественных условиях всегда является *влажным воздухом*. Влажный воздух называется *ненасыщенным*, если водяные пары в нем находятся в перегретом состоянии. Воздух, в котором пары воды находятся в состоянии насыщения, называется *насыщенным*. Водяной пар насыщенного воздуха обладает свойством водяного насыщенного пара, давление которого зависит от температуры.

Избыток влаги в насыщенном воздухе конденсируется и в виде мелких капель — *тумана*, находится в воздухе. При отрицательных температурах влага в воздухе вымерзает, образуя *ледяной туман*.

Водяной пар, находящийся в воздухе, рассматривается как газообразная составляющая бинарной смеси (воздух + водяной пар) и подчиняется законам, установленным для газов.

Физические свойства влажного воздуха характеризуются следующими параметрами: температурой, давлением, плотностью или удельным объемом, влажностью, теплоемкостью и энтальпией.

**Температура воздуха.** Температура характеризует степень нагретости воздуха. В технике измерений температуры пользуются термодинамической температурой К (шкала Кельвина), обознача-

емой  $T$ , и международной температурой  $^{\circ}\text{C}$  (шкала Цельсия), обозначаемой  $t$ . Соотношение между этими шкалами следующее:  $T = t + 273,16$ , где 273,16 — температура тройной точки воды. В технических расчетах округленно принимают

$$T = t + 273. \quad (1)$$

**Давление воздуха.** Согласно закону Дальтона общее, или барометрическое, давление влажного воздуха как механической смеси газов равно сумме парциальных давлений сухой его части и водяных паров. Каждый из компонентов смеси занимает весь объем смеси, имеет температуру смеси и находится под своим парциальным давлением

$$p_6 = p_c + p_n,$$

где  $p_6$  — барометрическое давление влажного воздуха, Па (мм рт. ст.);  $p_c$  — парциальное давление сухой части воздуха, Па (мм рт. ст.);  $p_n$  — парциальное давление пара, Па (мм рт. ст.).

Обычно давление воздуха и его составляющих измеряют в миллиметрах ртутного столба. За нормальное атмосферное давление принята одна физическая атмосфера, равная 760 мм рт. ст. при  $0^{\circ}\text{C}$ . В международной системе единиц (СИ) давление измеряется в паскалях Па ( $\text{H}/\text{м}^2$ ) или в килопаскалях кПа ( $\text{кH}/\text{м}^2$ ). Одна физическая атмосфера соответствует 101,327, или округленно 101 кПа.

**Плотность воздуха.** Плотность влажного воздуха  $\rho_в$  — это его масса в одном кубометре ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Для определения плотности воздуха применяют характеристическое уравнение Клапейрона — Менделеева, которое для  $G_в$ , кг, смеси сухого воздуха и пара имеет вид

$$p_6 V = G_в R_в T, \quad (2)$$

где  $p_6 = p_c + p_n$  — барометрическое давление, равное сумме парциальных давлений сухой части воздуха и паров, Па (мм рт. ст.);  $G_в = G_c + G_n$  — масса влажного воздуха, равная сумме масс сухой его части и паров, кг;  $V = V_в = V_c = V_n$  — объем влажного воздуха, равный объему каждого компонента,  $\text{м}^3$ ;  $T$  — термодинамическая температура смеси, К;  $R_в$  — удельная газовая постоянная влажного воздуха,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ ;

$$R_в = g_1 R_c + g_2 R_n; \quad (3)$$

$g_1 = G_c/G_в$  и  $g_2 = G_n/G_в$  — соответственно массовые доли сухой части воздуха и водяного пара;  $R_c$  и  $R_n$  — газовые постоянные сухого воздуха и водяного пара.

Водяной пар, находящийся в воздухе, в расчетах рассматривается как идеальный газ.

Газовая постоянная для каждого газа имеет свое определенное значение. Для сухого воздуха она равна  $R_c = 287,04 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ , для водяного пара  $R_n = 461,5 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ .



Из уравнения (2) следует

$$\frac{G_v}{V} = \frac{p_6}{R_v T}, \quad (4)$$

или

$$\rho_v = \frac{p_6}{R_v T}, \quad (5)$$

где  $\rho_v = G_v/V$  — плотность влажного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Приняв во внимание, что  $\rho_v$  равна сумме плотностей сухой его части  $\rho_c$  и пара  $\rho_n$ , и применив уравнение (5) для составляющих воздуха, можно записать

$$\rho_v = \rho_c + \rho_n = \frac{p_c}{R_c T} + \frac{p_n}{R_n T}, \quad (6)$$

или

$$\begin{aligned} \rho_v &= \frac{p_6 - p_n}{R_c T} + \frac{p_n}{R_n T} = \frac{p_6}{R_c T} - \frac{p_n}{R_c T} + \frac{p_n}{R_n T} = \\ &= \frac{1}{T} \left[ \frac{p_6}{R_c} - p_n \left( \frac{R_n - R_c}{R_n R_c} \right) \right]. \end{aligned}$$

Подставив значения газовых постоянных для сухого воздуха  $R_c = 287$  Дж/(кг·К), и пара  $R_n = 461,5$  Дж/(кг·К), получим

$$\rho_v = \frac{1}{T} (0,00348 p_6 - 0,0013 p_n). \quad (7)$$

Равенство (7) показывает, что с увеличением парциального давления пара при неизменных барометрическом давлении и температуре плотность влажного воздуха уменьшается. Однако это уменьшение незначительно, поэтому в практических расчетах плотность влажного воздуха принимают равной плотности сухой его части, т. е.  $\rho_v \approx \rho_c$ . Из равенства (7) следует также, что плотность влажного воздуха с достаточной степенью точности можно считать прямо пропорциональной барометрическому давлению воздуха.

**Удельный объем.** Удельный объем  $v$ , м<sup>3</sup>/кг, — величина, обратная плотности, представляющая собой объем единицы массы воздуха:

$$v_v = \frac{V}{G_v},$$

где  $V$  — объем влажного воздуха, м<sup>3</sup>;  $G_v$  — масса влажного воздуха, кг.

Зная плотность влажного воздуха, можно найти его удельный объем, воспользовавшись формулой (7):

$$v_v = \frac{1}{\rho_v} = \frac{T}{0,00348 p_6 - 0,0013 p_n}. \quad (8)$$

**Влажность воздуха.** К основным параметрам, характеризующим водяной пар, находящийся в воздухе, относятся влагосодержание и относительная влажность.

**Влагосодержание.** Влагосодержанием  $d$ , кг/кг (г/кг), называется количество водяного пара, находящегося во влажном воздухе в килограммах (или граммах) и приходящегося на 1 кг сухого воздуха или содержащегося в  $(1 + d)$  кг влажного воздуха. Согласно определению

$$d = \frac{G_n}{G_c}, \quad (9)$$

где  $G_n$  — масса водяного пара, кг (г);  $G_c$  — масса сухого воздуха, кг.

Для 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха выражение (9) примет вид

$$d = \frac{\rho_n}{\rho_c}, \quad (10)$$

где  $\rho_n$  и  $\rho_c$  — соответственно плотности пара и сухого воздуха.

Подставив значения  $\rho_n$  и  $\rho_c$  из выражения (6), получим

$$d = \frac{R_c}{R_n} \cdot \frac{p_n}{p_c} = 0,622 \frac{p_n}{p_c}$$

или

$$d = 0,622 \frac{p_v}{p_b - p_n} \quad (11)$$

Равенство (11) показывает, что при неизменном барометрическом давлении  $p_b$  влагосодержание воздуха зависит только от парциального давления водяного пара.

**Относительная влажность воздуха.** Относительной влажностью  $\varphi$ , %, называют отношение парциального давления паров, находящихся в ненасыщенном воздухе, к их парциальному давлению в насыщенном воздухе при той же температуре, выраженное в долях единицы или процентах:

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n^*} \quad (12)$$

или

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n^*} 100 \%$$

В соответствии с этим определением, воспользовавшись уравнением (5), для ненасыщенного и насыщенного воздуха можно написать

$$p_n = \rho_n R_n T; \quad p_n^* = \rho_n^* R_n T.$$

Отсюда

$$\frac{p_n}{p_n^*} = \frac{\rho_n}{\rho_n^*},$$

т. е.

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_n^*} \quad (13)$$

С достаточной для практики точностью относительную влажность можно представить отношением

$$\varphi = \frac{d}{d_n} \quad (14)$$

Из уравнения (11) для ненасыщенного и насыщенного воздуха следует

$$d = 0,622 \frac{p_n}{p_6 - p_n}; \quad d_n = 0,622 \frac{p_n}{p_6 - p_n}.$$

Поставив  $d$  и  $d_n$  в формулу (14), получим

$$\frac{d}{d_n} = \frac{p_n}{p_n} \cdot \frac{p_6 - p_n}{p_6 - p_n}$$

Так как разность парциальных давлений сухой части ненасыщенного и насыщенного воздуха незначительна (менее 1 %), то отношение  $(p_6 - p_n) / (p_6 - p_n)$  для упрощения расчетов принимают равным единице.

Тогда

$$\frac{d}{d_n} = \frac{p_n}{p_n}$$

либо с учетом равенств (12), (13) и (14)

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n} = \frac{p_n}{p_n} = \frac{d}{d_n}$$

или

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n} \cdot 100 \% = \frac{p_n}{p_n} 100 \% = \frac{d}{d_n} \cdot 100 \%, \quad (15)$$

т. е. относительная влажность может быть определена как отношение влагосодержания водяных паров в ненасыщенном воздухе к влагосодержанию водяных паров в насыщенном воздухе при той же температуре. Относительная влажность изменяется от 0 до 100 %.

В практике кроме понятий влагосодержание и относительная влажность для характеристики влажного воздуха пользуются понятиями температуры точки росы  $t_p$  и температуры воздуха по мокрому термометру  $t_m$ .

**Температура точки росы.** Температурой точки росы  $t_p$  называют температуру, при которой охлажденный ненасыщенный воздух становится насыщенным ( $\varphi = 100 \%$ ) при неизменном влагосодержании. Дальнейшее понижение температуры воздуха приводит к конденсации водяных паров, т. е. к образованию тумана.

**Температура воздуха по мокрому термометру.** Температура по мокрому термометру  $t_m$  — это температура насыщенного воздуха у поверхности воды в процессе ее испарения, причем увлажнение воздуха водой происходит без добавления или отнятия теплоты, т. е. при постоянной энтальпии.

Температура воздуха, измеренная обычным термометром, называется *температурой по сухому термометру*. Разница температур, измеренных этими термометрами, позволяет оценить влагосодержание ненасыщенного воздуха.

Влажный воздух содержит теплоту, которая складывается из явной и скрытой. Количество *явной теплоты*, сообщенной воздуху (отнимаемой у него),  $Q_{я}$ , кДж, зависит от его массы  $G$ , удельной массовой теплоемкости при постоянном давлении  $c_p$  и разности температур  $t_2 - t_1$ , на которую нагревается (или охлаждается) воздух,  $Q_{я} = Gc_p(t_2 - t_1)$ .

*Скрытая теплота*, содержащаяся в воздухе, получена им в процессе фазового превращения воды в пар в виде скрытой теплоты парообразования. Удельная скрытая теплота парообразования воды составляет 2500 кДж/кг при 0 °С.

Для оценки тепловых процессов, происходящих при обработке влажного воздуха, пользуются тепловыми характеристиками: удельной теплоемкостью  $c_p$  и энтальпией  $I$ .

**Теплоемкость.** Удельной теплоемкостью  $c_p$ , кДж/(кг·К), называется количество теплоты, которую необходимо подвести к 1 кг (1 м<sup>3</sup>) воздуха (или отвести от него), чтобы повысить (или понизить) его температуру на 1 °С.

В дальнейшем под термином «теплоемкость» подразумевается удельная теплоемкость при постоянном давлении.

В зависимости от выбранной количественной единицы различают: *массовую теплоемкость*  $c$ , отнесенную к 1 кг воздуха [кДж/(кг·К)], и *объемную теплоемкость*  $c'$ , отнесенную к 1 м<sup>3</sup> воздуха [кДж/(м<sup>3</sup>·К)]. Массовая теплоемкость связана с объемной следующей зависимостью:  $c' = c\rho$ , где  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Массовая теплоемкость влажного воздуха включает теплоемкость сухого воздуха и водяного пара. При нормальном давлении 760 мм рт. ст и температуре 0 °С массовая теплоемкость сухого воздуха составляет  $c = 1,0$  кДж/(кг·К) [ $c' = 1,3$  кДж/(м<sup>3</sup>·К)], водяного пара  $c_n = 1,93$  кДж/(кг·К). В связи с незначительной массой водяного пара, содержащегося в 1 кг сухого воздуха, массовую теплоемкость влажного воздуха практически принимают равной массовой теплоемкости сухого воздуха.

С достаточной точностью для оценки процессов, происходящих в СКВ в диапазоне температур от -30 до +50 °С, теплоемкость влажного воздуха принимается постоянной и равной  $c = 1,0$  кДж/(кг·К).

**Энтальпия влажного воздуха.** Энтальпия влажного воздуха  $I$  кДж/кг, это общее количество теплоты, содержащейся в 1 кг сухого воздуха, и  $d$  кг водяных паров, приходящихся на 1 кг сухого воздуха. Энтальпия численно равна произведению теплоемкости при постоянном давлении на температуру.

Для сухого воздуха  $I_c = ct = 1,0t$ , где 1,0 — массовая теплоемкость сухого воздуха, кДж/(кг·К),  $t$  — температура воздуха, К.

Энтальпия водяного пара включает количество теплоты, необходимой для превращения воды в пар при температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , и количество теплоты, затраченной на нагрев полученного пара до температуры  $t^{\circ}\text{C}$ .

Для 1 кг водяного пара энтальпия  $I_n$ , кДж/кг, составит  $2500 + 1,93t$ , где 2500 — скрытая теплота испарения воды при  $0^{\circ}\text{C}$ , кДж/кг; 1,93 — массовая теплоемкость водяного пара, кДж/(кг· $^{\circ}\text{C}$ ).

Энтальпия  $d$  кг водяного пара, приходящегося на 1 кг сухого воздуха, определится равенством  $I_n = (2500 + 1,93t)d$ .

Таким образом, энтальпия  $(1+d)$  кг влажного воздуха, сухая часть которого составляет 1 кг, равна

$$I_b = I_c + I_n = 1,0t + (2500 + 1,93t)d. \quad (16)$$

### 1.1.2. Психрометрическая таблица и диаграмма влажного воздуха

Психрометрические таблицы содержат физические характеристики влажного воздуха и применяются для расчетов параметров ненасыщенного влажного воздуха.

В табл. 2 приведены основные параметры влажного насыщенного воздуха при давлении  $p = 101$  кПа (760 мм рт. ст.). Значения

Таблица 2 Психрометрическая таблица насыщенного воздуха  
при давлении  $p = 101$  кПа

$t, ^{\circ}\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$	$\rho_n, \text{кг/м}^3$	$d, \text{г/кг}$	Энтальпия, кДж/кг		
				сухого воздуха $I_c$	водяного пара $I_n$	насыщенного воздуха $I_n$
— 30	0,037	1,434	0,32	— 30,18	0,57	— 29,61
— 29	0,041	1,428	0,35	— 29,17	0,63	— 28,54
— 28	0,046	1,422	0,38	— 28,17	0,70	— 27,47
— 27	0,051	1,416	0,42	— 28,16	0,78	— 26,38
— 26	0,056	1,410	0,46	— 26,16	0,86	— 25,30
— 25	0,063	1,405	0,50	— 25,15	0,96	— 24,19
— 24	0,069	1,399	0,55	— 24,14	1,06	— 23,08
— 23	0,077	1,393	0,60	— 23,14	1,18	— 21,96
— 22	0,085	1,388	0,66	— 22,13	1,30	— 20,83
— 21	0,093	1,382	0,72	— 21,13	1,43	— 19,69
— 20	0,103	1,377	0,79	— 20,12	1,58	— 18,54
— 19	0,113	1,371	0,85	— 19,11	1,74	— 17,37
— 18	0,125	1,366	0,93	— 18,11	1,92	— 16,19
— 17	0,137	1,360	1,01	— 17,10	2,11	— 15,00
— 16	0,150	1,355	1,09	— 16,10	2,32	— 13,78
— 15	0,165	1,350	1,18	— 15,09	2,54	— 12,55
— 14	0,181	1,344	1,29	— 14,08	2,79	— 11,30
— 13	0,198	1,339	1,39	— 13,08	3,06	— 10,02
— 12	0,217	1,334	1,51	— 12,07	3,35	— 8,72

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{н}}, \text{кПа}$	$\rho_{\text{н}}, \text{кг/м}^3$	$d, \text{г/кг}$	Энтальпия, кДж/кг		
				сухого воздуха $I_{\text{с}}$	водяного пара $I_{\text{п}}$	насыщенного воздуха $I_{\text{н}}$
-11	0,237	1,329	1,64	-11,07	3,67	-7,40
-10	0,259	1,324	1,77	-10,06	4,02	-6,04
-9	0,283	1,318	1,92	-9,05	4,39	-4,66
-8	0,309	1,313	2,07	-8,05	4,80	-3,25
-7	0,338	1,308	2,24	-7,04	5,24	-1,80
-6	0,368	1,303	2,42	-6,04	5,72	-0,31
-5	0,401	1,298	2,61	-5,03	6,24	+1,21
-4	0,437	1,293	2,81	-4,02	6,81	+2,78
-3	0,475	1,288	3,03	-3,02	7,41	+4,40
-2	0,517	1,283	3,26	-2,01	8,07	+6,06
-1	0,562	1,278	3,51	-1,01	8,79	+7,78
0	0,611	1,273	3,77	0	9,56	+9,56
1	0,657	1,268	4,06	1,01	10,29	+11,30
2	0,705	1,264	4,36	2,01	11,07	13,08
3	0,758	1,259	4,68	3,02	11,90	14,92
4	0,813	1,254	5,03	4,02	12,79	16,81
5	0,872	1,249	5,40	5,03	13,73	18,76
6	0,935	1,244	5,79	6,04	14,74	20,78
7	1,001	1,240	6,21	7,04	15,81	22,86
8	1,072	1,235	6,66	8,05	16,96	25,01
9	1,147	1,230	7,13	9,05	18,17	27,23
10	1,227	1,255	7,63	10,06	19,47	29,53
11	1,311	1,221	8,16	11,07	20,85	31,91
12	1,402	1,216	8,73	12,07	22,31	34,38
13	1,497	1,211	9,33	13,08	23,87	36,95
14	1,597	1,207	9,97	14,08	25,52	39,60
15	1,704	1,202	10,60	15,09	27,27	42,36
16	1,817	1,197	11,40	16,10	29,13	45,23
17	1,936	1,193	12,10	17,10	31,11	48,21
18	2,062	1,188	12,90	18,11	33,20	51,31
19	2,196	1,183	13,80	19,11	35,43	54,54
20	2,337	1,179	14,70	20,12	37,78	57,90
21	2,486	1,174	15,70	21,13	40,27	61,40
22	2,642	1,169	16,70	22,13	42,92	65,05
23	2,808	1,165	17,70	23,14	45,72	68,86
24	2,982	1,160	18,90	24,15	48,68	72,83
25	3,166	1,155	20,10	25,15	51,82	76,97
26	3,360	1,151	21,30	26,16	55,14	81,30
27	3,563	1,146	22,70	27,16	58,65	85,82
28	3,779	1,141	24,10	28,17	62,37	90,54
29	4,004	1,136	25,60	29,18	66,30	95,48
30	4,241	1,131	27,20	30,19	70,45	100,64
31	4,491	1,127	28,90	31,19	74,85	106,04
32	4,754	1,122	30,60	32,20	79,50	111,69
33	5,029	1,117	32,50	33,21	84,41	117,61
34	5,318	1,113	34,50	34,21	89,60	123,81
35	5,622	1,107	36,60	35,22	95,09	130,31
36	5,940	1,102	38,80	36,22	100,89	137,11
37	6,274	1,097	41,10	37,22	107,02	144,25
38	6,624	1,092	43,50	38,24	113,49	151,73
39	6,991	1,087	46,10	39,25	120,33	159,58

$t, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$	$\rho_n, \text{кг/м}^3$	$d, \text{г/кг}$	Энтальпия, кДж/кг		
				сухого воздуха $I_c$	водяного пара $I_n$	насыщенного воздуха $I_n$
40	7,375	1,082	48,80	40,26	127,56	167,82
41	7,777	1,077	51,70	41,26	135,21	176,47
42	8,198	1,072	54,80	42,27	143,29	185,56
43	8,639	1,066	57,00	43,28	151,83	195,11
44	9,100	1,061	61,40	44,28	160,85	205,14
45	9,582	1,056	65,00	45,29	170,40	215,69
46	10,085	1,050	68,80	46,30	180,49	226,79
47	10,612	1,045	72,80	47,31	191,17	238,48
48	11,161	1,039	77,00	48,31	202,45	250,76
49	11,735	1,034	81,50	49,32	214,40	263,72
50	12,335	1,028	86,20	50,33	227,07	277,40

парциального давления водяного пара  $p_n$ , плотности  $\rho_n$ , влагосодержания  $d$ , энтальпии насыщенного воздуха  $I_n$ , а также энтальпии сухого воздуха  $I_c$  и водяного пара  $I_n$  даны в таблице в зависимости от температуры.

Используя данные психрометрической таблицы, можно определить параметры ненасыщенного воздуха. Так, если известна температура  $t, ^\circ\text{C}$ , и относительная влажность воздуха  $\varphi$ , то парциальное давление  $p_n, \text{кПа}$ , влагосодержание  $d, \text{кг/кг}$ , влажного ненасыщенного воздуха можно найти из выражения (15), согласно которому

$$p_n = \frac{\varphi p_n}{100 \%}; \quad d = \frac{\varphi p_n}{100 \%}.$$

С помощью табл. 2 можно приближенно определить плотность  $\rho_v, \text{кг/м}^3$ , по формуле

$$\rho_v = \frac{\varphi p_n}{100 \%}.$$

Значения  $p_n, d_n$  и  $\rho_n$  для заданной температуры определяются по психрометрической таблице. Энтальпия влажного воздуха для данной температуры и известном влагосодержании может быть найдена из равенства (16).

**Диаграмма влажного воздуха  $Id$ .** Параметры влажного воздуха и их изменения в процессе его обработки в СКВ могут быть определены с помощью уравнений и психрометрических таблиц. Однако анализ возможных изменений состояния воздуха в этом случае представляет значительную трудность. Для упрощения анализа пользуются диаграммой  $Id$  (см. Приложение), устанавливающей графическую связь между параметрами  $t, d, \varphi$  и  $I$  для барометрического давления. Обычно пользуются диаграммой, составленной для нормального барометрического давления, равного 101 кПа (760 мм рт. ст.). Для небольших колебаний барометри-

ческого давления в пределах  $\pm 1$  кПа ( $\pm 7,5$  мм рт. ст.) изменения параметров воздуха не учитывают.

Диаграмма выполнена в косоугольной системе координат с углом между осью ординат  $I$  и осью абсцисс  $d$ , равным  $135^\circ$ . В такой системе координат область наиболее вероятных процессов изменений состояния ненасыщенного воздуха изображается в укрупненном масштабе. Для удобства пользования диаграммой значения влагосодержания наносят на оси  $Od$  (рис. 1), проведенной под углом  $90^\circ$  к оси  $I$ , условно называемой осью абсцисс.

На оси ординат от точки  $O$  вверх и вниз откладываются соответственно положительные и отрицательные значения энтальпии  $I$ . На этой же оси нанесены значения температур. Изотермы в диаграмме  $t = \text{const}$  построены в соответствии с уравнением (16), выражающим зависимость значений энтальпии от влагосодержаний при постоянной температуре. Из этого уравнения следует, что изотермы не параллельны и представляют собой расходящиеся прямые, так как величина составляющей ординаты  $1,93td$  при одном и том же значении влагосодержания увеличивается пропорционально увеличению температуры.

В области тумана направление изотерм для обычных температур, применяемых при кондиционировании воздуха, практически совпадает с направлением изоэнтальп.

Линии постоянной относительной влажности  $\varphi = \text{const}$  изображены на диаграмме в виде расходящихся кривых. Для их построения используется равенство (14). Значения  $d_n$  для данной температуры определяют по психрометрической таблице, а  $d$  вычисляют, задаваясь произвольными значениями относительной влажности:  $\varphi = 5, 10, 20, \dots, 100\%$ . Точка пересечения изотермы с найденным значением  $d$  будет соответствовать заданной относительности влажности.

Таким образом, на каждой изотерме наносят точки с заданными значениями относительной влажности. Соединяя точки с равными  $\varphi$  на различных изотермах, получают кривую  $\varphi = \text{const}$ . Кривая  $\varphi = 100\%$ , характеризующая насыщенный воздух, называется *пограничной кривой*. Выше пограничной кривой расположена область ненасыщенного воздуха. Под линией  $\varphi = 100\%$  воздух находится в состоянии насыщения с содержанием влаги в жидкой или твердой фазе в зависимости от температуры, т. е. в состоянии тумана.

На некоторых диаграммах  $Id$  наносят шкалу парциального давления водяного пара, по которой определяют значение парциального давления по заданному влагосодержанию воздуха. Связь влагосодержания  $d$  и парциального давления  $p_n$  определяется уравнением (11).

По диаграмме  $Id$  можно определить температуру точки росы и температуру воздуха по мокрому термометру. Температуру  $t_p$  находят в месте пересечения прямой  $d = \text{const}$ , проходящей через точку состояния воздуха, с пограничной кривой  $\varphi = 100\%$ . Изотер-



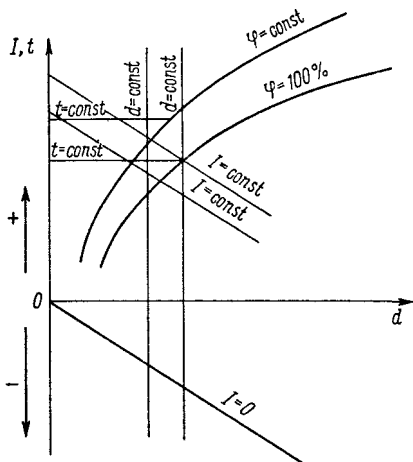
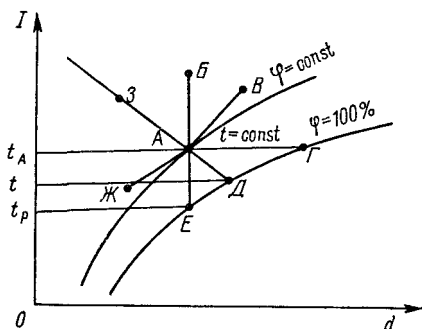


Рис 1 Схема диаграммы  $Id$

Рис 2 Характерные процессы изменения состояния воздуха на диаграмме



ма полученной точки определяет температуру  $t_p$ . Температуру по мокрому термометру  $t_m$  точки состояния ненасыщенного воздуха находят в месте пересечения линии постоянной энтальпии, проходящей через данную точку, с кривой насыщения ( $\varphi = 100\%$ ). Изотерма, проходящая через точку пересечения линии  $I = \text{const}$  с кривой  $\varphi = \text{const}$ , характеризует температуру по мокрому термометру.

С помощью этой диаграммы можно определить по двум любым заданным параметрам влажного воздуха  $I, d; t, d; t, \varphi$  и  $t, I$  все остальные параметры, указанные на диаграмме.

При обработке воздуха в СКВ происходят различные процессы изменения его состояния. Любой процесс обработки воздуха представляет собой в диаграмме  $Id$  прямую линию, соединяющую точку начальных параметров состояния воздуха с точкой, соответствующей его конечным параметрам.

На рис. 2 показаны наиболее характерные процессы изменения состояния влажного воздуха. Линии  $AB$  и  $AE$  — процессы нагревания и охлаждения воздуха при  $d = \text{const}$ . Температура воздуха состояния в точке  $E$  является температурой точки росы  $t_p$ . Процесс  $AD$  характеризует изменение состояния воздуха при адиабатическом увлажнении его водой, которое практически происходит при  $I = \text{const}$ . Температура воздуха в точке  $D$  есть температура по мокрому термометру  $t_m$ .

При осушении воздуха адсорбентами его состояние изменяется по линии  $AZ$  при  $I = \text{const}$ . Процесс увлажнения воздуха паром (линия  $AG$ ) практически совпадает с изотермой  $t = \text{const}$ . В процессах  $AB$  и  $AЖ$  изменяются все параметры состояния воздуха. Воздух в процессе его обработки по линии  $AB$  увлажняется и нагревается, а по линии  $AЖ$  охлаждается и осушается.

На практике нередко производится смешение различных количеств воздуха с различными параметрами состояния. Параметры



На полях диаграммы  $Id$  (см. Приложение) нанесен угловой масштаб, лучи которого соответствуют направлениям процессов изменения состояния воздуха с начальными параметрами  $t=0$ ,  $d=0$ ,  $l=0$  и определенным значениям отношения  $\Delta l/\Delta d$ . Отношение  $\Delta l/\Delta d$  определяет угол наклона луча процесса и называется угловым масштабом  $\epsilon$ , или характеристикой тепловлажностного процесса:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{\Delta d} = \frac{l_2 - l_1}{d_2 - d_1}, \quad (18)$$

где  $l_1$ ,  $d_1$  и  $l_2$ ,  $d_2$  — энтальпия и влагосодержание воздуха соответственно в начальном и конечном состояниях.

При обработке воздуха в СКВ процессы могут иметь различные угловые масштабы, изображаемые на диаграмме  $Id$  лучами со значениями  $\epsilon$  от  $+\infty$  до  $-\infty$ . Процессы изменения состояния воздуха, имеющие равные значения  $\epsilon$ , проходят параллельно указанному на диаграмме лучу.

Зная характеристику тепловлажностного процесса обработки воздуха, т. е. угловой масштаб  $\epsilon$ , и начальное состояние воздуха, можно по одному из конечных параметров найти все остальные параметры, которые определяются в точке пересечения направления луча процесса с линией известного параметра.

### 1.1.3. Методы определения параметров состояния влажного воздуха

Для нахождения любого из параметров влажного воздуха достаточно знать, как указывалось ранее, только два параметра его состояния. Наиболее доступным для измерения параметром является температура воздуха. Другим параметром, характеризующим состояние воздуха, обычно выбирают относительную влажность  $\phi$  или температуру точки росы  $t_p$ .

В зависимости от выбранных параметров и способов их замера различают следующие методы определения параметров влажного воздуха: психрометрический, гигроскопический, массовый и метод точки росы.

**Психрометрический метод.** Названный метод основан на измерении относительной влажности воздуха с помощью психрометров.

Психрометр Августа (рис. 5) состоит из двух термометров: сухого и мокрого. Сухой термометр показывает температуру окружающего воздуха. Термочувствительный патрон второго термометра обернут гигроскопической тканью, конец которой опущен в сосуд с водой. Этот термометр показывает температуру воды, находящейся в порах ткани. Вследствие испарения влаги с ткани ее температура понижается. В установившемся состоянии процесса испаряющаяся вода в ткани примет определенную температуру, называемую температурой по мокрому термометру  $t_m$ .

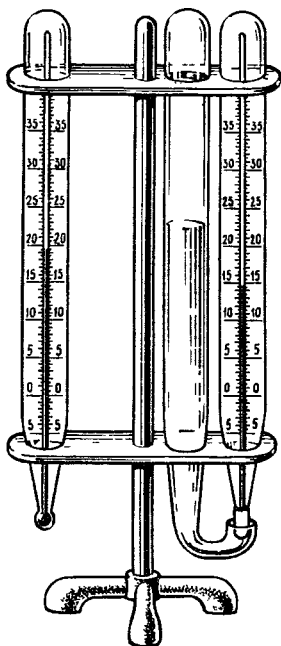


Рис 5 Психрометр Августа

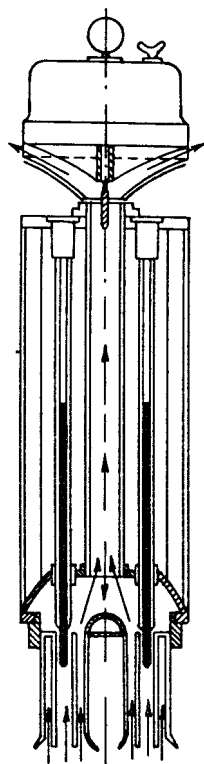


Рис 6 Аспирационный психрометр

В этом процессе количество теплоты, израсходованной на испарение влаги, равно количеству теплоты, переданной от воздуха к воде вследствие непосредственного теплообмена. Такой процесс, при отсутствии притока теплоты извне, проходит по  $l = \text{const}$  и называется адиабатическим насыщением воздуха.

Температура испаряющейся воды будет зависеть от относительной влажности воздуха  $\varphi$ : чем ниже значение  $\varphi$ , тем интенсивнее процесс испарения влаги и тем ниже будет температура по мокрому термометру

Разность показаний сухого  $t_c$  и мокрого  $t_m$  термометров называют *психрометрической разностью*. Если  $t_m = t_c$ , относительная влажность воздуха равна 100%. Зная психрометрическую разность и температуру воздуха, можно с помощью диаграммы  $ld$  определить относительную влажность  $\varphi$  и другие параметры воздуха

Психрометр Августа в условиях малоподвижного воздуха, а также из-за отсутствия защиты прибора от тепловых излучений окружающих предметов имеет малую точность измерений. Более точным прибором для определения влажности воздуха является аспирационный психрометр Ассмана (рис. 6)

Таблица 3 Психрометрическая таблица для определения относительной влажности

$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_c - t_m$																									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
-16	100																									
-15	100	57																								
-14	100	60	21																							
-13	100	62	26																							
-12	100	65	30																							
-11	100	67	34	2																						
-10	100	69	38	8																						
-9	100	71	42	14																						
-8	100	73	45	19																						
-7	100	74	49	24																						
-6	100	75	52	28																						
-5	100	77	54	32	5																					
-4	100	78	57	36	15																					
-3	100	79	59	39	19																					
-2	100	80	61	42	23	5																				
-1	100	81	63	45	27	10																				
0	100	82	64	47	31	14																				
1	100	83	66	50	34	18	3																			
2	100	84	68	52	37	22	8																			
3	100	84	69	54	40	25	12																			
4	100	85	70	56	42	29	16																			
5	100	86	72	58	45	32	19	3																		
6	100	86	73	60	47	35	23	7																		
7	100	87	75	61	49	37	26	11																		
8	100	87	75	62	51	40	29	14	3																	
9	100	88	76	64	53	42	31	18	7																	
10	100	88	77	65	55	44	34	21	11	1																
11	100	88	77	65	55	44	34	24	14	5																
12	100	89	78	66	56	46	36	26	17	8																
13	100	89	78	66	57	48	38	29	20	11	3															
		89	79	69	59	49	40	31	23	14	6															

$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_c - t_m$																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9	2													
15	100	90	80	71	61	53	44	35	27	20	12	5	1												
16	100	90	81	72	63	54	46	37	30	22	15	8	4												
17	100	90	81	72	63	55	47	41	34	27	20	13	6												
18	100	91	82	73	65	56	49	43	36	29	22	15	9	3											
19	100	91	82	74	65	58	50	44	37	31	24	18	12	6											
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	31	24	18	12	6	3										
21	100	91	83	75	67	60	52	45	39	32	26	20	14	8	5										
22	100	92	83	75	68	61	54	47	40	34	28	22	16	11	8										
23	100	92	84	76	69	62	55	48	42	36	30	24	18	13	8	3									
24	100	92	84	77	70	62	56	49	43	37	31	26	20	15	10	5									
25	100	92	85	77	70	63	57	51	44	39	33	27	22	17	12	7	3								
26	100	92	85	78	71	64	58	51	45	40	34	29	24	19	14	9	5								
27	100	93	85	78	71	65	59	53	47	41	36	31	25	21	16	11	7	3							
28	100	93	86	79	72	66	60	54	48	42	37	32	27	22	18	13	9	5	1						
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33	28	24	19	15	11	7	3						
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34	30	25	21	17	13	9	5	1					
31	100	93	86	80	73	67	61	56	51	45	41	36	31	27	22	18	14	10	7	3					
32	100	93	87	80	74	68	62	57	52	46	42	37	32	28	24	20	16	12	8	5	1				
33	100	93	87	80	74	69	63	58	52	47	43	38	34	29	25	21	17	14	10	7	3				
34	100	93	87	81	75	69	63	58	53	48	44	40	36	32	28	24	20	17	15	10	7	4			
35	100	93	87	81	75	70	64	59	54	49	44	40	36	32	28	24	20	17	15	10	7	4			
36	100	93	87	81	76	70	65	59	55	50	45	41	37	33	29	25	21	18	15	11	8	5	2		
37	100	94	87	82	76	71	66	60	55	51	46	42	38	34	30	26	22	19	16	11	8	5	2		
38	100	94	88	82	76	71	66	61	56	51	47	43	39	34	31	27	23	20	17	14	11	8	5	3	
39	100	94	88	82	77	71	66	61	57	52	48	44	40	36	32	28	25	21	18	15	12	10	7	4	
40	100	94	88	83	77	72	67	62	57	53	49	44	40	37	33	29	26	23	20	16	14	11	8	5	3

В этом приборе оба наконечника термометров заключены в полированные трубки для защиты термометров от тепловых излучений. Через трубки специальным вентилятором с заводным механизмом прогоняется воздух со скоростью 2,5—3,0 м/с. Погрешность показаний мокрого термометра психрометра Ассмана составляет  $\pm 1$ —2 %.

Относительную влажность  $\varphi$  по показаниям  $t_c$  и  $t_m$  психрометра Ассмана можно определить с помощью табл. 3. Например, если температура по сухому термометру составляет 25 °С, а разность между температурами по сухому и мокрому термометрам — 4 °С, то относительная влажность воздуха будет равна 70 %.

**Гигроскопический метод.** Этот метод основан на измерении относительной влажности воздуха с помощью гигрометров. Чувствительными элементами этих приборов являются гигроскопические материалы, обладающие свойством при изменении влажности воздуха изменять либо свою длину (обезжиренный человеческий волос, капроновая нить и др.), либо электропроводимость (Li Cl); На шкале гигрометра нанесены значения относительной влажности  $\varphi$ .

**Массовый метод.** Метод основан на точном замере массы влаги, находящейся в воздухе. Исследуемый воздух, объем которого контролируется специальным счетчиком, прогоняется через трубки, заполненные поглотителями влаги (хлористым кальцием, фосфорным ангидридом и др.). Разность масс трубок с адсорбентом до и после пропускания воздуха показывает количество поглощенной влаги из воздуха. Разделив массу поглощенной влаги на объем пропущенного воздуха, получим плотность  $\rho_n$ , т. е. абсолютную влажность воздуха. Зная температуру воздуха  $t_v$ , по табл. 2 определяют плотность его в состоянии насыщения  $\rho_n$  и относительную влажность из соотношения  $\varphi = \rho_n / \rho_n$ . По температуре воздуха и его  $\varphi$  находят все остальные параметры состояния воздуха.

**Метод точки росы.** Названный метод применяется при определении состояния воздуха по его температуре и точке росы  $t_p$ .

Температуру точки росы воздуха определяют с помощью гигрометров. Принцип работы таких приборов следующий. Чувствительный элемент гигрометра — его зеркальная поверхность — находится в исследуемом воздухе и охлаждается при помощи полупроводников или легкокипящей жидкости (эфир, хладон-11 и др.). Как только температура чувствительного элемента достигает точки росы, его зеркальная поверхность затуманивается сконденсированной из воздуха влагой. Температура начала конденсации влаги, или температура точки росы воздуха, фиксируется термометром. Начало затуманивания зеркальной поверхности регистрируется с помощью фотоэлемента или визуально. Зная  $t_p$  воздуха и его температуру  $t_v$ , с помощью диаграммы  $Id$  можно найти состояние исследуемого воздуха. Если из точки пересечения

$t_p$  с линией  $\varphi = 100\%$  провести прямую  $d = \text{const}$  до пересечения ее с изотермой, равной температуре воздуха  $t_b$ , то данная точка будет характеризовать состояние исследуемого воздуха.

## 1.2. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

### 1.2.1. Классификация

По принципу действия судовая вентиляция разделяется на естественную и искусственную.

При *естественной* вентиляции воздухообмен осуществляется двумя путями:

перемещением воздуха вследствие разности плотностей холодного и теплого воздуха;

использованием ветрового напора наружного воздуха, интенсивность которого определяется векторной суммой скоростей ветра и судна.

В первом случае вентиляция происходит до тех пор, пока имеется разность температур между наружным воздухом и воздухом в помещении. Смена воздуха в помещении в данном случае осуществляется через иллюминаторы, двери, световые люки.

При использовании ветрового напора применяют специальную вентиляционную арматуру: дефлекторы или эжекционные головки.

*Искусственная*, или принудительная, вентиляция осуществляется при помощи электровентиляторов и обеспечивает более интенсивный обмен воздуха в помещении по сравнению с естественной вентиляцией.

Вентиляция, при которой воздухообмен осуществляется одновременно естественным и искусственным способами, называется *смешанной*.

По способу организации воздухообмена как естественная, так и искусственная вентиляция может быть приточной, вытяжной и комбинированной.

При использовании *приточной* вентиляции воздухообмен происходит за счет создания в помещении избыточного давления при подаче в него наружного воздуха, в результате чего отработанный воздух вытесняется наружу.

При работе *вытяжной* вентиляции отработанный воздух отсасывается из помещения, а наружный — вследствие разницы давлений поступает через вентиляционную арматуру, двери и другие неплотности.

*Комбинированная* вентиляция включает в себя приточную и вытяжную вентиляцию, благодаря чему обеспечивается интенсивный воздухообмен.

Помещения, в которых воздух значительно загрязнен и где могут быть неприятные запахи (камбузы, галюны, прачечные, медпункты и др.), оборудуют вытяжной принудительной вентиля-



цией; тем самым предотвращается распространение загрязнений и запахов по судну.

В жилых и служебных помещениях обычно применяют приточную вентиляцию, которая предотвращает проникновение в помещение загрязненного воздуха из коридоров.

Машинное и рефрижераторное отделения, шахты рыбопоисковых приборов, мастерские, радиоагрегатные и другие подобные помещения оборудуют комбинированной вентиляцией.

В зависимости от назначения помещений естественная и искусственная вентиляция выполняется по автономному или групповому принципу. *Автономный принцип* применяют при устройстве вентиляции машинных отделений (МО), грузовых трюмов, рефрижераторных машинных отделений (РМО), аккумуляторных и т. п.

Общесудовую вентиляцию, обслуживающую жилые, служебные, бытовые и медицинские помещения, выполняют по *групповому принципу*.

На современных судах естественная вентиляция имеет ограниченное применение, в основном ее устраивают в помещениях, в которых отсутствуют тепловыделения. Достоинствами естественной вентиляции являются простота устройства и отсутствие потребности в механической энергии при значительном воздухообмене, создаваемом естественным путем. Ее недостатки следующие:

нестабильность работы в связи с зависимостью от метеорологических условий;

малые напоры воздуха и вследствие этого резкие температурные и скоростные перепады в вентилируемом помещении; громоздкость устройства.

Наибольшее распространение на судах получила система искусственной вентиляции.

### **1.2.2. Общие требования Регистра СССР к судовой системе вентиляции и вентиляторам**

Основными элементами системы вентиляции являются вентиляторы и вентиляционные каналы. В соответствии с требованиями Регистра СССР прокладка вентиляционных каналов через водонепроницаемые переборки ниже палубы переборок (главная палуба) не допускается. Шахты и вентиляционные каналы размещают в пределах одного водонепроницаемого отсека. При прокладке каналов через водонепроницаемые палубы ниже главной палубы их делают водонепроницаемыми и равнопрочными с конструкциями корпуса судна.

В целях пожарной безопасности судно разделяют на противопожарные зоны, включающие судовые отсеки, помещения и междупалубные пространства, огражденные огнестойкими конструкциями. Системы вентиляции, как правило, размещаются в преде-

лах противопожарных зон. Если система вентиляции обслуживает две зоны и более, то в месте прохождения воздухопроводов через огнестойкие переборки на переборки ставят стальные заслонки с местными приводами, действующими с обеих сторон переборки. Места установки заслонок окрашивают в красный цвет. При устройстве заслонки на расстоянии от переборки участок воздухопровода от заслонки до переборки выполняют стальным и покрывают противопожарной изоляцией, равноценной изоляции переборки.

Вентиляционные головки и приемные отверстия приточной вентиляции располагают в таких местах на судне, где загрязненность воздуха наименьшая и где исключено попадание забортной воды в вентиляционные каналы.

Вентиляцию машинных отделений рассчитывают на работу в штормовых условиях. Система вентиляции должна обеспечивать удаление воздуха из нижней зоны помещения, где возможно скопление газов, которые тяжелее воздуха.

Отделение рефрижераторных машин оборудуют основной и аварийной системами вентиляции. Аварийная вентиляция обеспечивает 40-кратный обмен воздуха в час в помещениях аммиачных холодильных машин и 20-кратный обмен в обособленных помещениях хладоновых холодильных машин. При расположении последних в помещении главных механизмов системой вентиляции предусматривается удаление воздуха из самых низких мест в районе холодильных машин. Электродвигатели вытяжных вентиляторов аварийной вентиляции в помещениях для холодильных машин, работающих на аммиаке, выполняются взрывозащищенными.

Система вентиляции грузовых охлаждаемых помещений обеспечивает приток в него чистого наружного воздуха. Предусмотрена возможность охлаждения или нагрева воздуха. При расположении в трюмах воздухоохладителей с непосредственным испарением аммиака устраивается независимая система вентиляции для этих трюмов.

Аккумуляторные помещения оборудуют автономной системой с удалением воздуха из верхней зоны помещения и подачей приточного воздуха в нижнюю его зону. У подволока в корпусной конструкции делают отверстия, чтобы не было застойных зон. Отверстия вытяжных вентиляционных каналов выводят в безопасные в пожарном отношении места. Внутренние поверхности вытяжных каналов защищают от действия электролита.

Роторы вентиляторов совместно с соединительными муфтами подвергают динамической балансировке. Всасывающие патрубки вентиляторов защищают от попадания в них посторонних тел.

Конструкция вентиляторов, предназначенных для вентиляции аккумуляторных помещений, должна исключать возможность искрообразования. Электродвигатели вентиляторов располагают за пределами потока вытяжных газов.

### 1.2.3. Расчет количества воздуха, необходимого для вентиляции

Количество воздуха, которое необходимо подавать в вентилируемое помещение, зависит от назначения последнего. Для бытовых, а также служебных помещений минимальное количество наружного воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, определяют из условия ассимиляции избытков углекислого газа и доведения его концентрации до предельно допустимой. Расчет производится по формуле

$$L = \frac{M}{\xi_2 - \xi_1}, \quad (19)$$

где  $M$  — количество CO<sub>2</sub>, выделяемого находящимися в помещении людьми, л/ч;  $\xi_1$  — концентрация CO<sub>2</sub> в наружном воздухе, л/м<sup>3</sup>;  $\xi_2$  — предельно допустимая концентрация CO<sub>2</sub> в помещении, л/м<sup>3</sup>.

Необходимое количество наружного воздуха  $l$ , м<sup>3</sup>/ч, на одного человека составляет

$$l = \frac{M}{n(\xi_2 - \xi_1)},$$

где  $n$  — число людей, находящихся в помещении.

Если количество углекислоты, выделяемой одним человеком в спокойном состоянии, равно 23 л/ч, а предельно допустимая концентрация углекислоты в жилых и служебных помещениях при продолжительном пребывании в них людей  $\xi_2 = 1$  л/м<sup>3</sup> и концентрация ее в свежем воздухе  $\xi_1 = 0,3$  л/м<sup>3</sup>, то  $l = 23/(1 - 0,3) \approx \approx 33$  м<sup>3</sup>/ч.

Общее количество воздуха, необходимого для вентиляции помещения, определяется из условия удаления теплопритоков. Оно может быть либо равно, либо больше минимального, определенного по формуле (19).

Расчет требуемого наружного воздуха  $L_0$ , м<sup>3</sup>/с, производится по формуле

$$L_0 = \frac{Q_a}{c_p(t_2 - t_1)}, \quad (20)$$

где  $Q_a$  — суммарная теплота, поступающая в помещение в единицу времени, кВт;  $c$  — теплоемкость воздуха, равная 1,0 кДж/(кг·°С);  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $t_1$  — средняя температура воздуха, подаваемого в помещение, °С;  $t_2$  — температура воздуха в обслуживаемой зоне помещения, °С.

В формуле (20)  $Q_a$  представляет собой количество теплоты, выделяемой людьми, машинами, механизмами, аппаратами, электроприводами, освещением, находящимися в помещении, а также теплопритоки через ограждения и за счет инфильтрации в единицу времени.

В расчетах необходимое количество вентилируемого воздуха определяется в зависимости от объема помещения и кратности воздухообмена. Под *кратностью воздухообмена*  $a$  понимают количество обменов воздуха в помещении в час.

В табл. 4 приведены значения  $a$  для различных судовых помещений.

**Таблица 4. Кратность воздухообмена в помещениях, обслуживаемых общесудовой вентиляцией**

Помещение	Расчетное количество воздуха		Вытяжка, обм /ч
	общее	минимальное на 1 чел, м <sup>3</sup> /ч	
Жилые каюты в надстройках и рубках	По расчету на ассимиляцию избыточных тепловыделений	33	По балансу с притоком
Кают компании, столовые команды	То же	20	То же
Камбузы и хлебопечкарни	» »	50	На 5 больше притока
Стационары и изоляторы	» »	33	На 1—2 больше притока
Радиорубки, штурманские помещения и рулевые рубки	» »	33	По балансу с притоком
Аккумуляторные	В соответствии с Правилами Регистра СССР	—	—
Помещения аммиачных холодильных машин	20 обм /ч	—	30 и 40 для вентиляции
Помещения хладоновых холодильных машин	По балансу с вытяжкой	—	20
Провизионные кладовые	—	—	2—4 обм./сут

Кратность воздухообмена для мороженой рыбы при искусственной вытяжной вентиляции составляет 1 обм./сут., а при расположении в трюмах воздухоохладителей — 2—4 обм./ч. Зная  $a$  и объем вентилируемого помещения  $V_{п}$ , количество воздуха определяют по формуле  $L_0 = V_{п}a$ .

#### **1.2.4. Конструкция элементов систем вентиляции**

Подача и удаление воздуха при естественной вентиляции осуществляются через поворотные дефлекторы или эжекционные головки (рис. 7), которые устанавливаются на верхней палубе и надстройках, в местах, защищенных от попадания воды во время шторма.

*Дефлекторы* (рис. 7, а) работают под воздействием ветрового напора, создавая статическое давление или разрежение.

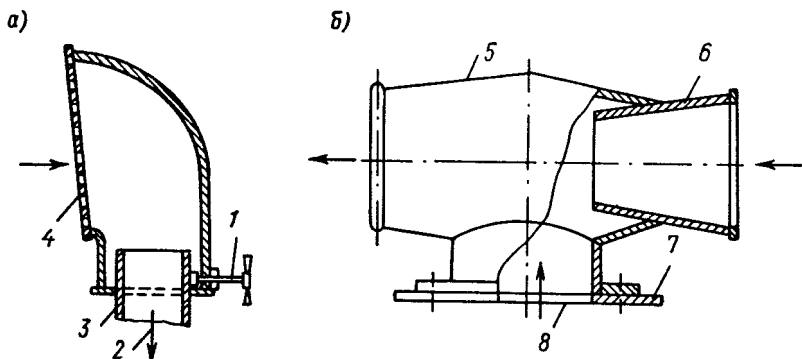


Рис. 7. Вентиляционная концевая арматура: а — дефлектор; б — эжекционная головка:  
 1 — стопор, 2 — вход наружного воздуха, 3 — воздуховод; 4 — металлическая сетка, 5 — большой конус, 6 — малый конус, 7 — палуба, 8 — выход воздуха из помещения

Если дефлектор повернут отверстием навстречу потоку воздуха, то свежий воздух нагнетается в помещение, если в сторону движения ветра — воздух из помещения вытягивается.

Более эффективное удаление воздуха из помещения осуществляется при помощи эжекционных головок. Эжекционная головка (рис. 7, б) состоит из двух конусов: малого и большого. Малый конус головки устанавливается навстречу потоку наружного воздуха. Воздух, выходя из малого конуса с большой скоростью, создает над вертикальной трубой разрежение, в результате чего воздух из помещения отсасывается и выходит через большой конус в атмосферу.

Эффективность естественной вентиляции зависит от положения дефлектора или головки по отношению к направлению ветра. Поэтому конструкцией дефлектора или головки обычно предусматривается возможность их поворота в зависимости от изменения направления ветра.

Система искусственной вентиляции оборудуется вентиляторами, концевой вентиляционной арматурой и фильтрами.

Для обслуживания систем вентиляции и кондиционирования воздуха на судах применяются центробежные электровентиляторы серии ЦС и ЦСУ с диапазоном подач 240—40 000 м<sup>3</sup>/ч при полных давлениях 520—4600 Па и осевые — серии ЭВО и ОСО с подачей 890—40 000 м<sup>3</sup>/ч и полным давлением 123—1020 Па.

Центробежные вентиляторы различают по следующим признакам:

величине полного давления — низкого давления (до 1078 Па), среднего (от 1078 до 2400 Па) и высокого (более 2400 Па);  
 направлению вращения рабочего колеса — правого и левого вращения;

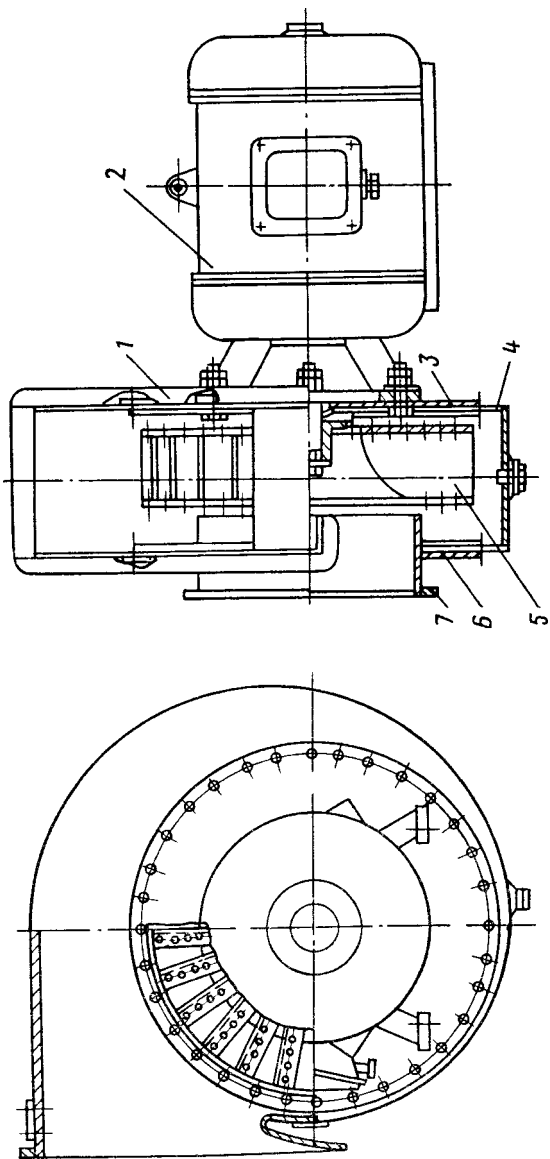


Рис 8 Центробежный электровентилятор серии ЦСУ

расположению нагнетательного патрубка — под углом 0, 90, 180 и 270°;

степени защищенности электродвигателя — брызгозащищенные и водозащищенные.

Общим для всех судовых центробежных вентиляторов является непосредственное соединение рабочего колеса и вала электродвигателя, что упрощает конструкцию и повышает ее надежность.

Центробежный вентилятор типа ЦСУ (рис. 8) состоит из рабочего колеса 5, насаженного на вал электродвигателя 2, кожуха 4, соединенного при помощи диска 3 с фланцем электродвигателя, и приемного патрубка с фланцем 7. Рабочее колесо представляет собой клепаную конструкцию с плоскими радиально расположенными лопатками. Стальная ступица рабочего колеса посажена с натягом на вал и закреплена на нем болтом со стопорной шайбой. Улиткообразный кожух сварной конструкции оканчивается прямоугольным нагнетательным патрубком с фланцем 1. Диск 6 с приемным патрубком и диск 3 соединены со щеками кожуха болтами. Диски имеют одинаковый наружный диаметр и могут быть взаимно переставлены для работы при правом и левом вращении вала электродвигателя. Болтовое соединение дисков со щеками кожуха позволяет устанавливать нагнетательный патрубок в восьми положениях, изменяя при каждой установке угол его наклона на 45°. Между дисками и кожухом, а также между диском 3 и фланцем электродвигателя поставлены резиновые прокладки.

В табл. 5 приведены технические характеристики электро-вентиляторов переменного тока типа ЦСУ для модификаций ЦСУ-14, ЦСУ-24, ЦСУ-44А, ЦСУ-44Б и ЦСУ-44В.

Таблица 5. Характеристики вентиляторов типа ЦСУ

Марка	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Полное давление, Па	Частота вращения, с <sup>-1</sup>	Потребляемая мощность, кВт
ЦСУ 2,5/6,3	240	520	47,0	0,25
ЦСУ 6,3/6,3	590	480	47,0	0,25
ЦСУ 16/6,3	1470	640	23,0	0,70
ЦСУ 6,3/10	590	745	47,0	0,25
ЦСУ 16/10	1520	1137	47,5	1,0
ЦСУ 25/10	2380	1147	24,0	2,2
ЦСУ 40/10	3810	980	24,0	2,2
ЦСУ 4/16	365	1470	47,5	0,45
ЦСУ 6,3/16	590	1323	47,0	0,7
ЦСУ 10/16	950	1343	47,5	1,0
ЦСУ 16/16	1520	1725	47,5	2,2
ЦСУ 40/16	3830	1568	48,0	3,0
ЦСУ 63/16	6100	1900	48,5	7,5
ЦСУ 100/16	10000	1420	25,0	7,5
ЦСУ 400/16	40000	1813	17,0	40,0
ЦСУ 2,5/25	240	2332	47,5	0,45

Марка	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Полное давление, Па	Частота вращения, с <sup>-1</sup>	Потребляемая мощность, кВт
ЦСУ 16/25	1530	1862	48,0	3,0
ЦСУ 25/25	2400	2176	48,0	3,0
ЦСУ 40/25	3860	2597	48,5	5,5
ЦСУ 100/25	10000	2744	50,0	13,0
ЦСУ 4/40	380	3567	47,5	1,0
ЦСУ 6,3/40	610	3763	48,0	3,0
ЦСУ 10/40	960	3156	48,0	3,0
ЦСУ 40/40	4000	3850	50,0	10,0
ЦСУ 63/40	6300	4606	50,0	17,0
ЦСУ 160/40	16000	4018	50,0	30,0

Коэффициент полезного действия центробежных электровентиляторов типа ЦСУ находится в пределах 0,55—0,78. Зависимость подачи вентилятора типа ЦСУ от полного давления, развиваемого вентилятором, приведена в работе [11].

*Осевые вентиляторы* судового исполнения типов ЭВО и ОСО применяются, как правило, для обслуживания воздушных теплообменных аппаратов.

В системе кондиционирования воздуха осевые вентиляторы не нашли широкого применения, так как они создают малый напор и небольшую осевую скорость потока. Коэффициент полезного действия электровентиляторов этой серии составляет 0,55—0,78. Они изготавливаются одноступенчатыми правого вращения с непосредственной посадкой рабочего колеса на вал электродвигателя в водозащищенном исполнении. Направление потока воздуха — от рабочего колеса на электродвигатель. Вентиляторы могут работать в диапазоне температур от —40 до +40 °С, а также в штормовых условиях при установке их на судне в произвольном положении. Привод вентиляторов осуществляется от электродвигателей переменного тока (220—380 В) частотой 50 Гц. Рабочее колесо и кожух изготавливаются из алюминивно-магниевого сплава типа АМг. Размеры фланцев кожуха вентилятора нормализованы.

Для приема и удаления воздуха из вентилируемых помещений применяется водогазонепроницаемая концевая арматура. К ней относятся: головки грибовидные (рис. 9), крышки водогазонепроницаемые круглые и прямоугольные (рис. 10), заслонки водогазонепроницаемые круглые (рис. 11) и прямоугольные.

Подача воздуха в помещение производится через воздухо-распределители с поворотными жалюзи, позволяющими регулировать расход и направление воздуха. Их устанавливают на подволоке. Воздух из жилых и служебных помещений удаляется через решетки в дверях или стенках. Для очистки подаваемого



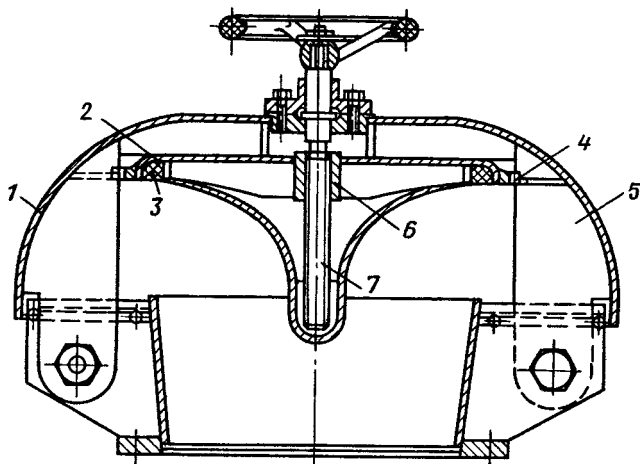


Рис 9 Грибовидная головка

1 — крышка, 2 — тарелка, 3 — уплотнительное кольцо, 4 — направляющая тарелки, 5 — ребро, 6 — втулка, 7 — шпindelь

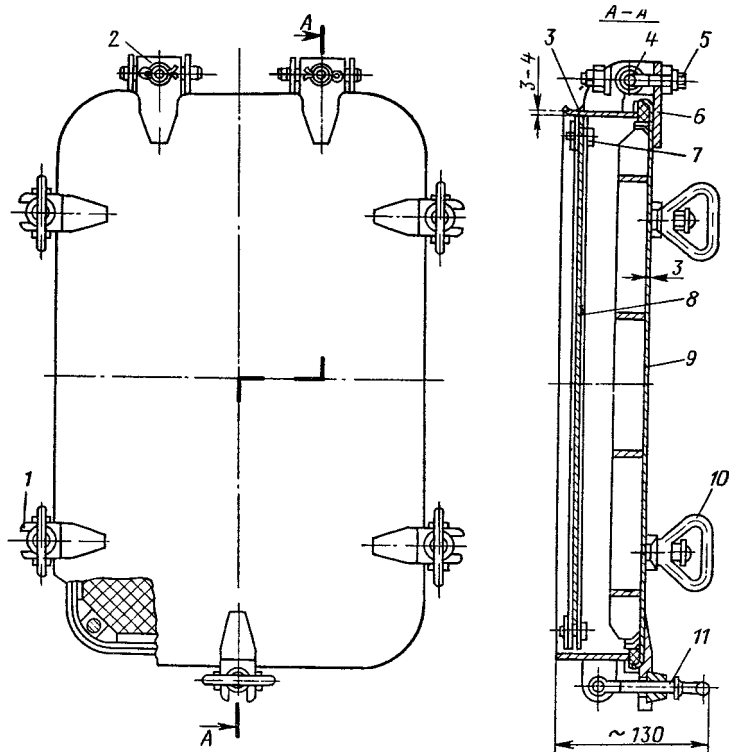


Рис 10 Крышка водогазонепроницаемая.

1 — задрайка, 2 — петля, 3 — корпус, 4 — ось; 5, 11 — откидные болты, 6 — уплотнение, 7 — винты, 8 — сетка, 9 — крышка, 10 — барашек

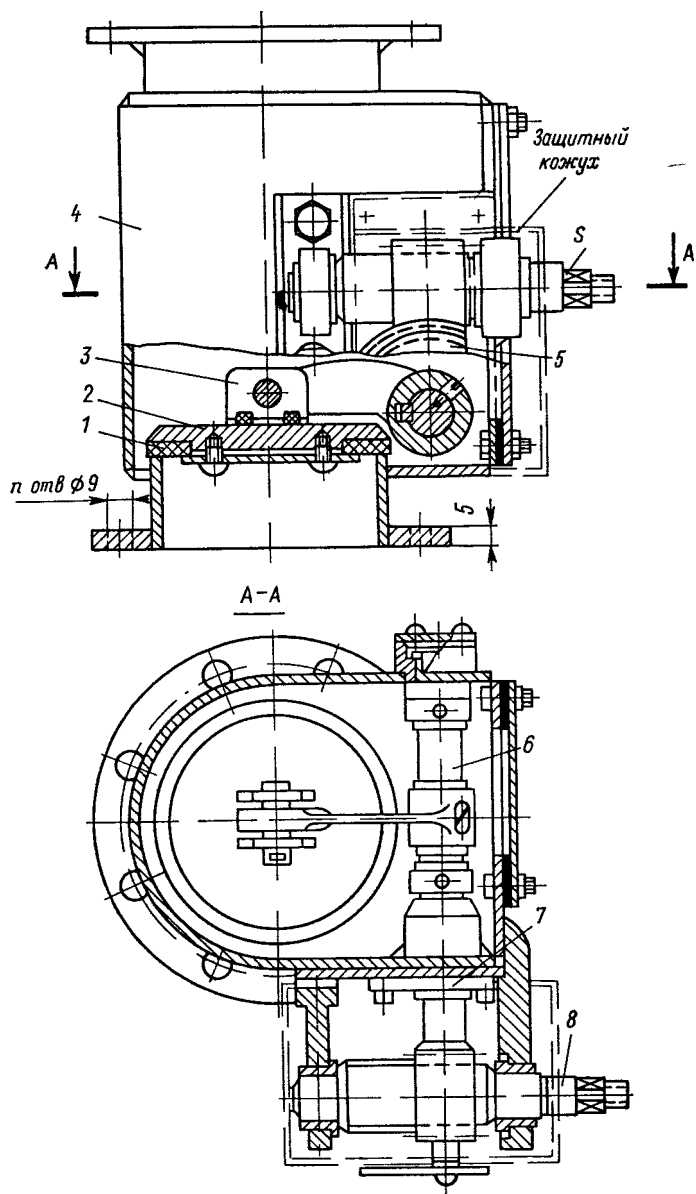


Рис 11 Заслонка водогазонепроницаемая круглая.  
 1 — уплотнение, 2 — крышка, 3 — прижимной рычаг, 4 — корпус;  
 5 — сектор, 6 — ось, 7 — сальник, 8 — червяк

в помещения воздуха от пыли в воздухопроводах ставят противопыльные фильтры

*Воздухопроводы*, или вентиляционные каналы, служат для перемещения воздуха в системах вентиляции. На судах получили распространение трубы прямоугольного и круглого сечений, выполненные из тонколистовой оцинкованной стали или сплава АМг толщиной 1—3 мм, изготавливаемые заводами по нормам, принятым в судостроении. Стальные воздухопроводы фосфатируют грунтом и окрашивают эмалью. Применяются также пластмассовые трубы. Как правило, воздухопроводы прокладывают по подволоку помещений.

### 1.2.5. Принципиальные схемы систем вентиляции

Схемы судовых систем вентиляции различаются в зависимости от назначения помещения. В качестве примера рассмотрим некоторые схемы вентиляции помещений среднего рыболовного морозильного траулера (СРТМ). Система вентиляции судна включает в себя: вентиляторы для подачи и удаления воздуха; нагреватель воздуха для машинного отделения; охладители воздуха для рулевой рубки и камбуза; концевую и запорную арматуру, воздухопроводы

Система оборудована: электровентиляторами серии ЦС и ЦСУ с полным напором каждого до 2000 Па, нагревателем воздуха НВПМ-7,8 с поверхностью нагрева 7,8 м<sup>2</sup>, пропускной способностью 7500 м<sup>3</sup>/ч воздуха при нагревании его от —25 до +15 °С, охладителями воздуха ОВЦ-4 холодопроизводительностью 6400 Вт, пропускной способностью 500 м<sup>3</sup>/ч воздуха при охлаждении его от 32 до 18 °С.

Воздухопроводы вентиляции прямоугольного и круглого сечений  $D_y$  80—350 мм выполнены из тонколистовой стали толщиной 1,6 мм. Комингсы воздухопроводов изготовлены из толстолистовой стали и алюминиево-магниевого сплава АМг. В служебных помещениях для естественной вентиляции предусмотрены поддоны со спускными пробками. С целью уменьшения вибрации корпуса и воздухопроводов электровентиляторы установлены на амортизаторах типа АКСС и соединены с вентиляционными каналами при помощи резиновых патрубков. В системе предусмотрено централизованное отключение вентиляторов, осуществляемое на щите управления в рулевой рубке.

На рис. 12 представлена схема системы вентиляции машинного отделения СРТМ, которая является смешанной (искусственная — комбинированная и естественная — вытяжная).

Искусственная приточная вентиляция осуществляется двумя электровентиляторами 13 и 17 марки 80ЦС-17 и одним вентилятором 11 марки 40ЦС-17. В маркировке вентиляторов серии ЦС первая цифра обозначает подачу по воздуху в сотнях

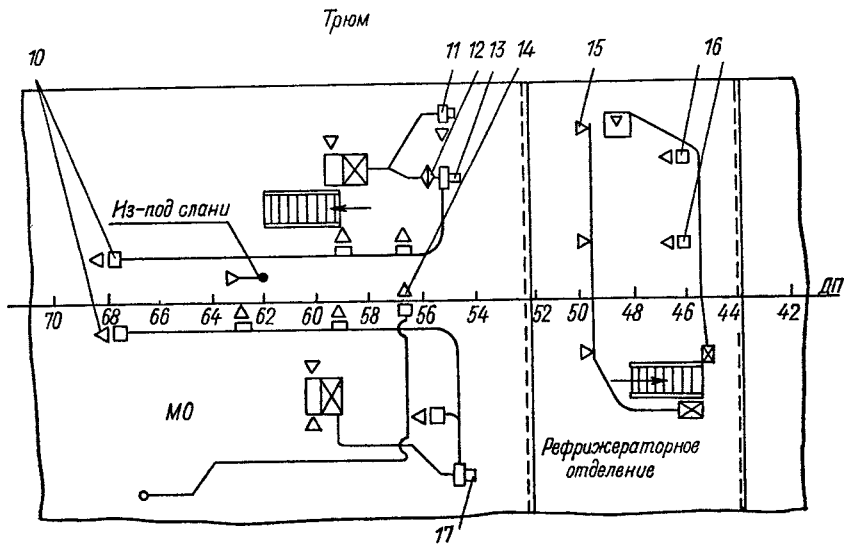
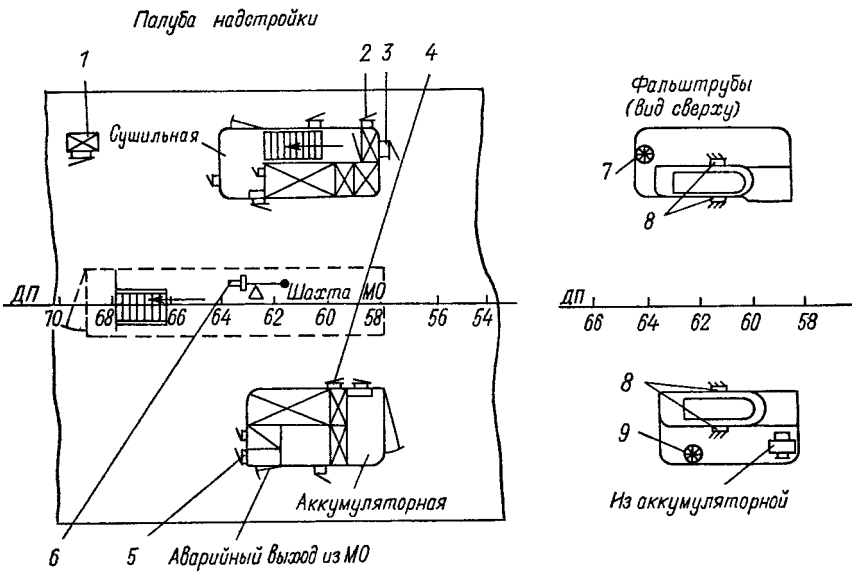


Рис 12. Схема вентиляции машинного отделения СРТМ

кубических метров в час, а вторая — полный напор в сотнях паскалей (например, электровентилятор 80ЦС-17 имеет подачу 8000 м<sup>3</sup>/ч и напор 1700 Па).

Вентилятор 17 правого борта забирает наружный воздух через вентиляционную крышку 4, расположенную на боковой стенке кормового капа правого борта. Затем воздух по коробам правого борта, выполненным в составе корпуса, и воздухопроводам поступает в воздухораспределители 10 с поворотными жалюзи, позволяющими регулировать его направление. Вентиляторы 11 и 13 левого борта забирают наружный воздух через вентиляционные крышки 2 и 3, находящиеся на передней и боковой стенках кормового капа левого борта. Вентилятором 13 воздух по коробам левого борта и воздухопроводам подается в нагреватель 12, который подогревает воздух в осенне-зимний период. Затем воздух через воздухораспределители поступает в машинное отделение. Из вентилятора 11 он направляется в машинное отделение, минуя нагреватель.

Искусственная вытяжная вентиляция машинного отделения и подсланевого пространства осуществляется вентилятором 6 марки 20ЦС-17, который забирает воздух из шахты машинного отделения и подсланевого пространства и выбрасывает его наружу через грибовидную головку 7.

Естественная вытяжная вентиляция машинного отделения осуществляется выбросом воздуха наружу по вертикальным коробам левого и правого бортов, предусмотренным в конструкции корпуса, через жалюзи 8, установленные на фальштрубах. Жалюзи 8 имеют закрепленные на фальштрубах водогазонепроницаемые крышки. Кроме того, естественная вентиляция осуществляется через крышку 5, находящуюся на кормовой стенке шахты аварийного выхода из машинного отделения. Для летнего периода предусмотрена подача охлажденного воздуха к посту управления главным двигателем. Он поступает через воздухораспределитель 14 от вентилятора 4 (см. рис. 13), установленного в мастерской.

На рис. 13 показана схема вентиляции рефрижераторного отделения на СРТМ. Искусственная вытяжная вентиляция осуществляется двумя вентиляторами 4 и 5 марки 30ЦС-24, установленными в вентиляторной на ходовом мостике правого борта. Нормальный режим вентиляции обеспечивается работой одного вентилятора, в случае аварии работают два вентилятора. Воздух из рефрижераторного отделения забирается через сетки 15 (см. рис. 12) вентиляторами и по коробам выбрасывается в носовой портал правого борта через жалюзи 6 наружу. Искусственный приток осуществляется вентилятором 3 марки 8ЦС-17, установленным в агрегатной на палубе надстройки. Воздух подается вентилятором 3 через крышку 2 и воздухораспределители 16 (см. рис. 12) в рефрижераторное отделение и аварийный выход из него.

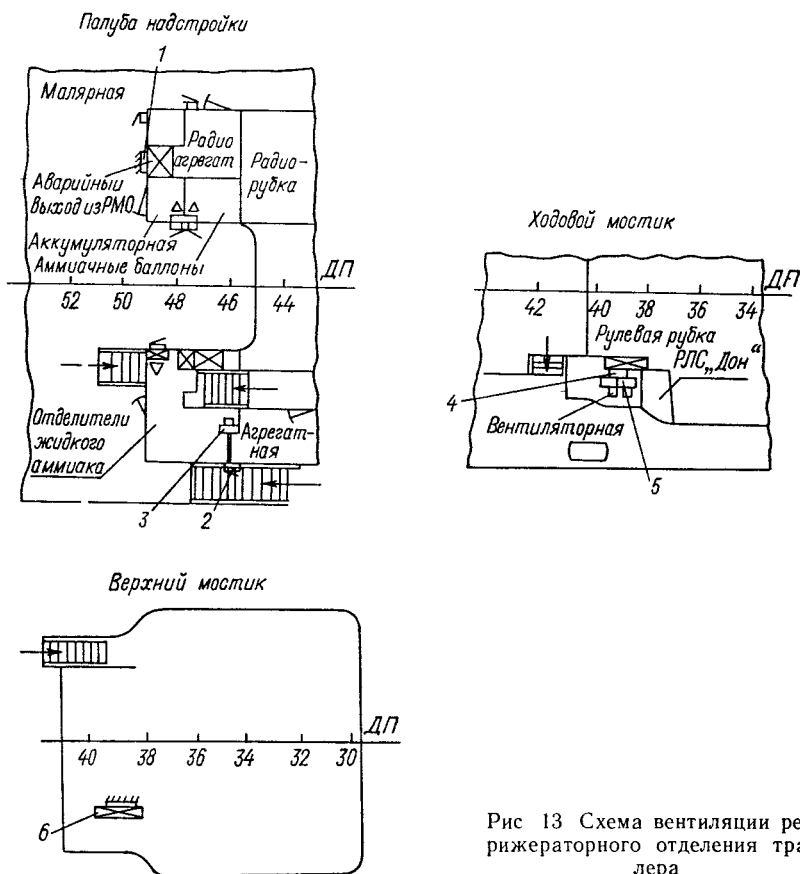


Рис 13 Схема вентиляции рефрижераторного отделения траулера

Естественный приток воздуха осуществляется через жалюзи 1, находящиеся на кормовой стенке шахты аварийного выхода из рефрижераторного отделения—

На рис 14 изображена схема вентиляции камбуза, раздаточной и посудомоечной, которые оборудованы системой комбинированной искусственной вентиляции Приток воздуха осуществляется вентилятором 4 марки 8ЦС-17, установленным в мастерской Воздух через грибовидную головку 9 (см рис 12) забирается вентилятором 4 и через воздухораспределители 1 подается в камбуз Для снижения шума в воздухопроводе предусмотрен глушитель 6 В летний период воздух, подаваемый на камбуз вентилятором 4, предварительно охлаждается в воздухоохладителе 5

Вытяжная искусственная вентиляция салона, камбуза и посудомоечной производится вентилятором 7 марки 8ЦС-17, установленным в помещении вентиляторной. Воздух через сетки

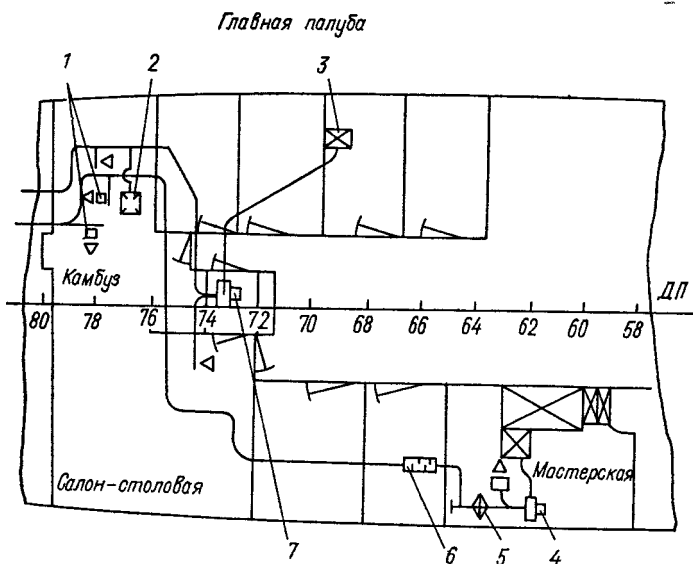


Рис 14 Схема вентиляции пищеблока СРТМ

в салоне, посудомоечной и через камбузную завесу 2 забирает ся вентилятором 7 и по шахте 3 выбрасывается наружу через крышку 1 (см рис 12), расположенную на кормовом портале левого борта

### 1.3. ТЕХНИКА ОЧИСТКИ ВОЗДУХА И ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СОСТАВА

#### 1.3.1. Очистка воздуха от пыли

Пыль, постоянно находящаяся в воздухе, представляет собой твердые взвешенные частицы размером 0,1—10 мкм. Мелкая пыль, попадая в дыхательные органы человека, задерживается в них, оказывая вредное действие на организм. Пыль размером более 10 мкм оседает в малоподвижном воздухе. Из организма человека такая пыль легко выводится.

На теплопередающих поверхностях аппаратов пыль образует теплоизоляционный слой, ухудшающий теплообмен. В ребристых теплообменных аппаратах осевшая в межреберном пространстве пыль уменьшает живое сечение прохода воздуха и снижает тем самым эффективность работы аппаратов.

Очистка воздуха, подаваемого в помещение, от пыли является одной из функций системы приточной вентиляции и судовой СКВ. Существует несколько способов очистки воздуха с помощью механических, электрических и электростатических фильтров, фильтрация воздуха при помощи различных фильтрующих

материалов и промывка воздуха водой. В практике вентиляции и кондиционирования воздуха на судах нашли применение марлевые, сетчатые масляные фильтры, а также фильтры из электризующихся синтетических материалов (капрон, лавсан, полипропилен и др.)

Фильтры устанавливают в приемных отверстиях воздухопроводов системы вентиляции и перед кондиционерами в СКВ. Марлевые фильтры применяются главным образом для защиты ребристой поверхности теплообменных аппаратов от загрязнения ее крупной пылью.

Наиболее широкое распространение на судах получили металлические сетчатые масляные фильтры. Масляный фильтр типа ФГМ представляет собой набор секций размером  $370 \times 370$ . Фронтальное сечение фильтра содержит от 1 до 9 секций в зависимости от расхода воздуха. Фильтрующий элемент каждой секции представляет собой набор из 12 рядов гофрированных сеток из нержавеющей стали. Сетки изготовлены из проволоки диаметром 0,25 мм. Гофры каждой сетки в секции направлены перпендикулярно к соседней. Размер ячеек первых шести рядов сеток по ходу воздуха  $2,2 \times 1,2$  мм, последующих четырех рядов —  $0,63 \times 0,63$ , а сеток двух последних рядов —  $0,5 \times 0,5$  мм.

Технические характеристики металлических сетчатых масляных фильтров типа ФГМ приведены в табл. 6.

Таблица 6 Характеристики масляных фильтров

Марка	Подача воздуха, м <sup>3</sup> /с	Количество секций на фильтр	Размеры фильтра, мм	Площадь фильтрующей поверхности, м <sup>2</sup>
ФГМ 8	0,14—0,22	1	370×370×140	0,09
ФГМ 20	0,23—0,56	2	740×370×140	0,18
ФГМ 40	0,57—1,11	4	740×700×140	0,36
ФГМ-60	1,12—1,75	6	740×1030×140	0,54
ФГМ 100	1,76—2,77	9	1110×1030×140	0,81

Аэродинамическое сопротивление чистого фильтра при максимальной производительности по воздуху составляет 147 Па. При загрязнении фильтра его сопротивление увеличивается. Фильтр очищают путем промывки его в масляной ванне с последующей продувкой сжатым воздухом.

Замасливание поверхности сеток производят путем погружения секции в масло (висциновое, веретенное 2, 3 и др.), расход которого на одну секцию равен 100 г. Степень очистки воздуха в масляных фильтрах составляет 95—98 %.

К недостаткам масляных фильтров относятся малая пылеемкость, возможность загрязнения воздуха масляными аэрозолями, сложность его регенерации. Под пылеемкостью фильтра пони-



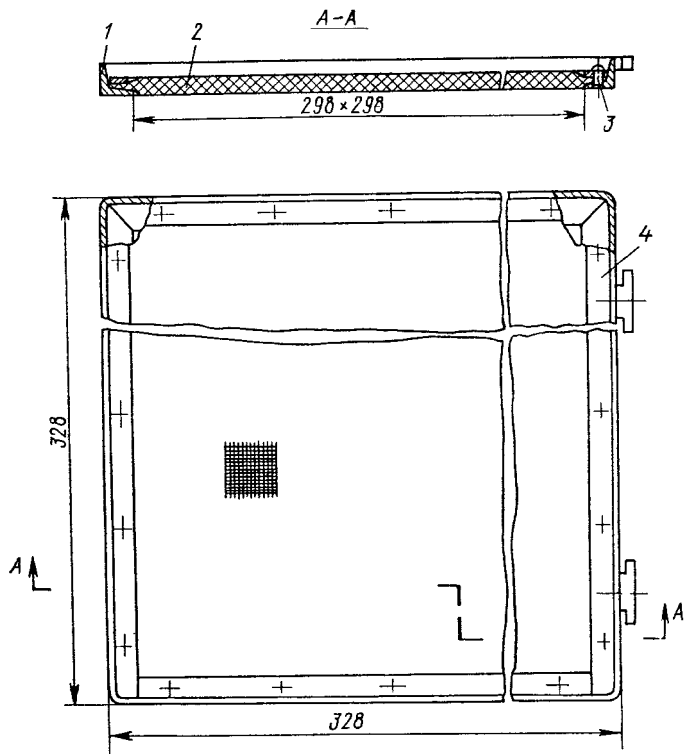


Рис 15 Фильтр из пропилена

мают количество пыли, улавливаемое за время между его чистками.

Более совершенными по сравнению с масляными являются фильтры из электризующихся синтетических материалов (капрона, лавсана, полипропилена и др.) Синтетические волокна устойчивы к действию влаги, минеральных кислот и щелочей. Материал негорюч и не выделяет неприятных запахов. Волокнистый материал таких фильтров обладает достаточной длиной пор, создавая сложный путь прохождения воздуха через фильтр. При движении воздуха через фильтр материал электризуется и притягивает пыль. Для увеличения пылеемкости в фильтр укладывают несколько слоев материала. Степень очистки воздуха с помощью фильтров из синтетических материалов составляет около 95 %.

На рис. 15 показана секция фильтра из полипропиленового штапельного волокна. Фильтр представляет собой рамку 1 из алюминий-магниевого сплава, в которой между двумя капроновыми сетками уложен фильтрующий материал 2. Капроновые сетки и полипропиленовый мат прошиты между собой капро-

новыми нитками и закреплены в рамке накладной 4 при помощи заклепок 3.

Аэродинамическое сопротивление чистого фильтра при скорости воздуха 0,5—2,5 м/с составляет 20—180 Па.

В процессе эксплуатации фильтр периодически очищают от пыли путем простукивания, продувки сжатым воздухом с чистой стороны, а также промывки его струей воды. Замасленный фильтр промывают в моющем растворе.

### 1.3.2. Изменение состава воздуха

Фильтры для очистки воздуха от пыли не улавливают вредные газы, пары и неприятные запахи, источниками которых являются люди, сырье в процессе его технологической переработки, лаки, краски, горюче-смазочные материалы и др.

Основным средством борьбы с нежелательными примесями в воздухе является проведение предупредительных мероприятий с целью предотвращения распространения загрязненного воздуха по судну. Вместе с тем в технике кондиционирования существуют способы очистки воздуха от запахов и вредных примесей. К ним относятся очистка воздуха фильтрами с активированным углем и озонирование воздуха.

*Активированный древесный уголь* хорошо поглощает запахи человеческого тела и смазочных материалов, бензина, метилового спирта и пр. Слой угля в фильтре толщиной 25 мм улавливает запахи на 98 %. Количество активированного угля для фильтра принимается из расчета 5 кг угля на 100 м<sup>3</sup>/ч расхода воздуха.

*Озонирование* как средство уничтожения запахов и бактерий используется главным образом при хранении пищевых продуктов. Для обитаемых помещений озонирование не нашло широкого применения, так как требуемая для уничтожения запахов концентрация озона (0,5—0,7 г озона на 100 м<sup>3</sup>/ч воздуха) превышает допустимые санитарно-гигиенические нормы.

В настоящее время проводятся работы по улучшению состава воздуха путем создания судовых устройств для ионизации и стерилизации воздуха, а также придания ему определенных запахов (например, леса, моря), оказывающих благотворное влияние на человека.

*Ионизация* — это процесс образования в воздухе заряженных частиц (ионов). Естественная ионизация воздуха происходит под воздействием радиоактивных веществ, космических лучей, солнечного излучения, электрических разрядов, высоких температур, а также в процессе распыления воды (баллоэлектрический эффект). Молекула или атом, потерявшая электрон, превращается в положительно заряженный ион, а электрон, соединившись с нейтральной молекулой или атомом, образует отрицательно заряженный ион. Различают легкие и тяжелые

ионы. Легкие ионы состоят из молекул или атомов, имеющих один элементарный заряд, равный заряду электрона. Тяжелые ионы образуются из легких ионов при соединении их с пылинками и мельчайшими каплями воды, находящимися в воздухе. Концентрация тяжелых ионов в воздухе зависит от степени его загрязненности. По мере загрязнения воздуха концентрация тяжелых ионов в нем увеличивается. Процесс образования ионов в воздухе постоянно сопровождается обратным процессом образования нейтральных частиц.

Среднее число отрицательных легких ионов в воздухе сельских местностей и курортных зон достигает 3000 в  $1 \text{ см}^3$ , а в воздухе больших промышленных городов оно составляет 150—200 в  $1 \text{ см}^3$ . По данным исследований установлено, что содержание легких ионов в воздухе до 1000—2000 в  $1 \text{ см}^3$  с преобладанием отрицательных ионов благотворно влияет на человеческий организм, а повышенная концентрация в воздухе тяжелых ионов оказывает отрицательное действие на здоровье человека. Также неблагоприятно влияет при длительном воздействии на человека и излишне большая концентрация легких ионов.

Существует ряд способов искусственной ионизации воздуха. Из них наиболее приемлемым для судовых условий является метод, основанный на баллоэлектрическом эффекте, который можно наблюдать в естественных условиях: возле водопадов, при ударах морских волн о препятствия. Ионизация воздуха происходит в результате удара капель воды о твердые поверхности, при этом положительные ионы уносятся водой, а отрицательные ионы ионизируют воздух.

В гидроионизаторах, работающих по принципу баллоэлектрического эффекта, отсутствуют сопутствующие вредные или опасные для человека явления.

*Стерилизацию* воздуха производят с целью очистки его от бактерий, в том числе от болезнетворных, которые могут вызвать инфекционные заболевания. Применяемые в системах вентиляции и кондиционирования воздуха фильтры из электризующихся синтетических материалов обеспечивают задержку микроорганизмов до 90—95 %. Хорошими бактерицидными свойствами обладают газосветные ртутные лампы ультрафиолетового излучения, выпускаемые промышленностью.

## КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

### 2.1. МЕТОДЫ НОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА И СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА

#### 2.1.1. Влияние окружающей среды на тепловые ощущения человека

Комфортный микроклимат на судне обеспечивает хорошее самочувствие членов экипажа и способствует повышению производительности труда

Воздушная среда должна быть чистой с нормальным химическим составом, свободной от пыли и запахов. Чистый воздух надлежащего состава в помещениях является необходимым, но не достаточным условием для создания комфортных условий.

Комфортное теплоощущение соответствует равенству теплоты, выделяемой организмом и отведенной от него. Теплообмен между организмом и окружающей средой происходит через кожный покров теплопроводностью, конвекцией, испарением и радиацией.

Организм человека непрерывно вырабатывает тепловую энергию. Количество теплоты зависит от состояния организма (отдых, работа), характера выполняемой работы и ее интенсивности. В условиях покоя человек в среднем вырабатывает около 7050 кДж/сут. теплоты, а при умеренной мускульной работе — 11300 кДж/сут. Из общего количества вырабатываемой организмом теплоты 80—82 % и более передается окружающему воздуху теплопроводностью, лученспусканием, конвекцией и путем испарения влаги с поверхности кожи.

Теплообмен посредством теплопроводности, конвекции и излучения происходит при наличии разности температур между организмом человека и окружающей его средой. Количество теплоты, передаваемой теплопроводностью одежды и воздушной среды, мало, поэтому за явную теплоту принимается конвективный и радиационный теплообмен. Общие тепловыделения человека в среднем составляют: конвекцией 32 %, радиацией 46 % и испарением (скрытая теплота) 22 %.

Если температура воздуха и окружающих поверхностей равна или больше температуры тела человека, то отвод теплоты из организма может происходить только путем испарения влаги с кожи при условии, что  $\varphi < 100\%$ . Относительная влажность обуславливает интенсивность передачи теплоты испарением влаги. При низких значениях относительной влажности интенсивность испарения и, следовательно, отвод теплоты увеличиваются. Теплоотдача испарением возможна во всех случаях,

когда температура точки росы окружающего воздуха ниже средней температуры кожи человека (средняя температура поверхности кожи человека равна 33 °С)

При высоких значениях температуры и относительной влажности окружающего воздуха отвод теплоты от организма увеличивается с возрастанием скорости воздуха относительно тела.

При изменении параметров окружающей среды температура тела человека поддерживается постоянной при помощи механизма терморегуляции. В определенном диапазоне значений параметров терморегуляция организма обеспечивает отвод от тела явной или скрытой теплоты в соответствии с состоянием окружающей среды

Теплоощущения могут быть одинаковыми при высокой температуре окружающего воздуха с низкой относительной влажностью и при более низкой температуре с повышенной относительной влажностью. В первом случае уменьшение отдачи организмом явной теплоты компенсируется увеличением отвода скрытой теплоты, во втором, наоборот, уменьшается отвод теплоты испарением и увеличивается теплоотдача конвекцией и лучеиспусканием. При температуре воздуха, близкой к температуре тела человека, отдача теплоты телом происходит в основном за счет испарения.

Радиационный теплообмен между телом человека и окружающими предметами может компенсировать неблагоприятное воздействие на человека температуры и влажности воздуха. При высоких значениях температуры и влажности, а также равенстве температур окружающих предметов и кожи человека перегревания организма может не произойти, если увеличить скорость воздуха

При движении воздуха увеличивается теплоотдача тела как конвекцией (вследствие возрастания коэффициента теплоотдачи), так и испарением (в результате сдувания пленки насыщенного пара).

Существуют различные комбинации параметров окружающего воздуха, при которых создаются одинаковые условия для хорошего самочувствия человека. Для оценки теплоощущения человека применяют методы эффективных, эквивалентно-эффективных и результирующих температур.

### **2.1.2. Эффективная и эквивалентно-эффективная температуры**

Эффективная температура выражает одинаковые теплоощущения человека в неподвижном воздухе в зависимости от комбинации значений температуры и относительной влажности или, что то же самое, от соотношения температур по сухому и мокрому термометрам.

Под *эффективной температурой* (ЭТ) понимают такую температуру насыщенного воздуха, при которой ощущение человеком тепла и холода такое же, как и в данном неподвижном ненасыщенном воздухе с иными значениями температуры и относительной влажности. При различных сочетаниях температуры и относительной влажности можно получить одно и то же значение ЭТ. На тепловые ощущения человека кроме температуры и относительной влажности оказывает влияние скорость окружающего воздуха, которая учитывается эквивалентно-эффективной температурой. Под *эквивалентно-эффективной температурой* (ЭЭТ) понимают температуру неподвижного насыщенного воздуха, при которой человек имеет такие же тепловые ощущения, как и в данном подвижном ненасыщенном воздухе с иными значениями температуры.

На рис. 16 представлена номограмма эффективных и эквивалентно-эффективных температур, связывающая различные со-

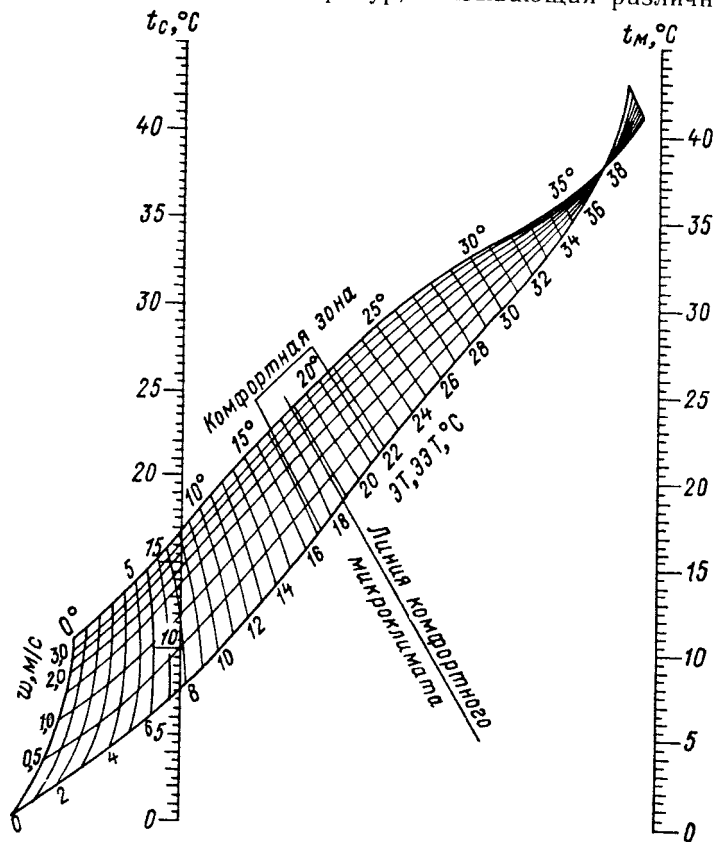


Рис 16 Номограмма эффективных и эквивалентно эффективных температур

четания температуры, влажности и скорости воздуха в помещении. При скорости воздуха  $w=0$  м/с значения ЭТ равны ЭЭТ.

Номограмма состоит из двух вертикальных шкал температур — по сухому и по мокрому термометрам, а также кривых постоянных значений скорости воздуха и ЭЭТ. Значение ЭЭТ определяют в точке пересечения линии, соответствующей скорости воздуха в помещении, с линией, соединяющей значение  $t_c$  и  $t_m$  для данного помещения. Например, если температура воздуха в помещении по сухому термометру равна  $30^\circ\text{C}$ , по мокрому  $26^\circ\text{C}$ , а скорость воздуха  $w=0,5$  м/с, то ЭЭТ будет равна  $27^\circ\text{C}$ . При тех же параметрах  $t_c$  и  $t_m$  неподвижного воздуха ЭТ составит  $27,5^\circ\text{C}$ .

На рисунке нанесена зона *комфортного микроклимата*, в которой параметры воздуха создают у человека благоприятное тепловое ощущение. За пределами этой зоны организм человека реагирует на изменение температуры воздуха неблагоприятно. При известном значении ЭТ и ЭЭТ для заданного значения скорости воздуха можно, воспользовавшись номограммой, определить возможные комбинации  $t_c$  и  $t_m$  ( $t_c$  и  $\varphi$ ), при которых ЭТ или ЭЭТ будет иметь одно и то же значение.

Как ЭТ, так и ЭЭТ не учитывает радиационного теплообмена, который оказывает существенное влияние на тепловые ощущения человека.

### 2.1.3. Метод результирующих температур

Для оценки микроклимата в судовых помещениях применяют метод результирующих температур.

*Результирующая температура* (РТ) является комплексным показателем, учитывающим влияние на тепловые ощущения человека  $t_c$ , относительной влажности  $\varphi$ , подвижности воздуха в помещении  $w$ , а также средней радиационной температуры окружающих поверхностей  $t_R$ . Радиационную температуру ограждений определяют по шаровому термометру, представляющему собой обычный термометр, резервуар которого вставлен в центр пустотелого зачерненного шара диаметром 9—12 см.

На рис. 17 приведена номограмма результирующих температур, с помощью которой можно определять РТ для комбинаций различных значений параметров  $t_c$ ,  $\varphi$ ,  $w$  и  $t_R$ .

Номограмма РТ представляет собой видоизмененную номограмму ЭТ и ЭЭТ с добавлением двух шкал: скорости воздуха  $w$  (шкала I) и относительной влажности (шкала V). По шкале II кроме температуры воздуха по сухому термометру  $t_c$  определяют поправку на тепловую радиацию  $\delta t$  и так называемую сухую результирующую температуру  $N$ . Последняя равна алгебраической сумме температуры по сухому термометру  $t_c$  и поправки на тепловую радиацию:  $N = t_c \pm \delta t$ . Результирующую температуру определяют следующим образом. Находят  $\Delta t$ : разность

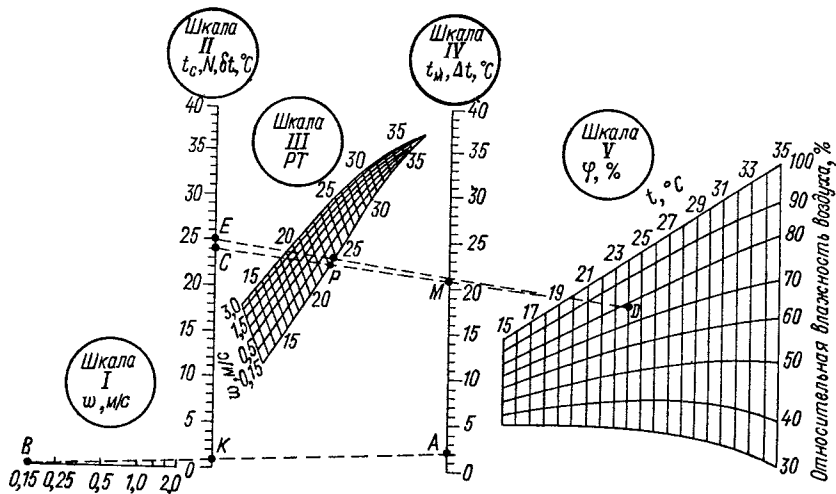


Рис. 17. Номограмма результирующих температур

между средней радиационной температурой  $t_R$  и температурой по сухому термометру ( $\Delta t = t_R - t_c$ ). На шкале IV отмечают точку A, определяющую  $\Delta t$ . Соединив точку A прямой с точкой B на горизонтальной шкале I, соответствующей скорости воздуха в помещении, получают на шкале II, в месте ее пересечения с линией AB, точку K, показывающую значение поправки на тепловую радиацию  $\delta t$ . Зная поправку, находят сухую результирующую температуру  $N = t_c \pm \delta t$  и откладывают ее на шкале II (точка E). Затем выполняют следующие построения. Из точки C на шкале II, соответствующей температуре по сухому термометру, проводят прямую через точку M на шкале IV, соответствующую температуре по мокрому термометру, до пересечения с изотермой на шкале V, равной температуре по сухому термометру (точка D). Кривая, проходящая через точку D, показывает значение относительной влажности воздуха в помещении. Полученную точку D соединяют прямой линией с точкой E, характеризующей сухую результирующую температуру N. В месте пересечения прямой DE с кривой (на шкале III), соответствующей скорости воздуха, находят искомое значение PT.

Штриховыми линиями на номограмме показан пример определения PT по известным  $t_c = 24^\circ\text{C}$ ;  $t_m = 21^\circ\text{C}$ ;  $\omega = 0,15$  м/с и  $t_R = 26^\circ\text{C}$ .

Разность  $\Delta t$ , равную  $\Delta t = t_R - t_c = 26 - 24 = 2^\circ\text{C}$ , откладывают на шкале II (точка A). Точку B на шкале I со значением скорости воздуха  $\omega = 0,15$  м/с соединяют с точкой A и на шкале II находят поправку на тепловую радиацию  $\delta t = 1^\circ\text{C}$ . Значение  $N = t_c + \delta t = 24 + 1 = 25^\circ\text{C}$  наносят на шкале II (точка E). Затем, соединив точку C ( $t_c = 24^\circ\text{C}$ ) с точ-



кой  $M$  ( $t_m = 21^\circ\text{C}$ ) прямой линией и продлив ее до пересечения с изотермой  $t_c = 24^\circ\text{C}$ , на шкале  $V$  находят точку  $D$ , соответствующую  $\varphi = 77\%$ . Прямая  $DE$  пересекается с кривой  $\omega = 0,15$  м/с на шкале  $III$  в точке  $P$  с результирующей температурой  $RT = 23,5^\circ\text{C}$ .

Метод результирующих температур удобен для оценки микроклимата данного помещения путем сопоставления соответствия полученного значения  $RT$  комфортным условиям.

#### **2.1.4. Нормируемые параметры и состав воздушной среды**

Значения ЭТ, ЭЭТ и  $RT$ , соответствующие комфортным условиям при различных сочетаниях  $t_c$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$  и  $t_R$ , не всегда создают у человека ощущения комфорта. Так, произвольное изменение относительной влажности (от 0 до 100 %) оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека.

Низкое значение  $\varphi$  вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных органов и глаз, а при движении воздуха приводит к переохлаждению организма вследствие интенсивного испарения влаги с его поверхности. Кроме того, в результате испарения вместе с влагой из организма выводятся соли, вызывая его обессоливание.

При высокой относительной влажности и соответственно низкой температуре воздуха выделяемая организмом влага, сконденсировавшаяся в одежде, увеличивает ее теплопроводность, а следовательно, и интенсивный отвод теплоты от тела, что приводит к его переохлаждению.

Неблагоприятные явления в организме возникают также при высокой скорости воздуха. Воздух, движущийся со скоростью более 0,3 м/с, может вызывать простудные заболевания. Поэтому для создания приятного теплового ощущения параметры воздуха помещения должны иметь определенные значения.

Для бытовых и служебных помещений судов, имеющих в своем составе установки для кондиционирования воздуха, оптимальные значения параметров воздуха определены Санитарными правилами. Для судов с неограниченным районом плавания  $RT$  в помещениях определена в пределах  $18,1$ — $24,1^\circ\text{C}$  (для холодного периода  $RT = 18,1^\circ\text{C}$ , для теплого  $RT = 24,1^\circ\text{C}$ ), что соответствует условиям комфорта (см. рис. 16) для холодного и теплого периодов. Относительная влажность в помещениях независимо от районов плавания и периода года не должна выходить за пределы 40—60 %. Средняя радиационная температура поверхности ограждений не должна отличаться от температуры воздуха помещения более чем на  $\pm 2 \div 4^\circ\text{C}$ . Разность температур между воздухом в помещении и температурой направленного на людей охлажденного потока воздуха не должна превышать  $5^\circ\text{C}$ . Скорость воздуха в помещении

принимается равной 0,15 м/с. Скорость направленного на людей потока воздуха допускается 0,3—0,5 м/с при температуре душирующего потока 25—27 °С. Зона комфортного микроклимата в теплый период года определена в пределах 22,6—25,7 °С, в холодный — 15,9—20,3 °С. Максимальная разность воздуха помещений и приточного при высоких температурах наружного воздуха (до 40 °С) принимается равной 7—13 °С. Допускается использование до 30 % воздуха помещений для рециркуляции, если он не содержит вредных примесей.

Критерием для нормирования содержания в воздухе жилых и служебных помещений посторонних газов является содержание в нем  $\text{CO}_2$ . Предельно допустимая концентрация  $\text{CO}_2$  в жилых помещениях составляет 1,0 л/м<sup>3</sup>, в служебных 1,25 л/м<sup>3</sup>, в помещениях с кратковременным пребыванием людей 2,0 л/м<sup>3</sup>.

Санитарными правилами установлены нормы минимального количества наружного воздуха в помещениях, м<sup>3</sup>/(чел·ч): для жилых и служебных 33; для общественных 20. Допустимая концентрация двуокиси углерода в помещениях не должна превышать 0,1—0,15 % по объему. В воздухе, подаваемом в судовые помещения, содержание пыли не должно превышать 0,25 мг/м<sup>3</sup>.

## **2.2. ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА**

### **2.2.1. Тепло- и влагообмен между воздухом и водой**

В технике кондиционирования нашли широкое применение процессы, в которых изменение состояния воздуха достигается путем непосредственного его контакта с мелко распыленными каплями воды либо со свободной ее поверхностью. В результате между воздухом и водой происходит тепло- и влагообмен, при котором возможно одновременное изменение температуры, энтальпии и влагосодержания воздуха.

Передача явной теплоты от воздуха к воде, или наоборот, происходит конвекцией. Явный теплообмен, происходящий вследствие теплопроводности воздуха и теплового излучения в кондиционерах, незначителен и в практических расчетах не учитывается. Скрытая теплота, передаваемая от воды к воздуху (или наоборот), определяется теплотой парообразования и зависит от величины влагообмена. Интенсивность явного теплообмена зависит от разности температур воздуха и воды, а интенсивность скрытого обмена (или влагообмена) — от разности влагосодержаний воздуха в основной его массе и насыщенного воздуха у поверхности воды.

При тепловлажностной обработке воздуха его состояние в точке с начальными параметрами  $I_1$ ,  $d_1$  в результате подвода (или отвода) теплоты  $Q_{\text{я}}$  и влаги  $W$  сменится состоянием  $I_2$ ,

$d_2$ . В этом случае при обработке  $G$ , кг/с, воздуха имеют место следующие зависимости:

$$I_2 = I_1 + \frac{Q_a}{G} + \frac{W}{G} i_b \quad (21)$$

или

$$\Delta I = I_2 - I_1 = \frac{Q_a}{G} + \frac{W}{G} i_b.$$

Аналогично

$$d_2 = d_1 + \frac{W}{G} \quad \text{или} \quad \Delta d = d_2 - d_1 = \frac{W}{G}. \quad (22)$$

Разделив (21) на (22), получим

$$\frac{I_2 - I_1}{d_2 - d_1} = \frac{\Delta I}{\Delta d} = \frac{Q_a}{W} + i_b = \varepsilon \quad (23)$$

Здесь  $Q_a$  — количество подведенной (отведенной) явной теплоты, кВт;  $W$  — количество подведенной (отведенной) влаги, кг/с;  $I_1$  и  $I_2$ ,  $d_1$  и  $d_2$  — энтальпия и влагосодержание воздуха в начале и в конце процесса обработки, кДж/кг и кг/кг;  $i_b$  — энтальпия влаги, добавляемой к воздуху при увлажнении или отнимаемой у него при осушении кДж/кг;  $\varepsilon$  — характеристика тепловлажностного процесса, или угловой масштаб.

Выражение (23), определяющее общие условия перехода воздуха из одного состояния в любое другое, представляет собой уравнение прямой линии. Положение прямой перехода воздуха из одного состояния в другое определяется начальной точкой состояния  $I_1$ ,  $d_1$  и направлением процесса, установленным угловым масштабом  $\varepsilon$ .

На рис. 18 показаны процессы возможного изменения состояния воздуха при тепловлажностной его обработке водой с различной температурой. Вероятные процессы взаимодействия воздуха с водой изображаются в пределах угла  $BAВ$  между двумя касательными, проведенными из точки  $A$  к кривой  $\varphi = 100\%$ .

При анализе процессов контакта воздуха с водой предполагают, что температура воды в процессе взаимодействия с воздухом не меняется. Фактические небольшие изменения температуры воды в практике кондиционирования воздуха не учитываются.

Изменение состояния воздуха по линии  $I$  достигается при температуре воды ниже  $t_p$ . Под влиянием разности температур и влагосодержаний от воздуха к воде переходит как явная теплота, так и скрытая (теплота конденсации, равная теплоте парообразования). В результате температура, влагосодержание и энтальпия воздуха уменьшаются, т. е. осуществляются процессы охлаждения и осушения воздуха. Такие процессы имеют место в поверхностных воздухоохладителях. При температуре поверхности охладителя ниже  $t_p$  на сухой его поверхности скон-

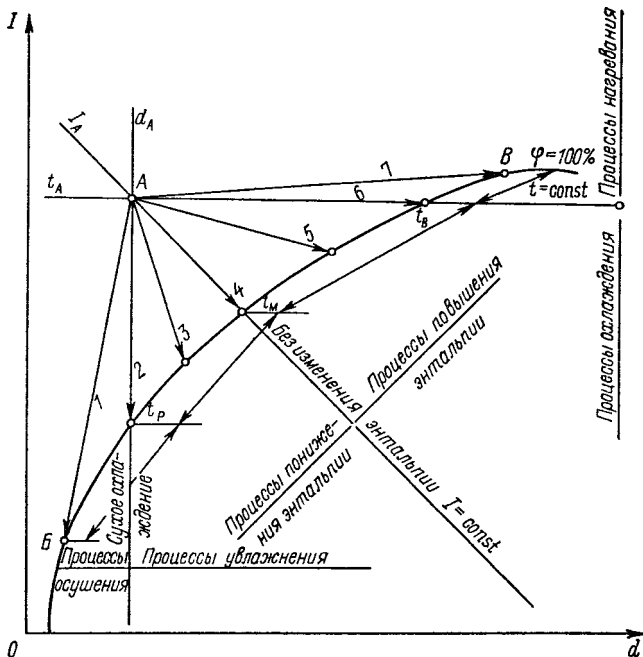


Рис 18 Процессы изменения состояния воздуха при взаимодействии с водой

денсруется влага из воздуха. Дальнейший процесс тепло- и влагообмена будет идти между воздухом и водяной пленкой, покрывающей поверхность воздухоохладителя.

Процесс 2 протекает при  $d = \text{const}$ , в этом случае температура воды равна температуре точки росы воздуха:  $t_b = t_p$ . При разности  $t_b - t_p$  явная теплота будет передаваться от воздуха к воде. Влагообмен в этом процессе между воздухом и водой отсутствует ( $W = 0$ ), а энтальпия воздуха уменьшается.

При обработке воздуха водой с температурой ниже температуры воздуха по мокрому термометру, но выше температуры точки росы (процесс 3) имеет место охлаждение и увлажнение воздуха ( $t_p < t_b < t_m$ ), а также понижение его энтальпии. Энтальпия воздуха уменьшается по той причине, что количество скрытой теплоты, поступающей в воздух в виде водяных паров, меньше явной теплоты, переданной от воздуха к воде на повышение ее температуры.

Если температура воды равна температуре воздуха по мокрому термометру ( $t_b = t_m$ ), то полный теплообмен между воздухом и водой равен нулю, т. е. явная теплота, поступающая от воздуха к воде, компенсируется подводом скрытой теплоты от воды к воздуху. Процесс 4 протекает с понижением температуры от  $t_A$  до  $t_m$  и возрастанием влагосодержания при

практически постоянной энтальпии ( $I = \text{const}$ ). Этот процесс, при котором весь тепловлагообмен между водой и воздухом происходит без посторонних источников теплоты или холода, называется адиабатическим увлажнением (или насыщением).

В случае обработки воздуха водой (процесс 5), температура которой выше температуры воздуха по мокрому термометру, но ниже температуры по сухому термометру, имеет место процесс охлаждения и увлажнения воздуха. При этом температура воздуха понижается, а энтальпия и влагосодержание увеличиваются.

Взаимодействие воздуха с водой, температура которой равна температуре воздуха по сухому термометру, происходит по линии  $b$  ( $t = \text{const}$ ). В этом случае энтальпия воздуха увеличивается за счет теплоты испарения при возрастании влагосодержания воздуха.

При контакте воздуха с водой, температура которой выше температуры воздуха по сухому термометру, происходит одновременное нагревание и увлажнение воздуха (процесс 7). Энтальпия воздуха возрастает за счет явной и скрытой теплоты.

### 2.2.2. Процессы нагревания и увлажнения воздуха

*Нагревание воздуха*, подаваемого в помещения в зимний период, производится путем сообщения ему явной теплоты. Процесс нагревания воздуха протекает при постоянном влагосодержании и изображается в диаграмме  $Id$  вертикальной прямой (линия  $AB$  на рис. 2).

Зимой наружный воздух имеет низкое влагосодержание при высокой относительной влажности. При нагревании такого воздуха его относительная влажность будет уменьшаться, так как количество влаги, находящейся в нем, не изменяется. Например, для насыщения воздуха с температурой  $t_c = -5^\circ\text{C}$  влагосодержание составляет  $d = 0,0026$  кг/кг. При нагреве воздуха с указанными параметрами до температуры  $20^\circ\text{C}$  в поверхностных теплообменных аппаратах его относительная влажность снизится до недопустимого значения ( $\varphi = 18\%$ ). Для хорошего самочувствия человека влагосодержание воздуха в помещении должно составлять около  $0,0075$  кг/кг. Это значение соответствует  $\varphi = 50\%$  и температуре  $20^\circ\text{C}$ . Поэтому в процессе зимнего кондиционирования, как правило, нагревание воздуха сопровождается его увлажнением. Исключением являются случаи, когда в помещениях имеются источники выделения влаги (например, большое количество людей) и тепла. В первом случае производят только нагревание воздуха, а во втором — только его увлажнение.

*Увлажнение воздуха* осуществляется паром или водой. На судах более широкое применение нашел способ увлажнения воздуха паром.

Если к  $G$  кг воздуха, состояние которого характеризуется точкой 1 с параметрами  $I_1, d_1$  (рис. 19), добавить  $W$  кг водяного пара с энтальпией  $I_n$ , то новое состояние воздуха будет определяться точкой 2 с параметрами  $I_2$  и  $d_2$ . Уравнение изменения состояния воздуха (23) для данного случая ( $Q_n=0$ ) примет вид

$$\varepsilon = \frac{I_2 - I_1}{d_2 - d_1} = \frac{\Delta I}{\Delta d} = I_n,$$

т. е. характеристика тепловлажностного процесса, или его угловой масштаб, будет зависеть только от энтальпии подмешиваемого водяного пара.

Состояние воздуха в зависимости от количества добавляемого пара данной энтальпии определяется на прямой, представляющей собой линию процесса увлажнения и проходящей через точки 1 и 2. Направление процесса увлажнения совпадает с направлением изотермы, соответствующей температуре подмешиваемого пара, т. е. имеет место равенство

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} = I_n = 2500 + 1,93t_{\text{ном.}}$$

Изотерма по температуре пара проходит несколько выше изотермы увлажняемого воздуха, т. е. процесс увлажнения паром идет с повышением температуры воздуха. Однако повышение температуры воздуха в конце увлажнения  $t_2$  незначительно даже при подмешивании пара высокого давления. Поэтому на практике часто пренебрегают повышением температуры воздуха при увлажнении его паром и изображают процесс проходящим по изотерме  $t_1 = \text{const}$  (линия 1—2'). Точку 2' находят на пересечении изотермы  $t_1 = \text{const}$  с линией  $d_2 = \text{const}$ . Например, при увлажнении воздуха с параметрами  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 40\%$  паром с давлением 0,5 МПа и температурой 127 °C для доведения относительной влажности воздуха до 75 % на каждый килограмм воздуха добавляется  $\Delta d = 0,006$  кг пара, в результате чего температура воздуха повышается на 1 °C.

Увлажнение воздуха водой осуществляется путем распыливания воды форсунками, расположенными в форсуночной камере, через которую проходит обрабатываемый воздух. Достоинством этого метода является возможность точного регулирования процесса увлажнения. Воздух, проходя через орошаемое пространство камеры, очищается от пыли, а также от некоторых газов, паров и запахов.

Интенсивность процесса увлажнения воздуха зависит от количества воды, испаряющейся в единицу времени. Чем более мелкое распыление воды осуществляют форсунки, тем больше поверхность испарения воды и тем выше интенсивность процесса парообразования. Скорость испарения зависит также от диаметра капель. С уменьшением радиуса сферической капли парциальное давление насыщенного пара у выпуклой ее поверхности

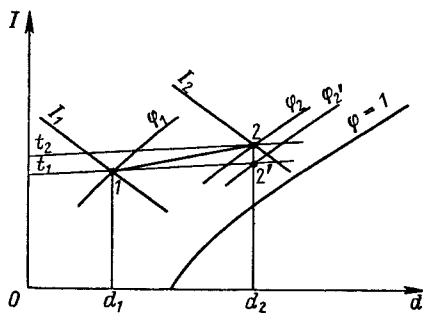


Рис 19 Процесс увлажнения воздуха паром

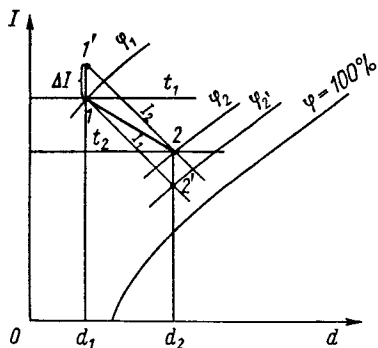


Рис 20 Процесс увлажнения воздуха водой

возрастает, а следовательно, увеличивается разность парциальных давлений насыщенного пара на поверхности капель и водяного пара в воздухе, вызывая интенсивное парообразование и увлажнение воздуха. Процесс испарения ускоряется с повышением (до определенного значения) скорости воздуха в увлажнительной камере. Всего в камере испаряется 2—3 % количества разбрызгиваемой воды в единицу времени.

Процесс увлажнения воздуха в форсуночной камере с достаточной для практики точностью считается адиабатическим, т. е. при отсутствии внешних источников подвода или отвода теплоты процесс увлажнения воздуха сопровождается увеличением энтальпии воздуха за счет скрытой теплоты, содержащейся во введенной в воздух влаге в парообразном состоянии, и уменьшением его температуры по сухому термометру за счет затраты явной теплоты на испарение этой влаги. При этом температура разбрызгиваемой воды принимает значение, равное температуре по мокрому термометру, и в процессе увлажнения не изменяется.

Процесс увлажнения воздуха испаряющейся разбрызгиваемой водой математически выражается аналогично процессу увлажнения воздуха паром. Тепловлажностная характеристика процесса изменения состояния воздуха при увлажнении его водой (процесс 1—2 на рис. 20) имеет вид

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} = \frac{I_2 - I_1}{d_2 - d_1} = t_b, \quad (24)$$

где  $t_b$  — энтальпия вводимой в воздух воды, кДж/кг.

С учетом того, что  $t_b = c_b t_b \approx 4,19 t_b$ , где 4,19 — теплоемкость воды, кДж/(кг·°C);  $t_b$  — температура воды, выражение (24) примет вид

$$\varepsilon = t_b \approx 4,19 t_b. \quad (25)$$

Уравнение (25) показывает, что процесс увлажнения воздуха водой, имеющей температуру выше 0 °C, протекает с увеличением энтальпии воздуха (см. 1—2 на рис. 19). При  $t_b = 0$  °C линия

процесса увлажнения на диаграмме  $Id$  совпадает с прямыми  $I = \text{const}$ .

Процесс увлажнения водой на диаграмме  $Id$  изображается следующим образом. Из точки 1, характеризующей состояние воздуха, по линии  $d_1 = \text{const}$  откладывают значение  $\Delta I = 4,19 t_b \Delta d$  и определяют энтальпию увлажненного воздуха  $I_2 = I_1 + \Delta I$ . Затем на пересечении  $I_2 = \text{const}$  и  $d_2 = \text{const}$  ( $d_2 = d_1 + \Delta d$ ) находят точку 2, определяющую состояние увлажненного воздуха. Прямая 1—2 является действительным процессом увлажнения воздуха.

Увеличение энтальпии воздуха в результате его увлажнения водой незначительно, так как, во-первых, вода, применяемая для этих целей, имеет умеренную температуру (20—40 °С), а во-вторых, количество влаги, необходимой для увлажнения воздуха, весьма мало. Например, чтобы увлажнить воздух с постоянной температурой 20 °С от  $\varphi_1 = 18\%$  до  $\varphi_2 = 70\%$  надо ввести  $\Delta d = 0,008$  кг влаги на 1 кг сухой части воздуха. Увеличение энтальпии в этом случае составит  $\Delta I = 4,19 t_b \Delta d = 4,19 \cdot 20 \times \times 0,008 = 0,67$  кДж/кг.

Поэтому в практических расчетах принимают, что процесс увлажнения воздуха водой проходит по изоэнтальпе  $I_1 = \text{const}$  (линия 1—2'). Конечное состояние воздуха в процессе увлажнения (точка 2') определится на изоэнтальпе  $I_1 = \text{const}$  в месте пересечения ее с линией необходимой относительной влажности в конце увлажнения  $\varphi_2 = \text{const}$ .

### 2.2.3. Паровые, водяные и электрические воздухонагреватели

В судовых СКВ для нагревания воздуха применяются, как правило, поверхностные воздухонагреватели (калориферы) трех типов: паровые, водяные и электрические.

Паровые и водяные нагреватели воздуха применяются в центральных, групповых и местных кондиционерах. Электронагреватели используются в основном в автономных и местных кондиционерах. По конструкции водяные воздухонагреватели аналогичны рассольным или водяным воздухоохладителям.

Как паровые, так и водяные калориферы состоят из комплекта оребренных трубок, собранных в секции, внутри которых проходит теплоноситель (пар или вода), а нагреваемый воздух обдувается вентилятором по наружной поверхности трубок. Ребристые воздухонагреватели обычно выполняются пластинчатыми или спирально-навивными.

Воздухонагреватели изготавливаются в двух вариантах: с корпусом для автономного применения в системах вентиляции и кондиционирования воздуха и без корпуса, в виде отдельных секций для установки их в корпусе кондиционера. К числу воздухонагревателей автономного применения относятся



паровые петлевые типа НВП и аппараты типов ОНВ и ОВП, которые предназначены как для охлаждения, так и для нагрева воздуха.

Паровой воздухонагреватель типа НВП (нагреватель воздуха петлевой), общий вид которого изображен на рис. 21, представляет собой секцию трубок со спирально-навивным оребрением. По сравнению с пластинчатым оребрением преимущество последнего заключается в том, что за счет гофров, получаемых во время навивки ленты на трубку, удлиняется линия контакта ребра с трубкой и увеличивается турбулизация проходящего между ребрами воздуха, что улучшает процесс теплопередачи. Спирально-навивное оребрение трубок нагревателя аналогично оребрению воздухоохладителя.

Трубки секции объединены двумя коллекторами для подвода и отвода теплоносителя. Трубки и коллекторы изготовляют из латуни Л-62, а ребра — из медной ленты МЗС. Секция закреплена на съемной крышке корпуса нагревателя и подключается к паровой магистрали и линии отвода конденсата при помощи штуцерных соединений. Такая конструкция позволяет без необходимости производить монтаж и демонтаж секции без демонтажа вентиляционных каналов.

Основные характеристики нагревателей типа НВП приведены в табл. 7. Нагреватели обеспечивают нагревание воздуха до  $15^{\circ}\text{C}$  при температуре входящего воздуха  $-25^{\circ}\text{C}$ .

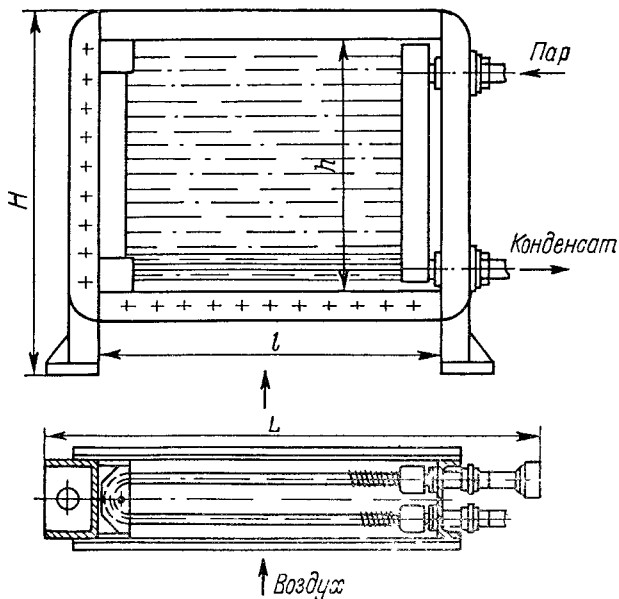


Рис 21 Нагреватель воздуха типа НВП.

Таблица 7 Характеристики воздухонагревателей типа ВВП

Марка	Поверхность нагрева м <sup>2</sup>	Подача воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Размеры воздухонагревателя, мм				Масса, кг
			H	h	L	l	
ВВП 0,3	0 29	250	223	123	370	214	6,4
ВВП 0,6	0,56	500	287	184	444	306	9,3
ВВП 1	0 92	800	370	267	444	306	11,1
ВВП 1,6	1,6	1500	412	309	584	446	14,3
ВВП 2,4	2,4	2000	538	435	604	446	19,2
ВВП 3	3,0	3000	538	435	734	556	21,9
ВВП 3 8	3 8	4000	643	540	740	566	26,2
ВВП 5,8	5 8	5600	727	624	900	706	33,2
ВВП 7,8	7,8	7500	916	813	900	706	37,5

В центральных кондиционерах типов «Бриз» и «Пассат» в состав конструкции входят паровые воздухонагреватели типа ВВП

Паровые воздухонагреватели типа ВВП представляют собой набор унифицированных десяти- и шеститрубных секций с пластинчатым оребрением. Нагреватели выполняются двухрядными. В зависимости от теплопередающей поверхности (3,7—15,1 м<sup>2</sup>) число трубок в ряду составляет от 9 до 20. При давлении греющего пара 0,6 МПа и температуре 158 °С обеспечивается нагревание наружного воздуха температурой —25 ÷ ÷ —18 до 33—50 °С при поверхностной плотности теплового потока  $g_1 = 58\ 000 \div 70\ 000$  Вт/м<sup>2</sup>. Аэродинамическое сопротивление аппаратов составляет 50—180 Па.

Водяные воздухонагреватели типа ВВВ применяются в кондиционерах типа «Муссон». Конструкция водяного нагревателя аналогична конструкции парового. Поверхность водяного теплообменника равна  $F = 7,2 \div 30,2$  м<sup>2</sup>, т. е. она в два раза больше поверхности парового, а поверхностная плотность теплового потока меньше таковой парового нагревателя вследствие меньшей температурной разности между водой и воздухом и составляет  $q_1 = 31\ 400 \div 46\ 500$  Вт/м<sup>2</sup>. Аппарат обеспечивает нагревание воздуха от —25 до 13—18 °С при температуре входящей воды 70 °С и отходящей 55—60 °С.

Электронагреватели воздуха типа ВВЭ представляют собой собранные в батареи прямолинейные или U-образные гладкие или оребренные трубчатые электронагревательные элементы (ТЭН).

Нагревательный элемент (рис. 22) состоит из металлической (сталь, латунь, медь или алюминий) трубки 2, внутри которой находится спираль 1 из нихромовой или фехральной проволоки диаметром 0,2—1,6 мм. В качестве наполнителя 3 используют периклаз (плавленую окись магния в порошке), электрокорунд (окись алюминия) или чистый кварцевый песок. Эти наполнители

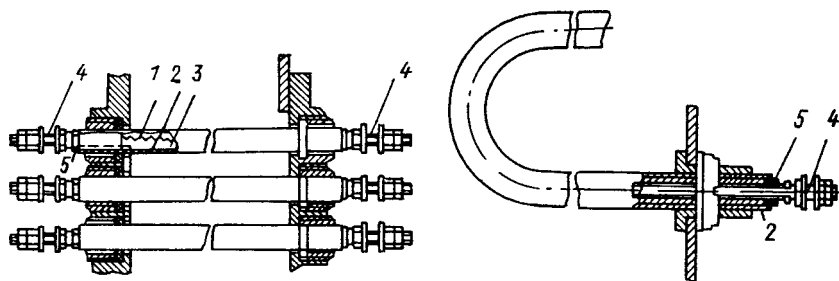


Рис 22 Гладкотрубные элементы электрических воздухонагревателей

обладают высокими теплопроводностью, жаростойкостью и хорошими электроизоляционными свойствами. Кварцевый песок в качестве наполнителя имеет ограниченное применение, так как при температурах выше 400—450 °С электросопротивление песка резко снижается.

Концы спирали приварены к стальным или никелевым контактными стержням 4. В торцах ТЭН между трубкой и контактными стержнями установлены керамические изоляторы 5 на кремнийорганическом лаке (ИП-9) или на стекловидной эмали. Наружный диаметр ТЭН, применяемых в судовых воздухонагревателях, колеблется в пределах 7—19 мм при толщине стенки 1—1,5 мм. Электронагреватели мощностью до 1 кВт имеют круглую форму, а свыше 1 кВт — прямоугольную. Они выпускаются как переменного тока (220, 380 В), так и постоянного (175, 220 и 320 В).

Технические характеристики электронагревателей воздуха типа НВЭ приведены в табл 8.

Таблица 8 Характеристики электронагревателей воздуха типа НВЭ

Марка	Подача воздуха, м <sup>3</sup> /с	Аэродинамическое сопротивление, Па	Мощность кВт
НВЭ 0,4/40	0,11	196	6
НВЭ 0,63/40	0,18	245	9
НВЭ 1/40	0,28	588	12
НВЭ 1,6/20	0,44	392	12
НВЭ 1,6/40	0,44	196	24
НВЭ 2,5/20	0,69	196	18
НВЭ 2,5/40	0,69	392	38
НВЭ 4/20	1,1	294	28
НВЭ 4/40	1,1	490	57
НВЭ 6,3/20	1,75	196	48
НВЭ 6,3/40	1,75	392	96

По сравнению с электронагревателями с открытыми спиралями трубчатые более надежны в работе, так как защищены от окисления и механических повреждений, и имеют большой срок службы.

## 2.2.4. Увлажнительные устройства

Паровой увлажнитель типа УВП (рис. 23) состоит из заглушенной с одного конца трубы 4 с просверленными по образующей отверстиями В месте соединения перфорированной части увлажнителя с паровым патрубком между фланцами 3 установлена диафрагма 2. Проходя через диафрагму, пар дросселируется и с пониженным давлением и скоростью направляется через отверстия в кондиционер, смешиваясь с воздухом, выходящим из нагревателя. С целью уменьшения шума работающего увлажнителя на перфорированную часть трубы устанавливают сетчатый глушитель 6. Прибор присоединяется к паровой магистрали при помощи накидной гайки 1, а соединение с кондиционером осуществляется с помощью фланца 5. Технические характеристики увлажнителей приведены в табл. 9.

Таблица 9 Характеристики увлажнителей воздуха типа УВП

Марка	Расход пара при давлении 0,4 МПа кг/с	Подача воздуха м <sup>3</sup> /с	Размеры, мм		
			L	L <sub>1</sub>	D
УВП 2	0,000 52	0,069	245	65	1,10
УВП 3	0 000 8	0,11	245	65	1,35
УВП 5	0,001 27	0,175	245	65	1,70
УВП 7	0 002	0,27	280	100	2,15
УВП 12	0,003 19	0,44	280	100	2,60
УВП 18	0 005	0,69	330	150	3,3
УВП 29	0,008 05	1,11	330	150	4,2
УВП 45	0,012 50	1,75	480	300	5,2
УВП 72	0,02	2,77	480	300	6,6

Увлажнение воздуха путем испарения воды в потоке воздуха осуществляется как в местных, автономных, так и в центральных судовых кондиционерах. Распыление воды в форсуночной камере кондиционера производится при помощи форсунок.

Способ увлажнения воздуха водой в судовых условиях не нашел широкого применения по причине громоздкости аппаратов для увлажнения воздуха и малой их эффективности (испаряющаяся влага составляет 2—3 % распыляемого ее количества).

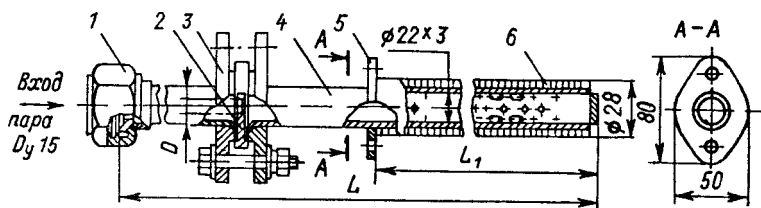


Рис 23 Паровой увлажнитель типа УВП

### 2.2.5. Процессы охлаждения и осушения воздуха

Охлаждение воздуха осуществляется при контакте его с поверхностью воды или твердой поверхностью, имеющей более низкую температуру. Процесс охлаждения воздуха водой изображается на диаграмме  $Id$  пучком прямых, расположенных в пределах угла, образованного линиями 1 и 6 (см. рис 18), проведенными из точки  $A$  к линии насыщения. При этом процессы, протекающие по линиям 3, 4 и 5, связаны с охлаждением и увлажнением воздуха, а по линии 1 — с его охлаждением и осушением.

Предположим, что начальное состояние охлаждаемого воздуха характеризуется точкой  $A$  (рис. 24). Если температура охлаждающей поверхности  $t_b$  выше температуры точки росы:  $t_b > t_p$ , то процесс охлаждения воздуха при контакте его с водой будет идти с одновременным увлажнением (линия  $AB$ ), а в процессе охлаждения твердой поверхностью влагосодержание воздуха останется неизменным:  $d = \text{const}$  (линия  $AK$ ).

При температуре охлаждающей поверхности  $t_b < t_p$  охлаждение воздуха будет осуществляться с одновременным его осушением (линия  $AB$ ). Процесс осушения будет иметь место и при температуре охлаждаемого воздуха выше  $t_p$ . В этом случае состояние прилегающего к охлаждающей поверхности слоя воздуха изменяется следующим образом. Сначала процесс охлаждения идет при  $d = \text{const}$  до состояния насыщения (линия  $AG$ ). При дальнейшем охлаждении воздуха до  $t_b$  процесс идет по линии насыщения  $\varphi = 100\%$  (линия  $GB$ ) и сопровождается конденсацией водяных паров из воздуха. Состояние охлажденного воздуха определится на прямой  $AB$  в соответствии с правилом смешения различных количеств воздуха с различными параметрами состояния (например, точка  $D$ ). Количество сконденсированной влаги из охлажденного воздуха составит  $d_A - d_D$ .

Осушение воздуха в процессе кондиционирования производят с целью уменьшения его влагосодержания. Процесс осушения воздуха (рис. 25) может проходить как при неизменных отдельных параметрах (например,  $t = \text{const}$  — линия  $AG$  и  $l = \text{const}$  — линия  $AD$ ), так и при изменении всех параметров, характеризующих состояние воздуха (линии  $AB$ ,  $AB$  и  $AE$ ).

Осушение воздуха, осуществляемое при  $t = \text{const}$  (линия  $AG$ ), сопровождается уменьшением энтальпии и относительной влажности. Уменьшение влагосодержания в процессе при  $l = \text{const}$  приводит к уменьшению относительной влажности и возрастанию температуры.

Процесс осушения по линии  $AB$ , как указывалось выше, происходит при контакте воздуха с поверхностью, имеющей температуру ниже точки росы. В этом случае наряду с уменьшением температуры воздуха увеличивается его относи-

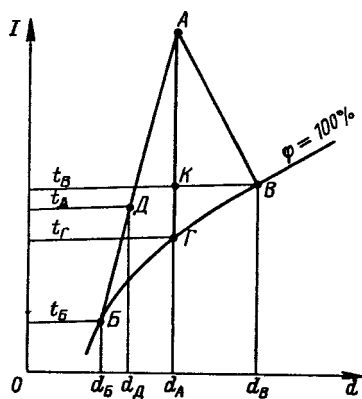


Рис. 24. Процессы охлаждения воздуха

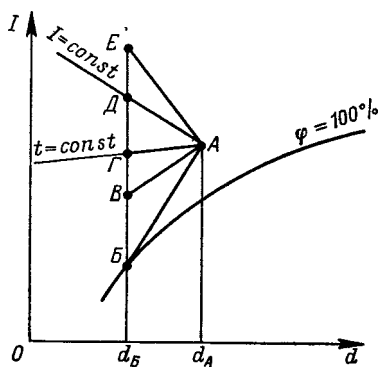


Рис. 25 Процессы осушения воздуха

тельная влажность. Линия  $AB$ , соответствующая процессу осушения, проходит выше линии  $AB$ , поэтому простым охлаждением такой процесс не может быть осуществлен. Для его реализации необходимо осуществить последовательно два и более процессов. Например, для получения воздуха состояния в точке  $B$  сначала воздух охлаждают и осушают до состояния в точке  $B$ , а затем нагревают при  $d = \text{const}$  до требуемого состояния, характеризующегося точкой  $B$ .

Процесс осушения (линия  $AD$ ) идет с уменьшением относительной влажности и возрастанием температуры. Состояние воздуха в точке  $D$  может быть получено по аналогии с предыдущим случаем, т. е. путем проведения двух процессов: охлаждения (линия  $AB$ ) и нагревания (линия  $BD$ ).

Воздух необходимого состояния в процессах осушения по линиям  $AB$ ,  $AG$ ,  $AD$  и  $AE$  можно получить двумя способами. Первый заключается в последовательном проведении простых процессов (например, охлаждение с осушением — линия  $AB$  и нагревание — линии  $BV$ ,  $BG$ ,  $BD$  и  $BE$ ). Второй способ осушения воздуха предусматривает использование некоторых веществ, обладающих способностью поглощать влагу из воздуха. Такие вещества называются сорбентами. Для целей осушения воздуха используются как твердые, так и жидкие сорбенты. Процесс поглощения водяных паров твердыми сорбентами называется адсорбцией, жидкими — абсорбцией.

Адсорбенты характеризуются капиллярной структурой. Поскольку парциальное давление водяного пара над вогнутой мениском воды в капиллярах ниже, чем в окружающем воздухе при той же температуре, в результате разности парциальных давлений водяного пара в окружающем пространстве и насыщенного пара над вогнутой поверхностью воды

в капиллярах происходит диффузия и конденсация влаги в адсорбенте.

Наиболее распространенными адсорбентами, которые нашли применение в технике кондиционирования воздуха, являются силикагель ( $\text{SiO}_2$ ) и алюмогель ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Силикагель представляет собой зернистое стекловидное вещество, близкое по составу к кварцевому песку. Для осушения воздуха используют силикагель с размером зерен 1—3 мм. Его плотность равна 640—700 кг/м<sup>3</sup>, объем капилляров составляет 40—50 % объема всего вещества, поверхность капилляров 1 кг силикагеля достигает 400 000 м<sup>2</sup>. С повышением температуры воздуха эффективность осушения силикагелем уменьшается. Поэтому при температуре воздуха выше 35 °С его применять не рекомендуется.

Алюмогель, или активированный алюминий, содержит около 92 % окиси алюминия и 8 % соды и окиси металлов. Активность алюминия примерно в пять раз меньше активности силикагеля. Использование алюмогеля ограничено температурой осушаемого воздуха, которая не должна превышать 25 °С.

Применение адсорбентов позволяет достичь практически полного осушения воздуха. Например, при осушении силикагелем можно уменьшить содержание влаги в воздухе до  $d = 0,079 \div 0,025$  г/кг.

Процесс осушения воздуха адсорбентами осуществляется без теплообмена с внешней средой, т. е. протекает адиабатически и направлен в сторону, противоположную процессу адиабатического насыщения воздуха водой. Конденсация пара в капиллярах адсорбента в процессе адсорбции сопровождается выделением скрытой теплоты конденсации и вместе с тем повышением температуры как самого адсорбента, так и осушаемого воздуха. Температура сорбента в процессе осушения соответствует установившемуся балансу теплоты между скрытой теплотой конденсации водяного пара и явной теплотой, переданной от адсорбента к воздуху.

Уменьшение энтальпии осушенного воздуха, равное энтальпии сконденсированной влаги при умеренных температурах, в расчетах не учитывается. Поэтому процесс осушения воздуха адсорбентами рассматривается как изоэнтальпический, т. е.  $I_A = I_D = I = \text{const}$  (линия АД на рис. 25).

Эффективность осушения воздуха твердыми поглотителями зависит от степени его увлажнения. С увеличением увлажнения адсорбента уменьшается его поглощающая способность, поэтому периодически производят регенерацию осушителя путем выпаривания из него влаги при температуре 150—300 °С.

К жидким поглотителям, применяемым для осушения воздуха, относятся водные растворы солей  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{LiBr}$  и др. Процесс осушения воздуха адсорбентами происходит в результате разности парциальных давлений водяного пара в пограничном слое над поверхностью раствора и в окружающем воздухе.

Благодаря меньшему значению парциального давления пара в пограничном слое абсорбента из воздуха постоянно поступает влага к поверхности и конденсируется в раствор

Применение абсорбентов позволяет осуществить наряду с осушением различные процессы изменения состояния воздуха. Изменяя температуру абсорбента и соотношение расходов воздуха и раствора, можно обеспечить проведение процессов *АВ*, *АВ*, *АГ*, *АД* (см рис 25)

Обработка воздуха абсорбентами проводится в контактных аппаратах. При этом процесс осушения может проходить непрерывно при включении в контур циркуляции раствора устройства для восстановления концентрации раствора (например, кипятильника и охладителя раствора)

Степень осушения воздуха абсорбентами ниже, чем адсорбентами. При использовании хлористого лития можно получить воздух с минимальным значением относительной влажности ( $\varphi = 14 \div 23 \%$ ), а в случае применения хлористого кальция —  $\varphi = 45 \div 48 \%$ . В установках технического и комфортного кондиционирования наиболее широко применяется водный раствор хлористого лития  $\text{LiCl}$  с концентрацией 41—43%. Раствор  $\text{LiCl}$  химически стоек, нетоксичен, неагрессивен по отношению к стали 45, латуни, алюминию, олову. Стоимость  $\text{LiCl}$  значительно ниже, чем стоимость  $\text{LiBr}$ , и несколько выше стоимости самого дешевого абсорбента —  $\text{CaCl}_2$ .

### 2.2.6. Воздухоосушительные установки

Основным элементом систем технического кондиционирования воздуха являются воздухоосушительные установки.

Осушение воздуха осуществляется абсорбционными или адсорбционными воздухоосушительными установками, а также получившими широкое распространение механическими осушителями. Абсорбционные осушительные установки представляют собой камеры орошения, в которых осушаемый воздух вступает в непосредственный контакт с разбрызгиваемым хлористым литием. Адсорбционные воздухоосушительные установки работают с применением в качестве осушителя силикагеля. Они имеют два адсорбера, один из которых работает на осушение воздуха, а второй осуществляет регенерацию силикагеля.

Механический осушитель представляет собой передвижную или переносную автоматизированную холодильную машину.

На рис 26 приведена принципиальная схема механического осушителя. Влажный воздух помещения вентилятором 4 прогоняется последовательно через ребристый воздухоохладитель 1 и ребристый конденсатор 3. Проходя воздухоохладитель, воздух охлаждается ( $t'_1$ ) и осушается ( $d_2$ ), а в конденсаторе нагревается при постоянном влагосодержании. Из осушителя воздух выходит осушенный ( $d_1 > d_2$ ) и подогретый ( $t_2 > t_1$ ). Охлажде-



ние воздуха в воздухоохладителе происходит за счет кипения хладагента (R-12 или R-22) при низкой температуре Пары хладагента из воздухоохладителя отсасываются компрессором 2, сжимаются и нагнетаются в конденсатор 3, где и конденсируются, отдавая скрытую теплоту конденсации воздуху Жидкий хладагент, проходя через регулирующий клапан 5, роль которого в механическом осушителе играет капиллярная трубка, дросселируется, в результате

чего давление падает до давления кипения в воздухоохладителе. В процессе кипения хладагента в воздухоохладителе температура его наружной поверхности поддерживается ниже температуры точки росы осушаемого воздуха Влага из воздуха конденсируется на наружной поверхности аппарата и собирается в поддоне 6, откуда выводится за пределы помещения

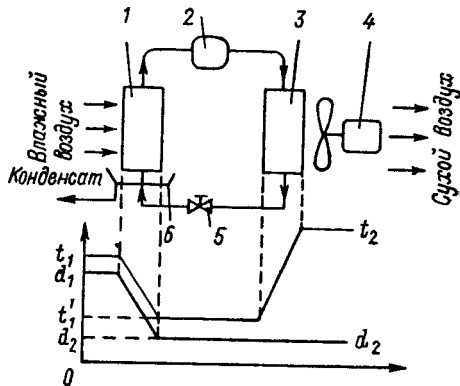


Рис 26 Принципиальная схема механического осушителя

### 2.2.7. Воздухоохладители

В технике кондиционирования для охлаждения воздуха применяются контактные и поверхностные воздухоохладители Если температура используемой для целей охлаждения воды (рассола) или температура поверхности охладителя ниже температуры точки росы, то наряду с охлаждением воздухоохладитель осуществляет осушение воздуха

Существуют два вида контактных воздухоохладителей с орошаемой насадкой и форсуночного типа

В *воздухоохладителях с орошаемой насадкой* обрабатываемый воздух прогоняется вентилятором через слой фарфоровых или металлических колец, расположенных между металлическими сетками Над насадкой из колец размещены форсунки, с помощью которых происходит орошение колец холодной водой

В *форсуночных воздухоохладителях* охлаждение воздуха осуществляется в результате его непосредственного контакта с разбрызгиваемой форсунками холодной водой (рассолом)

Контактные аппараты имеют ряд преимуществ перед поверхностными воздухоохладителями

более высокая температура охлаждающей воды или рассола, а следовательно, более высокая температура кипения хладагента

в испарителе за счет отсутствия разности температур через стенку, которая имеет место в поверхностных охладителях; очистка воздуха от пыли и некоторых запахов и вредных примесей (аммиака, хлористого водорода, хлора, сероводорода и др.),

благоприятная ионизация воздуха в результате балло-электрического эффекта;

возможность регулирования температуры и влажности обрабатываемого воздуха путем изменения температуры поступающей в аппарат воды или рассола.

Однако из-за больших габаритов и сложности эксплуатации в судовых условиях контактные воздухоохладители распространения на судах не получили.

*Поверхностный воздухоохладитель* представляет собой аппарат, состоящий из батареи трубок, по которым циркулирует охлаждающая среда (вода, рассол или кипящий хладагент), обдуваемых снаружи охлаждаемым воздухом. В некоторых случаях для интенсификации процесса охлаждения наружную поверхность воздухоохладителя орошают водой через форсунки. В этом случае увеличивается коэффициент теплопередачи, а также обеспечивается дополнительная очистка воздуха.

Поверхностные воздухоохладители отличаются компактностью и надежностью работы, в связи с чем они получили широкое распространение в судовых СКВ. В зависимости от охлаждающей среды, циркулирующей по трубкам, воздухоохладители разделяются на водяные, рассольные и непосредственного испарения.

В системах кондиционирования воздуха в основном применяются ребристые воздухоохладители. Разветвленная поверхность, получаемая благодаря ребрению, компенсирует низкий коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке трубки [ $60—230 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ ] по сравнению с коэффициентом теплоотдачи от стенки к циркулирующей внутри трубок теплопринимающей жидкости или кипящему хладагенту [ $800—8000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ ].

Существует несколько типов ребристых воздухоохладителей, изготавливаемых из круглых, плоских и каплеобразных трубок. Форма трубок влияет на аэродинамическое сопротивление воздухоохладителя, которое в свою очередь оказывает влияние на мощность вентилятора.

Ребревание круглых трубок производят прямоугольными пластинами, собирающими трубки в батареи (рис. 27, д), прямоугольными и круглыми ребрами (рис. 27, в, з), спиральной навивной лентой (рис. 27, б), а также путем накатки ребер на поверхность трубок (рис. 27, а). Существует также конструкция ребристой поверхности, полученная одной отливкой трубки с ребрами.

Эффективность работы ребра зависит от его формы, размеров и коэффициента теплопроводности. Проведенными исследова-

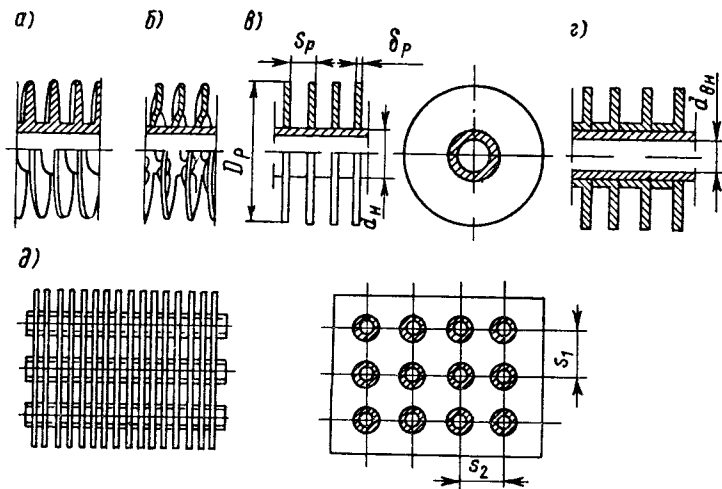


Рис 27 Типы оребрения круглых труб

ниями для каждого вида оребрения определены оптимальные значения размеров конструктивных элементов ребристой поверхности в зависимости от скорости обдувающего воздуха. Оптимальные значения межреберных расстояний  $S_p$  принимаются равными 2,3—4,0 мм, а толщины ребра  $\delta = 0,2 \div 0,5$  мм. Высота ребра  $h_p$  для пластинчато-трубной конструкции охлаждения принимается равной 5,8—7,5 мм. Для характеристики ребристых поверхностей введены понятия коэффициент оребрения  $\beta$  и степень оребрения  $\beta'$ .

Коэффициент оребрения  $\beta$  — это отношение наружной ребристой поверхности  $F_n$ , включающей поверхность ребер и участков трубок между ребрами, к наружной поверхности гладких трубок  $F_{тр}$ . Из определения следует, что  $\beta = F_n / F_{тр}$ .

Степень оребрения  $\beta'$  — отношение наружной поверхности  $F_n$  к внутренней поверхности трубок  $F_{вн}$ :  $\beta' = F_n / F_{вн}$ . Это отношение можно представить в виде

$$\beta' = \frac{F_n}{F_{тр}} \cdot \frac{F_{тр}}{F_{вн}} = \beta \frac{d_n}{d_{вн}},$$

где  $d_n$  и  $d_{вн}$  — соответственно наружный и внутренний диаметры трубок, м.

Для изготовления трубок и оребрения применяют материалы, имеющие высокий коэффициент теплопроводности. Трубки воздухоохладителя изготавливают из меди и мельхиора, а ребра — из меди. Кроме меди для изготовления оребренных трубок используют алюминиевый сплав и нержавеющей стали. Трубные доски выполняют из латуни и нержавеющей стали марки Х18Н10Т. Калачи с трубками соединяют пайкой серебряным припоем марки ПСр45.

На работу ребристых поверхностей большое влияние оказывают площадь контакта ребер с трубками и плотность их прилегания. Плотность контакта ребра и трубки достигается путем протяжки через каждую трубку с надетыми на нее ребрами конусной калиброванной пробки увеличенного по отношению к внутреннему размеру трубки диаметра. Увеличение площади контакта прямоугольных и круглых ребер достигается за счет образования отбортовки краев отверстий, а в спирально-навивном оребрении — путем удлинения линии контакта ребра с трубкой. Для улучшения контакта ребра с трубкой, а также с целью антикоррозионной защиты собранные пакеты-секции воздухоохладителей лудят или оцинковывают.

В судовых СКВ и вентиляции широко применяются нормализованные ребристые рассольно-водяные теплообменные аппараты и воздухоохладители, собранные из унифицированных нормализованных пакетов-секций.

Для целей охлаждения и осушения воздуха судовых помещений применяются также местные воздухоохладительные установки, состоящие из электровентилятора, цилиндрической оребренной батареи, каплеуловителя (элиминатора), поворотных жалюзи, объединенных в одном корпусе. Агрегат крепится к палубному перекрытию и обеспечивает горизонтальное направление движения охлажденного воздуха

Рассольно-водяные теплообменные аппараты выпускаются трех типов: охладители воздуха петлевые (ОВП), охладители-нагреватели воздуха (ОНВ) и охладители воздуха (ОВ). Аппараты первых двух типов работают как нагреватели воздуха при пропускании через них горячей воды. Аппараты ОВП, ОНВ и ОВ выпускаются с присоединительными фланцами, что позволяет устанавливать их непосредственно в вентиляционных магистралях или кондиционерах.

*Охладитель воздуха петлевой (ОВП)* — рис. 28, а — представляет собой пучок ребристых трубок, соединенных двумя латунными коллекторами с крышками, на которых имеются патрубки для подвода и отвода хладо- или теплоносителя, а также пробки для протекторов. Входная и выходная стороны по воздуху имеют фланцы для монтажа аппаратов в общесудовой СКВ. Трубки охладителя изготовляют из мельхиора, меди или латуни. Медные трубки имеют спирально-накатные ребра.

*Охладитель-нагреватель воздуха (ОНВ)* — рис. 28, б — состоит из ребристых трубок, заключенных между трубными досками, выполненными из латуни. Используется в системе искусственной вентиляции и в общесудовой СКВ. Аппараты ОНВ и ОВП имеют одинаковые основные размеры и характеристики.

В табл. 10 приведены технические характеристики ОВП и ОНВ. Число змеевиков указано для аппаратов ОВП, число трубок — для ОНВ.

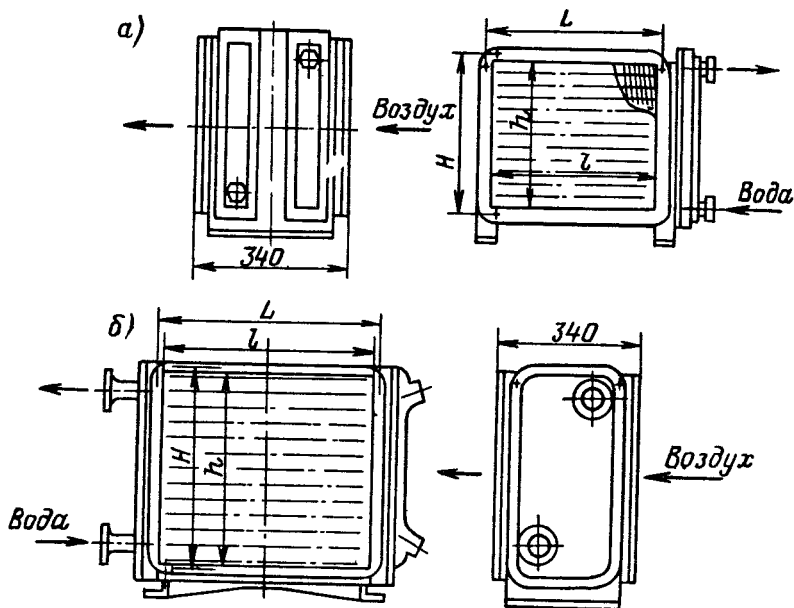


Рис 28 Охладитель воздуха типа ОВП

Характеристики аппаратов, предназначенных для работы в общесудовой СКВ, даны для следующего расчетного режима: температура и относительная влажность воздуха на входе в охладитель соответственно  $32^{\circ}\text{C}$  и  $75\%$ ; температура воздуха на выходе из охладителя  $18^{\circ}\text{C}$ ; температура хладоносителя на входе в аппарат  $10^{\circ}\text{C}$ .

Охладитель воздуха (ОВ) — рис 29 — выполнен из мельхиоровых трубок с оребрением из меди. Трубки закреплены в латунных трубных досках. Последние закрыты бронзовыми крышками с перегородками, которые обеспечивают изменение направления движения забортной воды по трубкам и четырехходовой ее проход в аппарате. Такие охладители применяются в системе искусственной вентиляции.

Технические характеристики аппаратов ОВ и их основные размеры приведены в табл. 11. Значения аэродинамического сопротивления аппаратов по воздуху соответствуют сухому теплообмену. При выпадении влаги на трубках охладителя его сопротивление увеличивается примерно вдвое. Характеристики даны для следующих расчетных параметров: температура и относительная влажность воздуха на входе в охладитель соответственно  $55^{\circ}\text{C}$  и  $30\%$ ; температура воздуха на выходе из охладителя  $33^{\circ}\text{C}$ ; температура забортной воды  $24^{\circ}\text{C}$ .

Конструкция аппаратов ОВП, ОНВ и ОВ позволяет устанавливать их в системах вентиляции и кондиционирования воздуха

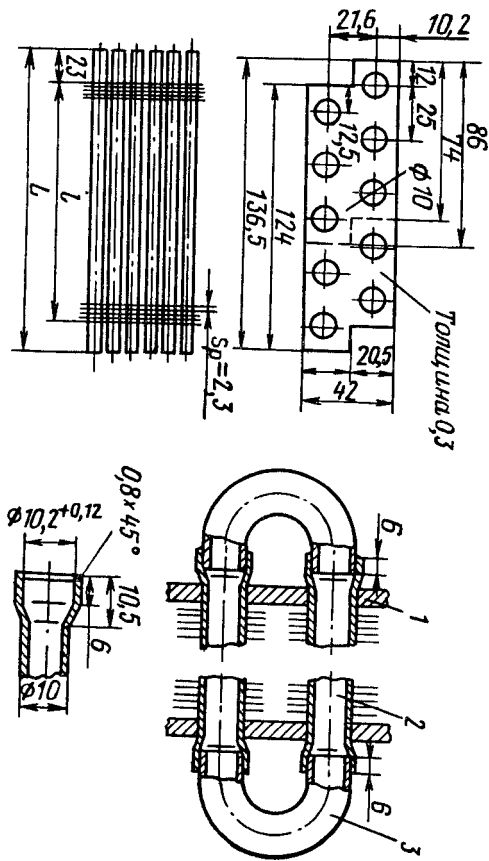
Таблица 10. Характеристики аппаратов типов ОВП и ОНВ

Тип	Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	Подача воздуха, м <sup>3</sup> /с	Количество охлаждающей воды, кг/с	Холодопроизводительность, Вт	Аэродинамическое сопротивление, Па	Размеры, мм					Число змеевиков (трубок), шт
						H	L	h	l	d	
ОВП-4, ОНВ-4	4	0,14	0,83	6 397	88,2	216	336	184	306	18	15 (90)
ОВП-6, ОНВ-6	6	0,22	1,16	10 234	107,8	298	336	266	306	18	23 (138)
ОВП-11, ОНВ-11	11	0,42	1,72	19 073	127,4	340	476	308	446	18	27 (162)
ОВП-16, ОНВ-16	16	0,55	2,36	25 580	117,6	468	476	436	446	18	39 (236)
ОВП-20, ОНВ-20	20	0,83	2,77	37 216	166,6	468	596	436	566	20	39 (236)
ОВП-25, ОНВ-25	25	1,1	3,88	50 009	196,0	572	596	540	566	20	49 (302)
ОВП-36, ОНВ-36	36	1,56	4,44	68 617	176,4	656	736	624	706	22	57 (350)
ОВП-48, ОНВ-48	48	2,08	6,11	91 877	176,4	845	736	814	706	22	75 (464)
ОВП-63, ОНВ-63	63	2,5	6,66	112 811	166,6	845	956	814	926	22	75 (432)

Таблица 11. Характеристики воздухоохладителей типа ОВ

Марка	Подача воздуха, м <sup>3</sup> /с	Количество охлаждающей воды, кг/с	Холодопроизводительность, Вт	Аэродинамическое сопротивление, Па	Размеры, мм								
					H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	h	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	l	d
ОВ-80	3,33	8,88	145 375	274,4	1060	884	620	854	1280	920	1026	1000	22
ОВ-100	4,17	11,11	184 917	274,4	1140	964	690	934	1430	1070	1176	1150	26
ОВ-125	5,56	13,88	241 904	313,6	1220	1044	740	1014	1560	1210	1316	1290	26
ОВ-200	9,72	19,44	4112 865	392,0	1480	1284	920	1284	2000	1584	1703	1677	32
ОВ-250-1	13,89	27,77	529 165	509,6	1640	1444	700	1414	2190	1750	1880	1854	32

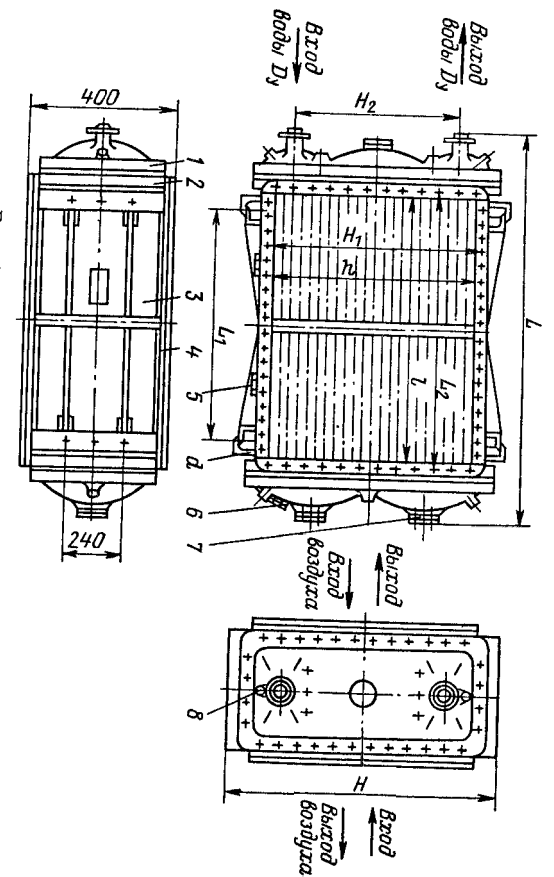
Рис. 30. Оребренные унифицированные нормализованные секции



В произвольном положении. Корпус охладителей изолируется экспанзитом.

Унифицированные нормализованные секции (рис. 30) состоят из шести или десяти трубок диаметром 10 мм, расположенных в два ряда в шахматном порядке и закрепленных в трубных досках. Оребренные трубок секции произведено сплошными медными пластинами.

Рис. 29. Охладитель воздуха типа ОВ.



На рис 30 показаны форма и размеры пластины для десятирубной и шеститрубной (отмечено штриховой линией) секций, узел крепления трубок 2 в трубных досках 1 и соединение трубок между собой при помощи калачей 3. Длина трубок в секции 1 и расстояние между трубными досками  $L$  различны. Нормальными на изготовление секции предусмотрены 26 размеров от  $l=145$  мм и  $L=190$  мм до  $l=1035$  мм и  $L=1080$  мм. Воздухоохладители с необходимой поверхностью теплообмена получают путем компоновки нескольких секций в единую конструкцию. Трубные доски секций крепят между собой при помощи сварки, а трубки соединяют калачами по определенной схеме пайкой припоем ПСр45. Коэффициент оребрения секций составляет  $\beta=13,5$ , степень оребрения  $\beta'=16,9$  при расстоянии между ребрами  $S_p=2,3$  мм. Оребренную поверхность секции покрывают слоем олова марки О1 толщиной 0,05 мм. Из унифицированных секций изготавливают рассольные воздухоохладители типа ВВ, воздухоохладители непосредственного испарения, работающие на хладоне-12 типа ВФ и на хладоне-22 типа ИВН.

Воздухоохладители типа ВВ (рис 31) устанавливают в судовых центральных кондиционерах типов «Муссон» и «Пассат». В качестве хладонотителя в этих аппаратах используется

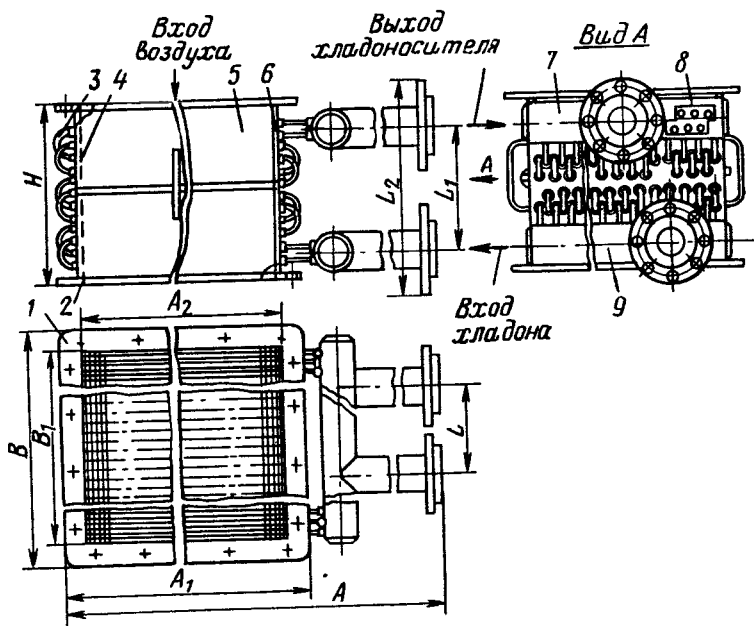


Рис 31 Воздухоохладитель типа ВВ

1, 2 — фланцы, 3 — калач, 4, 6 — трубные доски, 5 — боковая стенка, 7, 9 — выходной и входной коллекторы, 8 — унифицированная секция

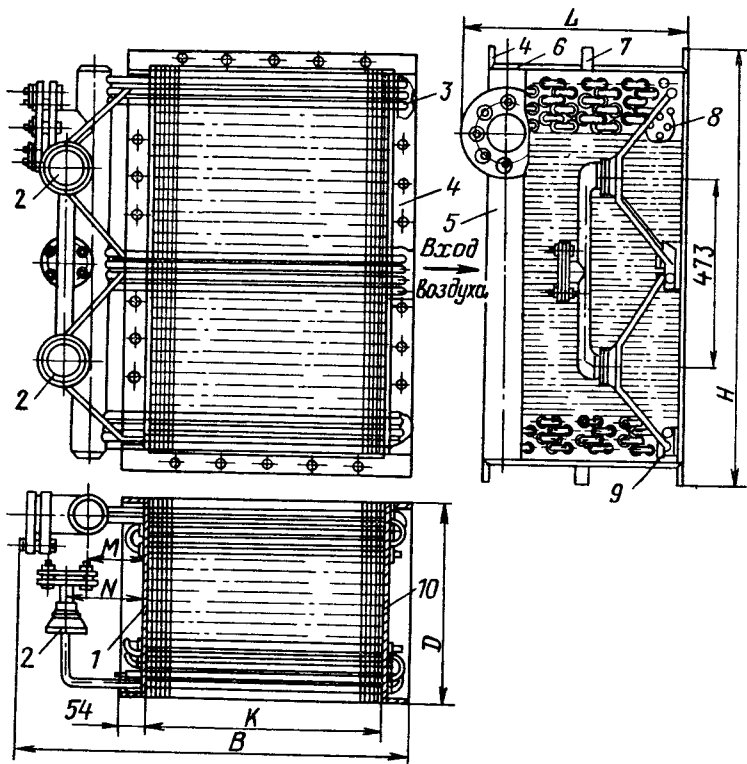


Рис 32 Воздухоохладитель типа ВФ

1, 10 — трубные доски, 2 — распределители хладона, 3 — калачи, 4 — фланцы, 5 — коллектор, 6 — боковые листы, 7 — ручки, 8 — шеститрубная секция, 9 — десятирубная секция

вода или рассол. Охладитель представляет собой батарею из унифицированных секций, имеющих 12 рядов трубок по ходу воздуха с числом трубок в каждом ряду от 22 до 47. Два нижних ряда трубок и два верхних соединены с коллекторами, которые служат для подвода и отвода хладонотителя. Технические характеристики охладителей, приведенные в табл. 12, соответствуют следующим расчетным параметрам: температура воздуха на входе  $32^{\circ}\text{C}$ , его относительная влажность 80 %; температура на выходе  $14^{\circ}\text{C}$ ; температура хладонотителя на входе  $8^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $11^{\circ}\text{C}$ . Аэродинамическое сопротивление аппарата составляет 230—340 Па, поверхностная плотность теплового потока наружной поверхности  $770\text{--}950\text{ Вт/м}^2$ .

Воздухоохладители типа ВФ (рис. 32) входят в состав центральных кондиционеров типов «Бриз» и «Экватор». Батарея воздухоохладителя, состоящая из унифицированных секций, включает 20 рядов по 21—41 трубке в каждом ряду. Трубки,



Таблица 12 Характеристики воздухоохладителей типа ВВ

Показатель	Марка				
	ВВ 19	ВВ 30	ВВ 48	ВВ 56	ВВ 67
Подача воздуха, м <sup>3</sup> /с	0,52	0,83	1,33	1,56	1,86
Холодопроизводительность, Вт	33 378	50 357	84 317	98 389	117 579
Расход хладоносителя, кг/с	3,49	5 52	7,36	10,3	12,3
Размеры мм					
<i>A</i>	638	763	940	913	938
<i>A</i> <sub>1</sub>	500	600	740	740	740
<i>A</i> <sub>2</sub>	390	490	630	580	630
<i>B</i>	650	800	950	1150	1150
<i>B</i> <sub>1</sub>	540	690	840	1040	1040
<i>H</i>	340	340	340	340	340
<i>L</i>	440	268	660	402	402
<i>L</i> <sub>1</sub>	351	386	386	386	386
<i>L</i> <sub>2</sub>	216	216	216	216	216

соединенные калачами, образуют секции, в которых через два распределителя («паука») подается кипящий хладон-12 В соответствии со схемой соединения трубок на каждый распределитель приходится от 21 до 41 трубки. Распределители обеспечивают равномерное поступление жидкого хладона в секции.

В табл. 13 даны характеристики аппаратов типа ВФ для параметров воздуха, аналогичных параметрам, принятым для воздухоохладителей типа ВВ. Указанная в таблице холодопроизводительность воздухоохладителей соответствует следующему режиму работы холодильной машины: температуры кипения хладона 5 °С, конденсации 35 °С, переохлаждения жидкости 30 °С, перегрева пара в аппарате 2—4 °С. Аэродинамическое сопротивление охладителей типа ВФ составляет 550—570 Па.

Трубки, калачи и ребра воздухоохладителя изготовлены из меди МЗ и покрыты полудой (олово О1). Кроме того, для

Таблица 13 Характеристики воздухоохладителей типа ВФ

Показатель	Марка				
	ВФ 19	ВФ 30	ВФ 48	ВФ 56	ВФ 67
Подача воздуха, м <sup>3</sup> /с	0 52	0,83	1,33	1,55	1 86
Холодопроизводительность, Вт	33 378	52 683	84 317	98 389	117 579
Наружная поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	60,8	96	152	178	214
Размеры, мм					
<i>H</i>	650	674	884	1050	1050
<i>B</i>	738	929	996	996	996
<i>L</i>	517	525	535	542	542
<i>K</i>	390	580	630	580	630
<i>D</i>	500	500	500	500	500
<i>M</i>	120	120	133	158	133
<i>N</i>	170	170	190	215	190

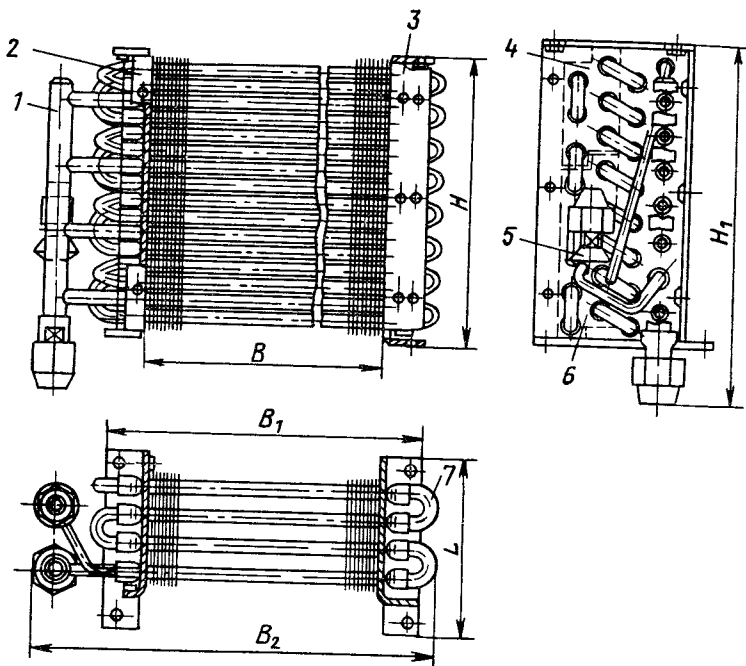


Рис 33 Воздухоохладитель типа ИВН

1 — коллектор, 2, 3 — трубные доски, 4 — шеститрубная секция 5 —  
распределитель хладона, 6 — десятирубная секция, 7 — калач

изготовления основных деталей аппарата применены следующие материалы: нержавеющая сталь марки Х18Н10Т (трубные доски и боковые листы); латунь Л62 (распределители), медно-никелевый сплав марки МНЖ5-1 (коллектор и соединительные трубопроводы). Соединение деталей выполнено пайкой припоём ПСр45

*Воздухоохладители типа ИВН* (рис 33) применяются в судовых автономных кондиционерах типа «Нептун» и представляют собой батарею, собранную из унифицированных секций, в трубках которых кипит хладон-22. Охладители изготавлиются с числом рядов 4 и 8 по 8, 14 и 20 трубок в ряду. Схемой соединения трубок предусмотрена подача жидкого хладона в секции батареи от распределителя в трубки первого ряда. Отсос паров из секций осуществляется по другим трубкам первого ряда через коллектор.

Технические характеристики аппаратов типа ИВН приведены в табл 14

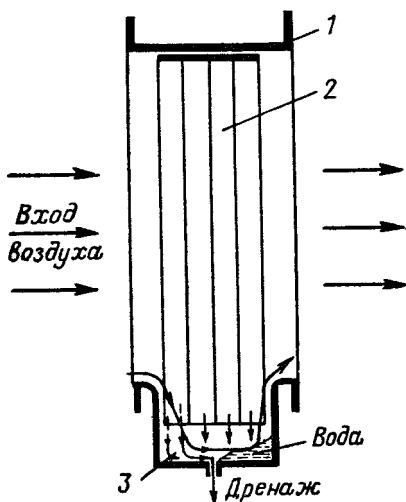
При охлаждении воздуха в воздухоохладителях и увлажнении его в форсуночных камерах возможен унос капельной влаги из аппаратов. Влага в воздухопроводах вызывает интенсивную

Таблица 14 Характеристики воздухоохладителей типа ИВН

Показатель	Марка			
	ИВН 18	ИВН 36	ИВН 72	ИВН 125
Холодопроизводительность, Вт	2 093	4 186	8 373	14 537
Подача воздуха, $M^3/c$	0,17	0,33	0,56	—
Наружная поверхность теплообмена, $m^2$	4,55	8,6	16,17	29,8
Аэродинамическое сопротивление, Па	70,56	77,42	58,80	224 42
Размеры, мм <sup>2</sup>				
<i>H</i>	212	212	362	512
<i>H</i> <sub>1</sub>	230	230	382	530
<i>L</i>	145	145	145	190
<i>B</i>	350	650	730	450
<i>B</i> <sub>1</sub>	434	734	815	535
<i>B</i> <sub>2</sub>	467	782	870	600

коррозию металла, а при попадании в обитаемые помещения ухудшает их санитарное состояние. Для улавливания капельной влаги из воздуха после его обработки применяются специальные аппараты, называемые элиминаторами или каплеуловителями.

Принцип работы элиминатора инерционного типа заключается в следующем. Воздух, содержащий капли влаги, проходит по извилистым каналам, образованным рядами гофрированных пластин; под действием инерционных сил капли влаги попадают на пластины, по ним стекают в поддон, а затем в дренажную систему.



На рис. 34 показана конструктивная схема элиминатора инерционного типа, получившая наибольшее распространение в судовых СКВ. Элиминатор состоит из корпуса 1, в котором закреплена кассета 2 из гофрированных пластин, изготовленных из сплава АМгЗ.

Рис 34 Конструктивная схема элиминатора инерционного типа

Пластины в кассете установлены параллельно направлению воздушного потока, при этом гофры пластин направлены вертикально. Нижняя часть корпуса служит поддоном 3, в котором собирается улавливаемая влага. Корпус имеет два присоединительных фланца, предназначенных для монтажа элиминатора в СКВ.

Промышленностью выпускаются элиминаторы типа ЭЛВ. Аэродинамическое сопротивление этих аппаратов составляет 18—66 Па при номинальном расходе воздуха соответственно 0,14—2,08 м<sup>3</sup>/с.

## 2.2.8. Кондиционеры

Кондиционер представляет собой комбинированный аппарат, в котором производится обработка как наружного, так и рециркуляционного воздуха с целью создания и поддержания необходимых параметров воздушной среды в помещениях независимо от изменения параметров наружной среды и процессов, происходящих внутри помещений.

Судовые кондиционеры подразделяются по следующим признакам:

месту производства холода и обработки воздуха: центральные, групповые, местные и автономные;

давлению воздуха, выходящего из кондиционера: низконапорные, средненапорные и высоконапорные,

числу ступеней тепловлажностной обработки воздуха: одноканальные и двухканальные;

применению охлаждающей среды: с непосредственным испарением хладона и с хладоносителем.

Кондиционеры выполняются, как правило, моноблочными (основные элементы — воздухоохладители, нагреватели, увлажнители, вентиляторы, фильтры и т. п. в едином корпусе). Аппараты, применяемые на судах, в основном рассчитаны на круглогодичное кондиционирование.

В центральных кондиционерах осуществляется производство холода и обработка воздуха, подаваемого в обслуживаемые помещения. Воздух, обработанный в одном или нескольких центральных кондиционерах, направляется по воздухопроводам в помещения.

Групповой кондиционер обеспечивает обработку и подачу воздуха для определенной группы помещений. Выработка холода для группы кондиционеров производится централизованно. Охлажденная в испарителе холодильной машины вода или рассол направляется по трубам к каждому кондиционеру, а обработанный воздух по воздухопроводам подается в помещения.

Центральные и групповые кондиционеры имеют одинаковое конструктивное исполнение.

Местные кондиционеры, устанавливаемые в каждом помещении, производят дополнительную тепловлажностную обработку приточного воздуха или смеси приточного с рециркуляционным воздухом помещения. Приточный воздух (наружный или смесь наружного с рециркуляционным) частично обрабатывается в центральных кондиционерах.

Автономный кондиционер включает в себя аппараты для тепловлажностной обработки воздуха, а также холодильную машину. Кондиционеры, предназначенные для обслуживания одного помещения, оборудованы выпускными решетками, а обслуживающие группу смежных помещений имеют выпускные патрубки.

Давление воздуха, создаваемое вентилятором на выходе из кондиционера, определяется аэродинамическим сопротивлением СКВ (воздухопроводы и воздухораспределители), которое в свою очередь является функцией скорости воздуха в воздуховодах. Поэтому, как правило, низконапорные кондиционеры одновременно являются низкоскоростными, средненапорные — среднескоростными, высоконапорные — высокоскоростными. В табл. 15 приведены значения напоров и скорости воздуха, развиваемых вентиляторами кондиционеров. В одноканальных

**Таблица 15 Напор и скорость воздуха, развиваемые вентиляторами кондиционеров**

Кондиционер	Полное давление, Па	Скорость воздуха, м/с	
		в магистралях	в ответвлениях
Низкоскоростной низконапорный	588— 980	15—17	6—8
Среднескоростной средненапорный	980—2450	17—22	8—12
Высокоскоростной выскоконапорный	2450—4655	22—30	12—20

кондиционерах весь обработанный воздух подводится к воздухо-распределителям в кондиционируемое помещение по одному воздуховоду, в двухканальных воздух обрабатывается последовательно в двух ступенях кондиционера и подается к воздухораспределителям по двум воздуховодам. После первой и второй ступеней параметры воздуха различны. Воздух из кондиционера подается к воздухораспределителям помещений от каждой ступени по самостоятельному воздуховоду. В воздухо-распределителях потоки смешивают в различных количественных соотношениях до получения необходимых параметров в помещении. Двухканальные кондиционеры могут быть использованы в одноканальных СКВ.

Кондиционеры с воздухоохладителями непосредственного испарения хладона в энергетическом отношении более выгодны, чем кондиционеры с водяными или рассольными воздухоохладите-

лями, так как температура кипения в системе непосредственного охлаждения выше температуры кипения в системе с применением хладоносителя. Однако из-за значительной протяженности хладоновых трубопроводов по судну возможна утечка хладагента. Поэтому кондиционеры с непосредственным испарением хладагента располагают вблизи холодильных машин.

**Центральные, групповые и местные кондиционеры.** На судах рыбопромыслового флота нашли применение центральные кондиционеры отечественной конструкции типов «Экватор», КЦВД, «Бриз», «Пассат», КЦВ и др. Например, на рыбообработывающей мучной базе «Пятидесятилетие СССР» установлены кондиционеры КЦВД 19/28 и КЦВД 48/28; на большом морозильно-мучном рыболовном траулере типа «Лучегорск» — КЦВ 19/17; на большом морозильном рыболовном траулере (БМРТ) типа «Алтай» — кондиционеры «Пассат-48»; на большом морозильном траулере-рыбозаводе «Пулковский меридиан» — «Бриз-56», на транспортном рефрижераторе (ТР) типа «Татарстан» — «Бриз-30»; «50 лет СССР» — кондиционеры типа «Экватор»; на средних рыболовных морозильных траулерах (СРТМ) типа «Железный поток» — кондиционеры 30/ИПУ34 и т. д.

Кондиционеры типов КЦВ, 30/ИПУ34 и другие относятся к группе одноканальных кондиционеров. На рис. 35 показана компоновка центрального кондиционера КЦВ 19/17. Наружный воздух подводится к нему по воздухопроводу через воздушный фильтр и первичный паровой воздухонагреватель. В кондиционер воздух нагнетается электровентилятором 1 в первичную камеру шумоглушителя 2, затем последовательно проходит через металлический масляный фильтр 3, воздухоохладитель 4, камеру с паровым увлажнителем 5, паровой воздухонагреватель 7 и попадает во вторичную камеру шумоглушителя (воздухораспределительную) 8, из которой через два прямоугольных патрубка с фланцами, расположенных сверху и сбоку камеры, по воздухопроводам направляется в кондиционируемые помещения. При движении по кондиционеру воздух изменяет направление и скорость, в результате чего из него отделяется капельная влага. Конденсат собирается в поддоне кондиционера и через дренажную трубу 6 отводится в судовую систему.

Подача воздуха кондиционером составляет  $1900 \text{ м}^3/\text{ч}$  при избыточном напоре воздуха на выходе из кондиционера 1660 Па. Холодопроизводительность кондиционера равна 38,4 кВт при расчетных параметрах наружного воздуха  $t_n = 32^\circ\text{C}$  и  $\varphi_n = 85\%$ . Теплопроизводительность его в зимнем режиме составляет 16,3 кВт при расчетной температуре обрабатываемого воздуха  $15^\circ\text{C}$  и его относительной влажности 10%. В первичном воздухонагревателе с поверхностью теплообмена  $1,3 \text{ м}^2$  воздух подогревается от  $-25$  до  $15^\circ\text{C}$ . На выходе из кондиционера

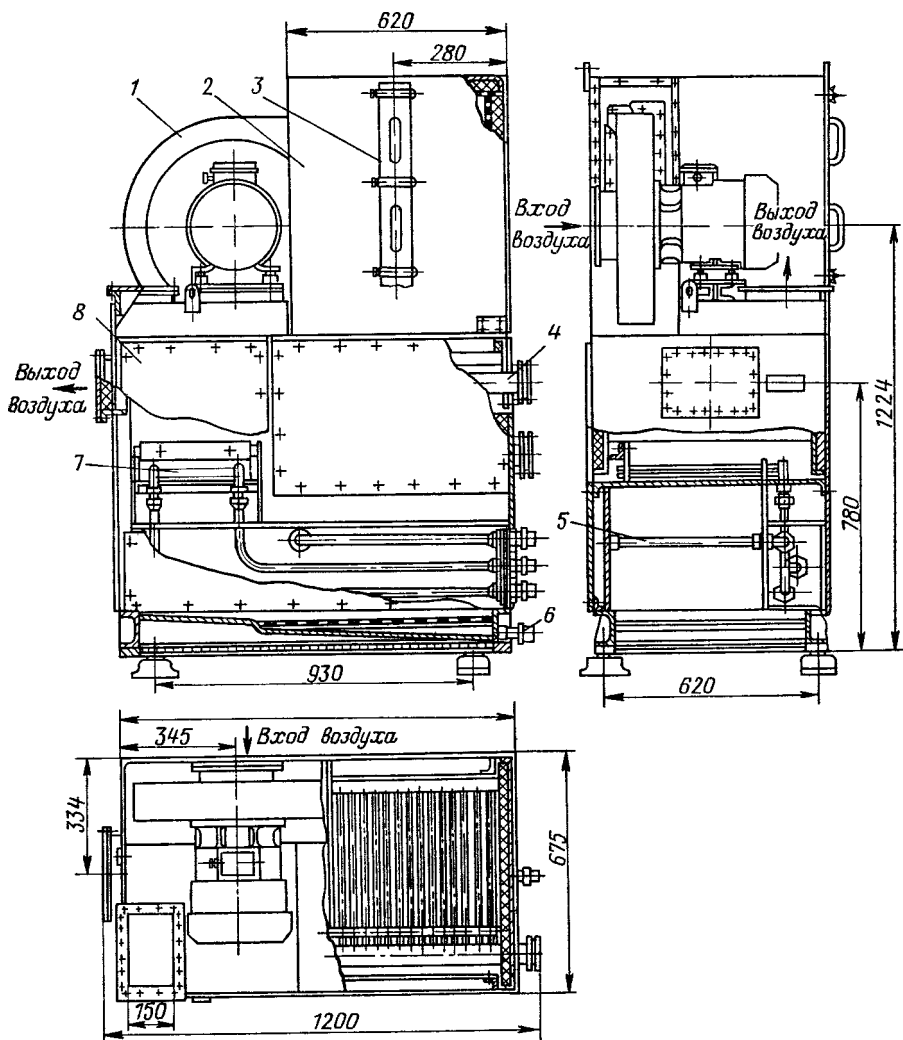


Рис 35 Центральный одноканальный кондиционер КЦВ 19/17

поддерживаются следующие параметры: в летнем режиме работы  $t_{\text{вых}} = 13^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{\text{вых}} = 100\%$ ; в зимнем  $t_{\text{вых}} = 40^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{\text{вых}} = 15\%$ .

Воздух охлаждается рассолом, имеющим температуру на входе в воздухоохладитель  $4^\circ\text{C}$ . Поверхность теплообмена аппарата равна  $35,8\text{ м}^2$ . Нагревание воздуха и его увлажнение осуществляются насыщенным паром с давлением  $0,5\text{ МПа}$ .

Охладитель и нагреватель воздуха представляют собой батареи, набранные из унифицированных оребренных секций. Охладитель имеет 12 рядов трубок по ходу воздуха, а нагреватель — два ряда трубок.

В кондиционере установлен электровентилятор марки 20ЦС-34 с подачей 2000 м<sup>3</sup>/ч воздуха при номинальном напоре 3283 Па. Приводом вентилятора служит электродвигатель переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц. Кондиционер оснащен пневматической системой автоматического регулирования

В конструкции кондиционера использованы алюминиево-магниевого сплавы (АМг5В и АМг3Н) В качестве теплозвукоизоляции применены маты из капронового волокна ВТ-4 и эластичный самозатухающий поропласт полиуретановый (ППУЭС). С целью уменьшения вибрации и шума нагнетательный патрубок вентилятора соединяют с камерой шумоглушения посредством резиновой эластичной диафрагмы, а кондиционер устанавливают на стандартных стальных резино-металлических амортизаторах типа АКСС.

Центральный одноканальный высоконапорный кондиционер типа 30/ПУЗ4 конструктивно выполнен аналогично кондиционеру типа КЦВ. Он обеспечивает подачу 2800 м<sup>3</sup>/ч воздуха при избыточном давлении на выходе из кондиционера 2350 Па. Холодопроизводительность составляет 40,8 кВт, а теплопроизводительность 34,8 кВт. На всасывающем патрубке кондиционера установлен воздухонагреватель типа НВП, пропускная способность по воздуху которого равна 300 м<sup>3</sup>/ч и поверхность нагрева 3 м<sup>2</sup>. Нагреватель предназначен для предварительного нагревания воздуха, поступающего в кондиционер в зимний период, от —25 до 15 °С. Схемой электрической автоматики предусмотрены: защита, регулирование, контроль и сигнализация работы кондиционера.

В обозначении кондиционера типа КЦВ цифра либо числитель дробного числа означает уменьшенную в 100 раз подачу воздуха кондиционером в метрах кубических в час, а знаменатель — избыточный напор, создаваемый кондиционером, также уменьшенный в 100 раз, в паскалях. Например, кондиционер КЦВД 19/28 обеспечивает подачу воздуха 1900 м<sup>3</sup>/ч и создает напор 2800 Па, подача воздуха кондиционера «Бриз-56» составляет 5600 м<sup>3</sup>/ч.

Кондиционеры типов „Экватор“ и КЦВД предназначены для одно- и двухканальных систем и имеют аналогичные моноблочные конструкции с тем лишь отличием, что в кондиционере „Экватор“ установлен воздухоохладитель непосредственного испарения (хладон-12), а аппараты ряда КЦВД имеют рассольные воздухоохладители. Кроме того, в кондиционерах КЦВД изменена компоновка элементов и применены вентиляторы повышенного напора.

На базе аппаратов „Экватор“ и КЦВД разработаны кондиционеры „Бриз“, „Пассат“, „Муссон“, имеющие одинаковую с ними конструкцию. В конструкциях типа „Бриз“ применены воздухоохладители непосредственного испарения, работающие на



хладоне-12, и паровые воздухонагреватели. Кондиционеры типа „Пассат“ имеют водяные воздухоохладители и паровые нагреватели, а в аппаратах типа „Муссон“ охлаждение и нагревание воздуха осуществляются водой. Все кондиционеры этого ряда изготавливаются левой и правой моделей в зависимости от расположения присоединительных фланцев для подвода хладагента и теплоносителей. У левой модели фланцы расположены справа, а у правой — слева, если смотреть на переднюю стенку кондиционера. Они выпускаются с подачей воздуха 1900, 3000, 4800, 5600 и 6700 м<sup>3</sup>/ч и избыточным напором 1960—3430 Па. Рассчитаны на круглогодичную обработку наружного воздуха с параметрами: летом  $t_n = 32^\circ\text{C}$  и  $\varphi_n = 80\%$ , зимой  $t_n = -25^\circ\text{C}$  и  $\varphi_n = 80\%$ . Расчетные параметры обработанного воздуха составляют: после первой ступени — летом  $t_1 = 37^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_1 = 60\%$ , зимой  $t_1 = 18^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_1 = 5\%$ ; после второй ступени — летом  $t_2 = 11^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_2 = 95\%$ , зимой  $t_2 = 45^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_2 = 12\%$ .

На рис. 36 показано устройство центрального моноблочного кондиционера типа „Экватор“. Он состоит из следующих основных элементов: сварного из алюминивно-магниевого сплава корпуса 1, металлического сетчатого масляного фильтра 6,

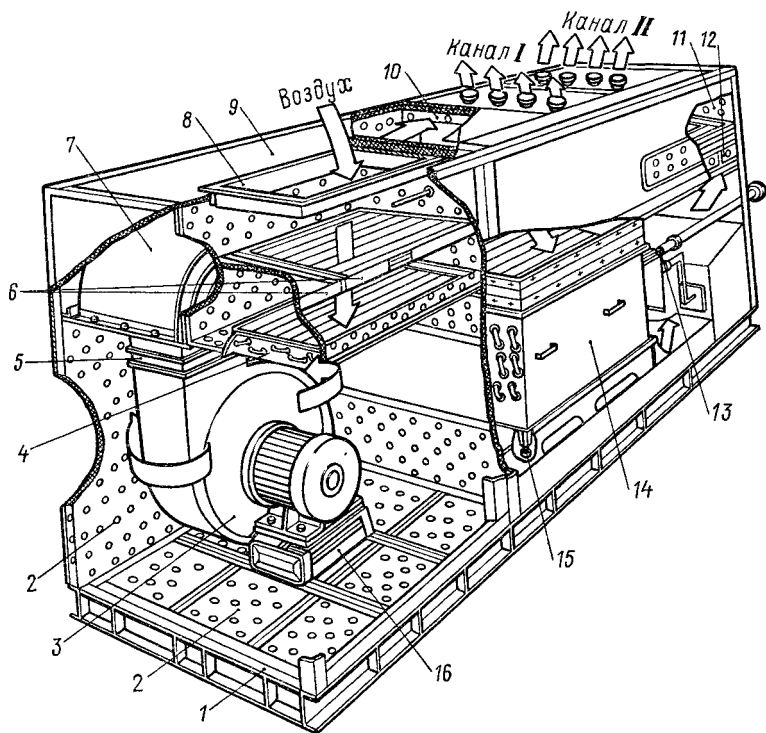


Рис 36. Устройство центрального двухканального кондиционера «Экватор»

первичного парового воздухонагревателя 4, электровентилятора 3, воздухоохладителя непосредственного испарения (хладон-12) 14, парового увлажнителя 13, парового воздухонагревателя вторичного подогрева 12. Для снижения шума в корпусе кондиционера установлены активно-реактивные глушители лабиринтного и камерного типов, кроме того, сам корпус изнутри изолирован теплозвукоизоляцией и обшит перфорированными листами 2. В качестве шумопоглощающего материала применены маты из капронового волокна и эластичный самозатухающий поропласт полиуретановый.

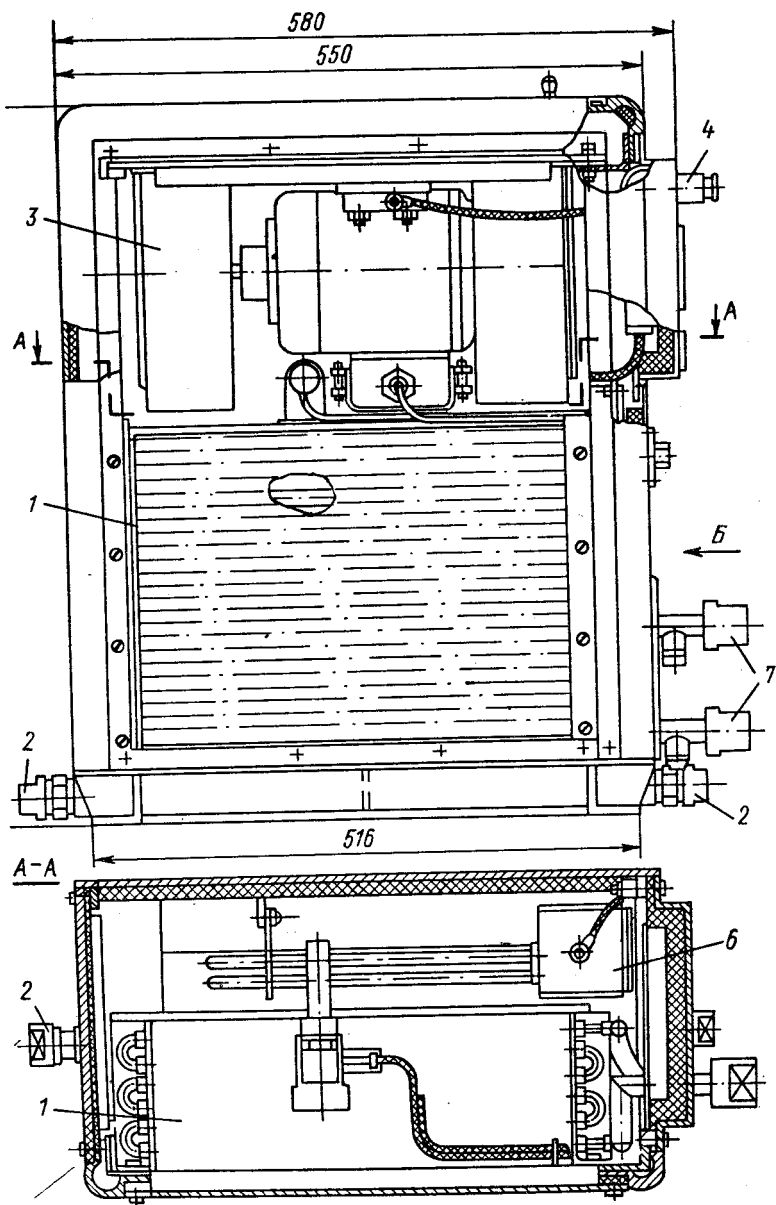
Наружный воздух входит в кондиционер через впускной патрубок 8, затем проходит противопыльный фильтр 6 и первичный паровой воздухонагреватель 4 и поступает во всасывающий патрубок электровентилятора 3, расположенного в звукоизолирующей выгородке. Вентилятором воздух подается через направляющий аппарат 7 в камеру 10, имеющую лабиринтный глушитель шума 9. При работе по двухканальной схеме часть воздуха отбирается из этой камеры по четырем патрубкам канала I. Остальной воздух проходит через воздухоохладитель с непосредственным испарением хладагента 14, увлажнительную камеру с паровым увлажнителем 13, паровой воздухонагреватель вторичного подогрева 12 и конечный камерный глушитель 11. Обработанный приточный воздух по четырем патрубкам канала II распределяется по помещениям.

Петлевая компоновка элементов кондиционера, при которой воздух, выходя из воздухоохладителя, меняет свое направление на 180 °С, обеспечивает отделение капельной влаги из воздуха без элиминатора. В корпусе кондиционера предусмотрен патрубок для аварийной перемычки между кондиционерами. Воздухоохладитель соединен с фундаментом кондиционера с помощью специального крепления 15.

В кондиционере установлен электровентилятор 56ЦС-34, обеспечивающий подачу воздуха 5600 м<sup>3</sup>/ч при полном давлении 3283 Па. Электродвигатель вентилятора типа АМ61-2 работает на переменном токе частотой 50 Гц напряжением 380 В и потребляет из сети мощность 10,1 кВт. Частота вращения электродвигателя 2900 об/мин. Он установлен на фундаменте 16 на амортизаторах типа АКСС. Нагнетательный патрубок вентилятора соединен с направляющим аппаратом 7 посредством резинового патрубка 5.

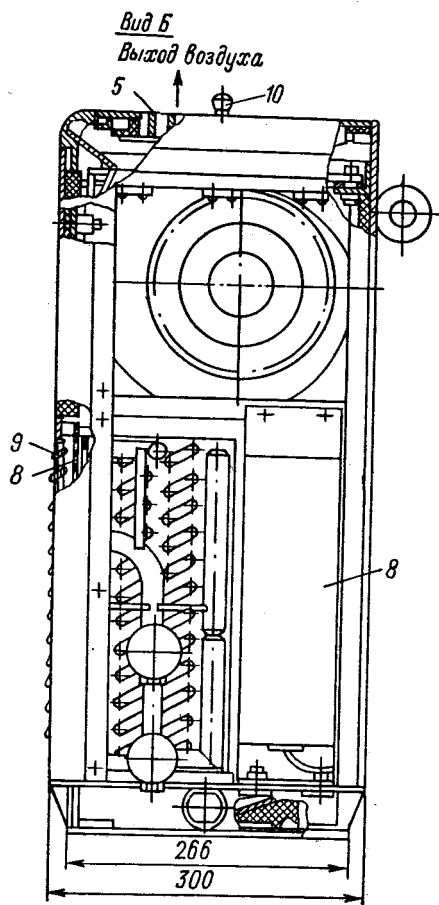
#### Основные технические характеристики центрального кондиционера „Экватор“

Подача воздуха, м <sup>3</sup> /ч . . . . .	5600
Давление за кондиционером, кПа . . . . .	1,9
Холодопроизводительность при температуре кипения хладона $t_0=5\text{ }^\circ\text{C}$ , кВт . . . . .	136
Теплопроизводительность, кВт . . . . .	154
Давление пара, МПа . . . . .	0,5



Кондиционер рассчитан на обработку наружного воздуха с параметрами: летом  $t_n = 34^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_n = 80\%$ ; зимой  $t_n = -25^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_n = 85\%$ . При нормальной работе кондиционера в летний период поддерживаются следующие параметры воздуха на выходе

Рис. 37. Устройство судового местного кондиционера



из кондиционера: после первой ступени  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_1 = 55\%$ ; после второй ступени  $t_2 = 11^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_2 = 95\%$ . В зимнее время температура после первой ступени поддерживается постоянной и равной  $18^\circ\text{C}$ , а после второй ступени регулируется в пределах от  $23$  до  $43^\circ\text{C}$ , в зависимости от температуры наружного воздуха.

Судовые местные кондиционеры применяются в однокапальных центральных СКВ для создания комфортных условий в каждом помещении путем дополнительной обработки воздуха и индивидуального регулирования параметров воздушной среды. Местный кондиционер представляет собой аппарат, состоящий из вентилятора и приборов для тепло-влажностной обработки воздуха в помещении. Обычно местные кондиционеры применяются в низконапорных СКВ.

На рис. 37 показано устройство серийного судового местного кондиционера отечественной конструкции. Он предназначен для круглогодичной обработки воздуха в помещениях в режимах охлаждения с осушением, нагревания и осушения с нагреванием. Наружный воздух в помещения подается специальной центральной системой. Воздух помещения поступает в кондиционер через жалюзийную решетку 9, проходит сетчатый капроновый фильтр 8, воздухоохладитель 1, электронагреватель 6, электродвигателем и выходит через регулирующую жалюзийную решетку 5. Направление выходящего воздуха можно изменять поворотом рукоятки 10. Хладоноситель (вода) подводится и отводится

вентилятор двустороннего всасывания со встроенным электродвигателем и выходит через регулирующую жалюзийную решетку 5. Направление выходящего воздуха можно изменять поворотом рукоятки 10. Хладоноситель (вода) подводится и отводится

через штуцеры 7, а конденсат поступает в дренажную систему через штуцеры 2. Штуцер 4 служит для подвода кабеля питания электронагревателя и электродвигателя.

Кондиционеры этой серии рассчитаны на обработку воздуха помещения с параметрами на входе  $t_n = 22^\circ\text{C}$  и  $\varphi_n = 60\%$ . При этом параметры воздуха на выходе из кондиционера составляют:  $t_{\text{вых}} = 11,5 \div 12^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{\text{вых}} = 87 \div 90\%$  в режиме охлаждения с осушением и  $t_{\text{вых}} = 21 \div 23^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{\text{вых}} = 44 \div 45\%$  в режиме осушения с нагреванием. Обработка воздуха в режиме осушения с нагреванием осуществляется в двух аппаратах: сначала воздух охлаждается и осушается в воздухоохладителе, а затем нагревается в электронагревателе. Холодопроизводительность кондиционера в расчетном режиме равна  $Q_0 = 3,25$  кВт, при этом температура воды на входе в воздухоохладитель с поверхностью теплообмена  $13,6$  м<sup>2</sup> равна  $6^\circ\text{C}$ , а на выходе составляет  $9,6^\circ\text{C}$ . Теплопроизводительность кондиционера  $2,32$  кВт, потребляемая мощность электронагревателя  $2,2$  кВт, электродвигателя  $0,2$  кВт.

Роль местных кондиционеров в высоконапорных СКВ выполняют доводочные приточные либо эжекционные воздухо-распределители.

В приточных воздухо-распределителях весь приточный (наружный и рециркуляционный) воздух, предварительно обработанный в центральном кондиционере, дополнительно обрабатывается перед подачей в помещение. Отечественной промышленностью выпускаются нормализованные приточные доводочные воздухо-распределители с водяным подогревателем типа ВДВП с номинальной подачей приточного воздуха  $80$ ,  $160$  и  $320$  м<sup>3</sup>/ч и теплопроизводительностью соответственно  $0,68$ ,  $1,3$  и  $2,68$  кВт.

Приточный воздухо-распределитель типа ВДВП, конструктивная схема которого представлена на рис. 38, состоит из сварного корпуса 1, выполненного из алюминий-магниевого сплава, в котором смонтированы водяной нагреватель 3, механизм регулирования 4 с приводной ручкой 5 на выходной решетке и установочная заслонка 2 для первоначальной установки подачи воздуха через воздухо-распределитель в период наладки системы. Приточный воздух проходит воздухо-распределитель по двум параллельно расположенным полостям — байпасной и теплообменной, затем смешивается в общем канале и выходит через решетку в помещение. Количество воздуха, проходящего по теплообменной полости, регулируется механизмом 4.

В эжекционном воздухо-распределителе дополнительной обработке подвергается только рециркуляционный воздух. Приточный воздух, предварительно обработанный в центральном кондиционере, проходя через сопло доводчика, эжектирует (подсасывает) воздух из помещения через теплообменный аппарат. Смесь приточного и обработанного рециркуляционного воздуха поступает в помещение.

Рис 38 Прямоточный доводочный воздухораспределитель типа ВДВП

Эжекционные доводчики могут быть со встроенными водяными охладителями-подогревателями либо только с подогревателями (водяными, электрическими).

В основе выпускаемых отечественной промышленностью эжекционных доводочных воздухораспределителей для высоконапорных систем заложена конструкция вентиляторных шкафчиков типа ШВКВ. На базе ШВКВ созданы более совершенные конструкции доводчиков типов ВРДК, ВДВЭ и ВДЭЭ. Доводчики типа ВРДК имеют лучшие акустические характеристики и внешний вид по сравнению со шкафчиками ШВКВ. Конструкция доводчиков типов ВДВЭ и ВДЭЭ в отличие от ШВКВ и ВРДК обеспечивает более эффективное глушение шума за счет изменения соплового устройства и имеет лучшее оформление. В аппаратах этого типа регулирование параметров воздуха в помещении осуществляется только по подаче приточного воздуха, а регулятор расхода хладотеплоносителя (водяной кран), который имеется в конструкциях ШВКВ и ВРДК, отсутствует.

Доводчики типов ВДВЭ и ВДЭЭ по форме и габаритам одинаковы. Конструктивное различие этих аппаратов состоит в том, что в ВДЭЭ вместо водяного охладителя-нагревателя установлен электронагреватель.

Доводочные воздухораспределители ВДВЭ выпускаются двух типоразмеров: ВДВЭ-80 и ВДВЭ-160 с подачей приточного воздуха 80 и 160 м<sup>3</sup>/ч. Номинальная холодопроизводительность 1,1 кВт и 1,86 кВт.

Благодаря применению доводчиков типа ВДЭЭ температура воздуха в помещении может регулироваться автоматически с помощью реле температуры путем включения и выключения трехфазного электронагревателя. Электронагревательная батарея состоит из оребренных ТЭН, питаемых от сети переменного или постоянного тока 220 или 380 В. Основные характеристики доводчиков типа ВДЭЭ приведены в табл. 16.

В качестве примера эжекционных доводочных воздухораспределителей на рис. 39 показано устройство доводчика типа ВДЭЭ. Аппарат состоит из следующих основных элементов: сварного корпуса 5, кожуха 2, электронагревательной батареи 7 с клеммной коробкой 12, регулирующего устройства 10, механизма регулирования количества приточного воздуха 4 с тягой 6 и ручкой 1, соплового устройства 8. Конструкция соплового

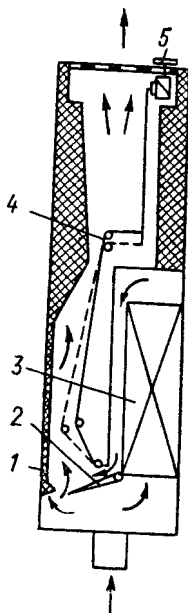


Таблица 16 Основные характеристики доводчиков типа ВДЭЭ

Марка	Расход воздуха, кг/с		Статическое давление перед воздухораспределителем Па	Теплопроизводительность, Вт	Температура воздуха на выходе, °С	Масса, кг
	приточного	рециркуляционного				
ВДЭЭ 80	80	160	686	1000	30	17
ВДЭЭ-160	160	320	686	2000	30	22

устройства выполнена в виде параллельно смещенных и последовательно расположенных камер (прямой и расширяющейся), соединенных расширяющимся каналом. Такое конструктивное решение соплового устройства улучшает акустическую характеристику доводчика. Корпус и сопловое устройство изготовлены из алюминиево-магниевых сплавов. Теплозвукоизоляция 9 аппарата выполнена из поропласта.

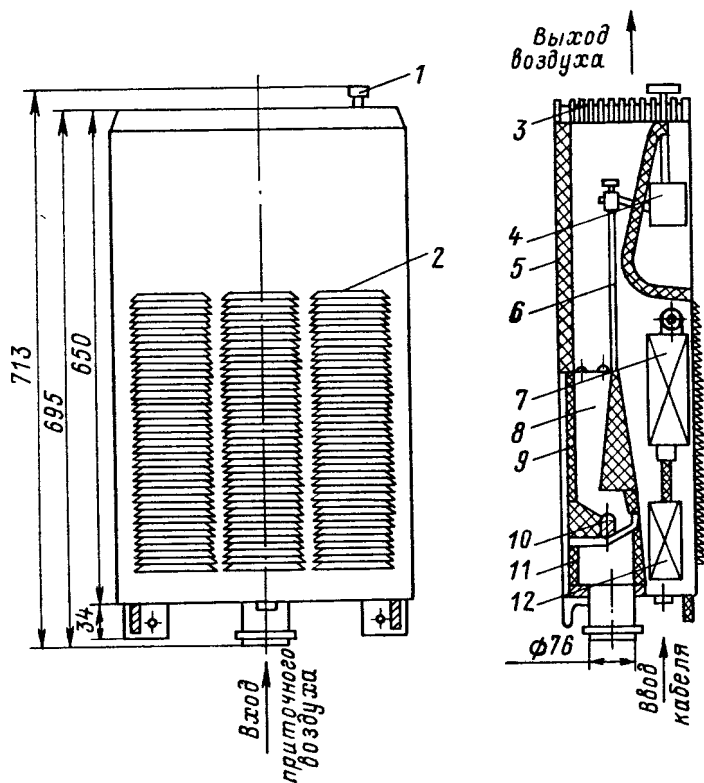


Рис 39 Эжекционный доводочный воздухораспределитель типа ВДЭЭ

Приточный воздух поступает через регулирующее устройство 10 в сопловое устройство 8.

При прохождении воздуха через сопловое устройство внутри аппарата создается разрежение, благодаря которому воздух из помещения через жалюзи кожуха 2 засасывается в аппарат и проходит через электронагревательную батарею 7. В сопловом устройстве приточный и рециркуляционный воздух смешиваются и попадают в помещение через выпускную решетку 3 в верхней части доводчика. На задней стенке 11 имеются специальные петли и отверстия для монтажа распределителя на переборке.

**Автономные кондиционеры.** Автономные кондиционеры подразделяются на местные (для одного помещения) и групповые (для группы смежных помещений). Обычно автономные кондиционеры располагают в обслуживаемом помещении. Поэтому для поддержания необходимых параметров воздуха в помещении требуется работа общесудовой вентиляции.

На рыбопромысловых судах нашли применение автономные кондиционеры „Климат-4“ (СРТМ типа „Железный поток“) и ряд кондиционеров типа „Нептун“ („Нептун-18“, „Нептун-36“, „Нептун-72“, используемые на транспортных рефрижераторах отечественной постройки).

На рис. 40 представлена схема компоновки кондиционера „Климат-4“. Он состоит из жесткого каркаса, имеющего съемные крышки, которые изнутри изолированы эластичным полиуретановым поропластом. В каркас вмонтирована хладонная (R-22) холодильная машина, состоящая из конденсатора 1, компрессора 2 и воздухоохладителя 4.

Приточный воздух поступает в кондиционер через входной патрубок 3 и смешивается с рециркуляционным, поступающим через решетку 10. Далее смесь движется снизу вверх, проходя последовательно противопыльный фильтр 9, воздухоохладитель 4, воздушонагреватель 5, и попадает в камеру электровентилятора 6. Затем смешанный воздух нагнетается вентилятором через увлажнительное устройство 7 и решетки 8 в помещение. Передняя решетка имеет поворотные жалюзи, предназначенные для изменения направления выходящего воздуха. Количество приточного воздуха, подаваемого в помещение, регулируется заслонкой 11.

В кондиционере применен центральный электровентилятор двусторон-

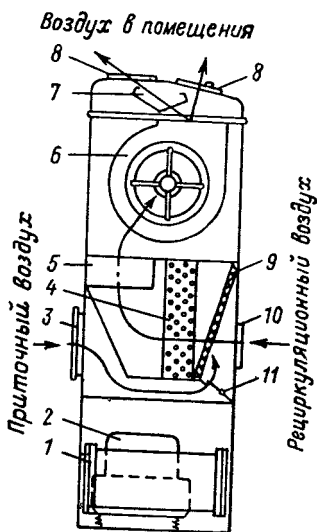


Рис 40 Конструктивная схема кондиционера «Климат-4»



него всасывания со встроенным электродвигателем асинхронного типа. Вентилятор обеспечивает подачу  $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха ( $300 \text{ м}^3/\text{ч}$  наружного и  $1200 \text{ м}^3/\text{ч}$  рециркуляционного) при полном давлении  $300 \text{ Па}$  и частоте вращения вала  $940 \text{ об/мин}$ .

Расчетные параметры наружного воздуха на входе в кондиционер: летом  $t_n = 32^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_n = 80\%$ ; зимой  $t_n = -25^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_n = 85\%$ . Параметры воздуха в помещении: летом  $t_{\text{пом}} = 27^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{\text{пом}} = 60\%$ ; зимой  $t_{\text{пом}} = 21^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{\text{пом}} = 50\%$ . Расчетная температура заборной воды  $t_{зв}$  принята равной  $30^\circ\text{C}$ , а ее расход составляет  $1000 \text{ кг/ч}$ . Рабочая холодопроизводительность кондиционера (при  $t_0 = 7^\circ\text{C}$  и  $t_k = 40^\circ\text{C}$ ) равна  $4,7 \text{ кВт}$ . Кондиционер потребляет от сети мощность, кВт, в режимах: охлаждения  $1,9$ ; нагревания  $8,9$ ; осушения (охлаждение и нагрев)  $9,5$ .

Увлажнительное устройство кондиционера состоит из форсунок, электронагревателя воды мощностью  $3 \text{ кВт}$ , мембранного клапана, каплеуловителя и трубопровода заборной воды. Электронагреватель мощностью  $7,2 \text{ кВт}$  представляет собой секцию из прямых трубчатых элементов. Кондиционер работает в автоматическом режиме и поддерживает температуру в помещении  $20\text{—}30^\circ\text{C}$  при  $\varphi = 40 \div 60\%$ .

Кондиционеры типа „Нептун“ рассчитаны на обработку наружного воздуха с параметрами: летом  $35^\circ\text{C}$  и  $65\%$ , зимой  $-25^\circ\text{C}$  и  $85\%$ ; при этом в помещении поддерживаются параметры: летом  $28^\circ\text{C}$ ,  $50\%$  и зимой  $20^\circ\text{C}$ ,  $40 \div 50\%$ .

Схемы компоновки автономных кондиционеров (местных и групповых) типа „Нептун“ представлены на рис. 41. Приняты следующие обозначения: ЭН — электронагреватель; ЭВ — электровентилятор; И — испаритель (воздухоохладитель); НВ — наружный воздух; РВ — рециркуляционный воздух; Ф — фильтр; К — компрессор; Кн — конденсатор, У — увлажнитель.

В качестве примера на рис. 42 показано устройство местного автономного кондиционера „Нептун-36“, схема компоновки которого приведена на рис. 41, а. Кондиционер состоит из жесткого бескаркасного корпуса 1, встроенной холодильной машины (компрессорно-конденсаторный агрегат 2 и испаритель 14), электронагревателя воздуха 7, электровентилятора 5, фильтра 13. На передней стенке корпуса кондиционера размещен пульт местного управления 9. Панель автоматики 10 установлена в верхней части кондиционера. Термореле 6 с датчиком 12 обеспечивает автоматическое управление кондиционером в режимах охлаждения (при  $t_{\text{пом}} > 23^\circ\text{C}$ ), нагревания (при  $t_{\text{пом}} < 23^\circ\text{C}$ ) и вентиляции. Схемой автоматизации предусмотрено также ручное управление. Количество наружного воздуха, поступающего в кондиционер, регулируется при помощи заслонки 3, переключатель 11 которой находится на правой боковой стенке. Обработанная в кондиционере смесь наружного и рециркуляционного воздуха, которая поступает

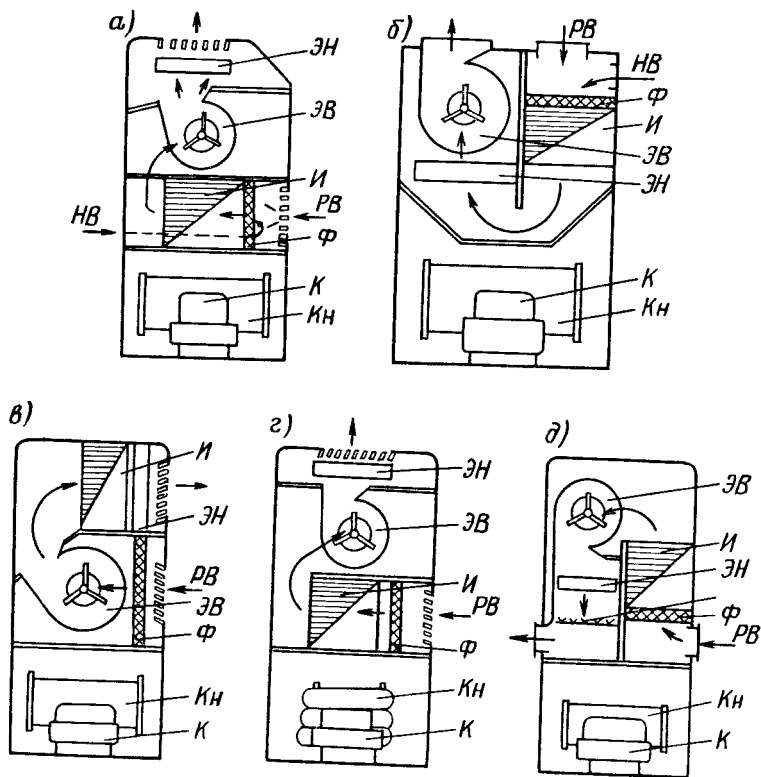


Рис 41 Схемы компоновки автономных кондиционеров типа «Нептун» а, в, г — местные, б, д — групповые

через входную решетку 4, подается в помещение через выходную решетку, находящуюся на крышке 8.

Холодильная машина (АХМ-36) работает на хладоне-22. Электронагреватель выполнен из прямых оребренных элементов. Подача воздуха электровентилятором составляет  $1200 \text{ м}^3/\text{ч}$  при соотношении между количеством наружного и рециркуляционного воздуха соответственно 130 и  $1070 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Рабочая холодопроизводительность (при  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  и  $t_k = 42^\circ\text{C}$ ) равна 4,2 кВт, при этом рабочая разность температур обработанного воздуха и воздуха помещения в режиме охлаждения равна  $5,5^\circ\text{C}$ , а в режиме нагревания  $7,6^\circ\text{C}$ . При температуре забортной воды  $30^\circ\text{C}$  ее расход на охлаждение составляет  $2000 \text{ кг/ч}$ . Мощность, кВт, потребляемая от сети кондиционером, равна в режимах: охлаждения 1,8; нагревания 6,3, вентиляции 0,2.

Групповые автономные кондиционеры по устройству незначительно отличаются от местных автономных. Примером первых может служить „Нептун 125“, установленный на креветочном траулере. Схема его компоновки представлена на рис. 41, б.

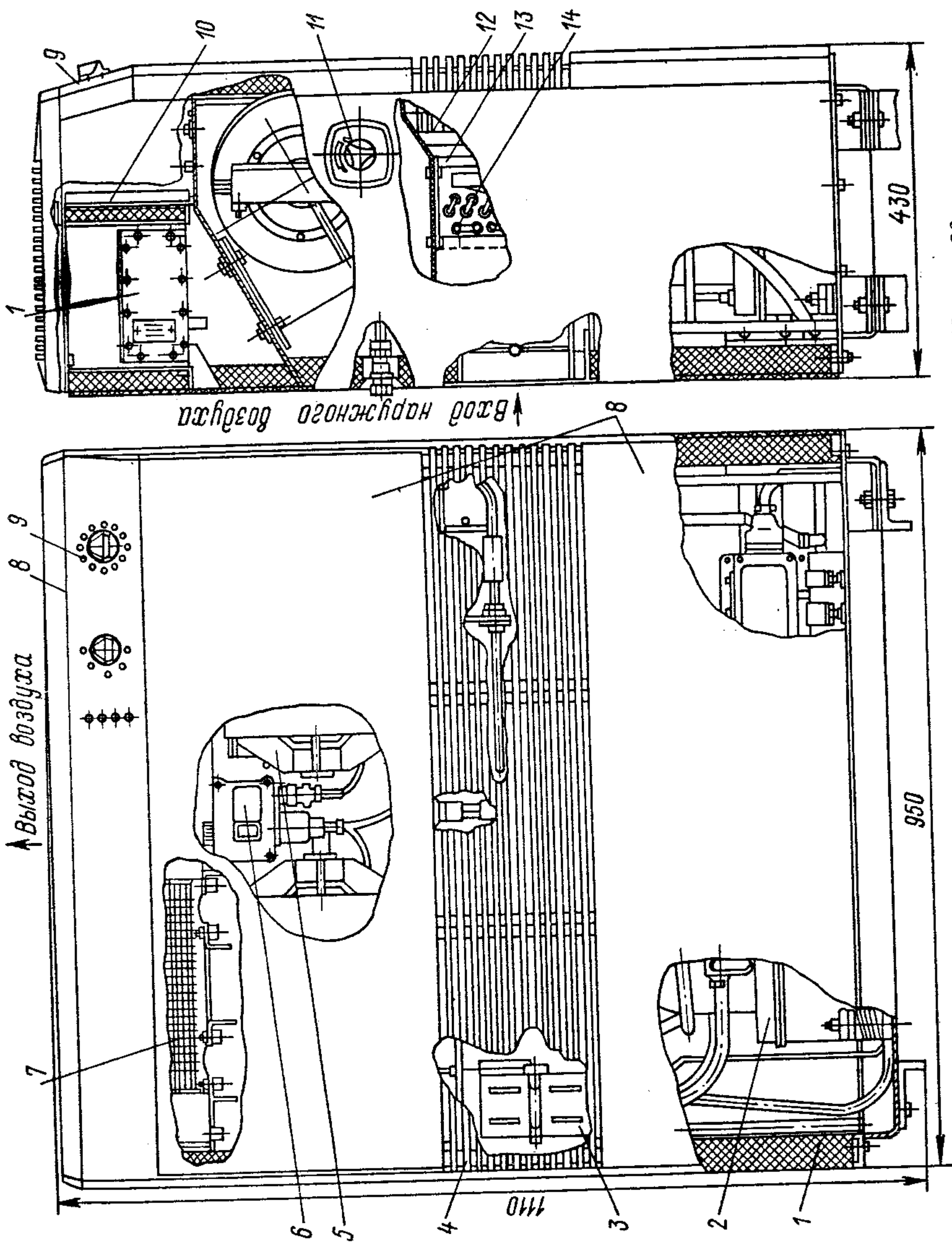


Рис. 42. Устройство местного автономного кондиционера «Нептун-36»

Основное конструктивное отличие этого кондиционера от местного типа „Нептун“ заключается в устройстве холодильной машины, работающей как по циклу охлаждения, так и по циклу теплового насоса. Кондиционер работает в режиме вентиляции, охлаждения и нагревания. Нагревание воздуха может осуществляться как холодильной машиной при работе по циклу теплового насоса, так и электронагревателем.

Параметры спецификационных режимов работы кондиционера „Нептун-125“ соответствуют параметрам работы местных кондиционеров типа „Нептун“. Общая подача воздуха электро-вентилятором ЦВД 25/68 составляет  $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ , в том числе рециркуляционного  $2250 \text{ м}^3/\text{ч}$  и наружного  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ , избыточный напор за кондиционером  $300 \text{ Па}$ . Холодопроизводительность кондиционера на спецификационном режиме  $Q_0 = 14,5 \text{ кВт}$  при расходе забортной воды  $G_b = 4000 \text{ кг/ч}$ . Теплопроизводительность кондиционера в режиме нагревания по циклу теплового насоса [ $t_0 = -(5 \div 6)^\circ\text{C}$ ,  $t_k = 40^\circ\text{C}$ ] равна  $11,6 \text{ кВт}$ , а в режиме нагревания электронагревателем —  $8 \text{ кВт}$ . Разность температур между воздухом на выходе из кондиционера и воздухом в помещении составляет,  $^\circ\text{C}$ : в режиме охлаждения  $8,5$ , в режиме нагревания по циклу теплового насоса  $10,2$  и в режиме нагревания электронагревателем  $16,3$ . Мощность, кВт, потребляемая от сети кондиционером, равна в режимах: вентиляции  $1,65$ , охлаждения  $6,65$ , нагревания по циклу теплового насоса  $5,65$ , нагревания электронагревателем  $9,75$ . Максимальная мощность, потребляемая кондиционером при совместной работе холодильной машины и электронагревателя, составляет  $14,75 \text{ кВт}$ . В последнее время отечественной промышленностью освоен выпуск судового автоматизированного группового автономного кондиционера АКМ-ГЭ (рис. 43). Он предназначен для круглогодичной обработки воздуха в жилых и служебных помещениях. Работает в режиме вентиляции, охлаждения, нагревания и нагревания с увлажнением как при автоматическом, так и при ручном управлении.

Спецификационные режимы работы кондиционера характеризуются следующими параметрами: в режиме охлаждения при температуре охлаждающей забортной воды  $t_{з.в} = 30^\circ\text{C}$  температура смеси наружного и рециркуляционного воздуха  $t_{см} = 27^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $\varphi_{см} = 65\%$ ; в режиме охлаждения при  $t_{з.в} = 35^\circ\text{C}$ ,  $t_{см} = 38^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{см} = 61\%$ , в режиме нагревания и нагревания с увлажнением при  $t_{з.в} = 30^\circ\text{C}$ ,  $t_{см} = 7,5^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{см} = 87\%$ . В помещениях поддерживаются температура в пределах  $20\text{—}30^\circ\text{C}$  и относительная влажность  $35\text{—}60\%$ .

Технические характеристики кондиционера АКМ-ГЭ приведены в табл. 17. Он работает от сети переменного трехфазного тока напряжением  $380 \text{ В}$  и частотой  $50 \text{ Гц}$ .

Кондиционер состоит из жесткого неразъемного корпуса, выполненного из профилей и листов алюминиево-магниевых

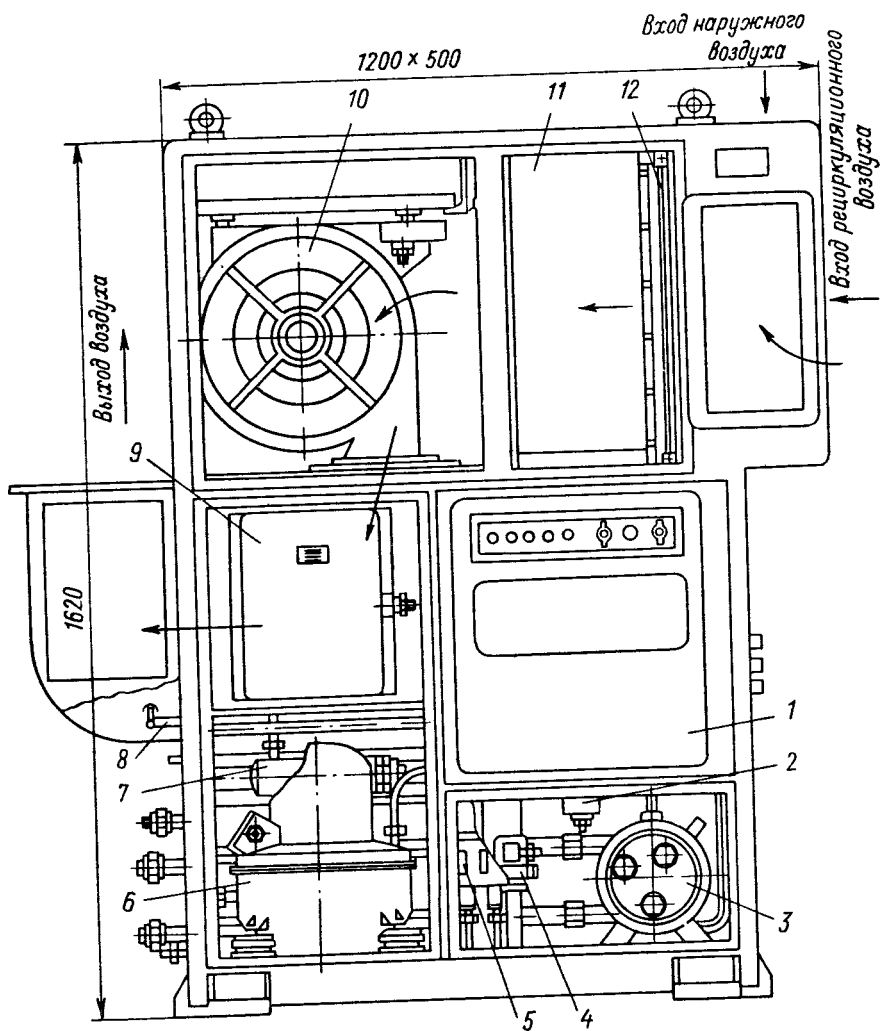


Рис. 43. Устройство группового автономного кондиционера АКМ-ГЭ.

1 — пульт местного управления, 2 — терморегулирующий клапан; 3 — конденсатор, 4 — клапан СКМ-10, 5 — реле давления, 6 — компрессор, 7 — нагреватель воды; 8 — увлажнитель; 9 — нагреватель воздуха, 10 — электроventильатор, 11 — воздухоохлаждитель, 12 — воздушный фильтр

сплавов, встроенной холодильной машины, работающей на  $R=22$ , электроннагревателя 9, электроventильатора 10, увлажнительного устройства 8 и системы автоматики. На передней стенке кондиционера размещены пульт местного управления 1 и противопыльный фильтр 12. На правой боковой стенке расположены: сальник для ввода питающего кабеля; штепсельные разъемы для подключения блока датчиков, соленоидного клапана СКМ-25,

Таблица 17. Технические характеристики кондиционера АКМ-ГЭ

Показатель	Спецификационный режим при	
	$t_{в} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{в} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$
Подача воздуха, м <sup>3</sup> /с:		
общая		0,417
рециркуляционного		0,292
наружного		0,125
Избыточное давление воздуха, Па		300
Холодопроизводительность, кВт	13,5	17,6
Теплопроизводительность, кВт	14	
Разность температур воздуха в помещении и обработанного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ , не более:		
в режиме охлаждения		10
в режиме нагревания		14
Расход охлаждающей заборной воды, кг/с	1,11	1,39
Расход пресной воды на увлажнение воздуха, кг/с		0,025
Мощность, кВт, потребляемая в режимах:		
охлаждения	5,6	6
нагревания		14,2
нагревания с увлажнением		17,5
вентиляции	0,7	0,8
Максимальная потребляемая мощность, кВт		17,5
Масса, кг		480

пускателя дополнительного электроventильатора и пульта дистанционного управления. Соленоидный клапан СКМ-25 перекрывает подачу заборной воды на конденсатор при выключении холодильной машины. На левой боковой стенке находятся штуцеры подвода и отвода заборной воды, подачи пресной воды, отвода дренажа и аварийного выброса хладагента.

Холодильная машина включает в себя герметичный поршнево-четырёхцилиндровый непрямоточный компрессор 6 марки ФГП14-0,1, водяной кожухотрубный конденсатор 3, воздухоохладитель с пластинчатым оребрением 11, терморегулирующий клапан 2. Для защиты холодильной машины от чрезмерного повышения и понижения давления установлено реле давления 5 марки РД4-04Т. Тепловую защиту электродвигателя компрессора обеспечивают терморезисторы, смонтированные в обмотки статора. При повышении температуры в холодильной машине свыше  $68\text{ }^{\circ}\text{C}$  осуществляется аварийный выброс хладагента через плавкую пробку.

В кондиционере установлен радиальный электроventильатор ЦВД 16/70 двустороннего всасывания со встроенным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым наружным ротором. В обмотку статора электродвигателя смонтированы терморезисторы тепловой защиты. Для смазки подшипников электродви-

гателя применена смазка ЦИАТИМ-2, обеспечивающая без замены 6000 ч работы. Электрической схемой предусмотрено подключение дополнительного вентилятора в случае, если аэродинамическое сопротивление воздухопроводов превышает избыточное давление, создаваемое основным вентилятором

Электронагреватель воздуха ЭНБ-13ТМ представляет собой батарею из трех одинаковых секций из U-образных трубчатых элементов мощностью 13,3 кВт. Предусмотрено двухступенчатое отключение элементов нагревателя с понижением мощности до 9,2 и до 4,1 кВт. Работа нагревателя рассчитана в потоке воздуха, имеющего скорость не менее 3 м/с. Тепловую защиту обеспечивают термисторы, установленные за нагревателем по ходу воздуха.

Увлажнительное устройство 8 состоит из двух форсунок, расположенных в выходном патрубке кондиционера, электронагревателя воды 7 мощностью 3 кВт, соленоидного мембранного клапана 4 марки СКМ-10 и водяного трубопровода. Увлажнение производится пресной водой под давлением 0,2—0,45 МПа. При отсутствии воды или недостаточном ее количестве электронагреватель отключается встроенной в него тепловой защитой.

Управление исполнительных механизмов осуществляется блоком датчиков, который устанавливается в обслуживаемом помещении. В блоке конструктивно объединены регуляторы температуры и относительной влажности. Регулятор температуры обеспечивает поддержание заданной температуры в диапазоне 20—30 °С с точностью  $\pm 1$  °С. Регулятор влажности управляет увлажнительным устройством, поддерживая относительную влажность в помещении 35—60 %. Датчиками регуляторов служат уравновешенные мосты, в плечи которых включены терморезисторы, воспринимающие изменение температуры, и калиево-натриевый элемент, реагирующий на изменение относительной влажности.

Для предупреждения обмерзания воздухоохладителя при работе кондиционера при начальных температурах по мокрому термометру 12,4—26 °С и температуре забортной воды 10 °С используется термореле ТР-5-ОМ5К-О2Т. В случае появления снеговой шубы термореле отключает компрессор, а теплый воздух, продуваемый через воздухоохладитель, производит ее оттаивание. По окончании оттаивания, продолжающегося 3—8 мин, термореле включает компрессор.

Для улучшения работы компрессора в период пуска при температуре окружающего воздуха ниже 20 °С предусмотрен подогрев масла в картере путем подачи пониженного напряжения на обмотку электродвигателя. Напряжение должно быть таким, чтобы обеспечивать поддержание температуры обмотки не выше 60 °С.

Управление кондиционером осуществляется с пульта местного или дистанционного управления.

## 2.3. СУДОВЫЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

### 2.3.1. Требования, предъявляемые к СКВ

Надежное поддержание в судовых помещениях определенных заданных параметров и состава воздуха независимо от метеорологических условий и внутренних факторов (изменение тепловой нагрузки) является основным требованием, предъявляемым к современным судовым СКВ.

Система кондиционирования воздуха должна обеспечивать отвод теплоизбытков из помещения в теплый период года (охлаждение воздуха), подвод теплоты в холодное время (нагревание воздуха) и постоянный отвод избыточной влаги.

Теплоизбытки в помещении создаются в результате явных теплопритоков (через ограждения, от солнечной радиации, людей и электрооборудования) и скрытых тепловыделений (энтальпия испарившейся влаги). Основным источником влаговыделений являются люди, которые создают в помещении избыточную влажность независимо от времени года. Уменьшить влажность воздуха в помещении можно либо его осушением (преимущественно летом), либо смешиванием наружного воздуха пониженной влажности с воздухом помещения.

В некоторых случаях (особенно в зимнее время) при низкой относительной влажности наружного воздуха для получения комфортных значений относительной влажности необходимо воздух увлажнять. С этой целью СКВ должны иметь в своем составе увлажнительное устройство.

Параметры и состав воздушной среды судовых помещений, поддерживаемые СКВ, должны соответствовать санитарно-гигиеническим нормам, определенным Санитарными правилами (см. раздел 2.1).

Кроме решения основных задач, изложенных выше, судовая СКВ должна отвечать следующим требованиям:

- обладать свойством быстро реагировать на изменение параметров наружного воздуха и нагрузок на оборудование;
- быть автоматической, обеспечивающей надежное и точное регулирование параметров воздуха в помещении;
- обеспечивать возможность регулирования параметров воздуха в помещении в зависимости от индивидуальных потребностей человека;

быть малошумной и не создавать вибраций;

быть высокоэкономичной при минимальных массе и габаритах;

при установке двух центральных кондиционеров должна быть предусмотрена возможность работы каждого из них на все обслуживаемые помещения;



кондиционер в помещении следует располагать так, чтобы обеспечивались удобство его обслуживания и проведение демонтажных работ в период ремонта; само помещение должно быть оборудовано вентиляцией и освещением и иметь шпигаты для отвода воды;

холодильная установка относительно кондиционера должна быть размещена так, чтобы обеспечивались ее надежность в работе и удобство в эксплуатации;

необходимо, чтобы прокладка воздухопроводов по судну была выполнена в соответствии с Правилами Регистра СССР в отношении противопожарной защиты и непотопляемости судна.

При наличии специальных требований судовая СКВ должна обеспечивать озонирование воздуха, его ионизацию и одоризацию.

### 2.3.2. Классификация СКВ

В состав судовых СКВ входит: оборудование, предназначенное для обработки воздуха, его транспортировки и распределения; источники теплоснабжения; средства автоматики и вспомогательные устройства (доводочные прямоточные и эжекционные воздухораспределители и шумоглушители).

Как правило, основное оборудование, обеспечивающее обработку и перемещение воздуха, komponуется в одном агрегате — кондиционере.

В соответствии с классификацией кондиционеров судовые СКВ можно подразделить на центральные, групповые, местные и автономные; низко-, средне- и высоконапорные; одно- и двухканальные; с непосредственным испарением хладагента и с хладоносителем.

На морских судах применяются различные СКВ, большая часть которых обеспечивает круглогодичное кондиционирование с частичной рециркуляцией воздуха.

Отличительной особенностью СКВ на рыбопромысловых судах является применение высоконапорных центральных одно- или двухканальных систем с индивидуальным регулированием параметров воздушной среды в помещениях. Например, одноканальными высоконапорными СКВ оборудованы тунцеловная база „Ленинский луч“, рыбообрабатывающая база „Профессор Баранов“, рыбозаморозильный траулер „Прометей“, транспортные рефрижераторы („Прибой“, „Амурский залив“, „Карл Либкнехт“) и др. Двухканальные высоконапорные системы установлены на БМРТ „Пулковский меридиан“, ТР „50 лет СССР“ и др.

Кроме высоконапорных центральных систем на судах рыбопромыслового флота широко используются автономные СКВ.

Одноканальные высоконапорные центральные СКВ выполняются с дополнительной обработкой воздуха в воздухо-распределителях и без нее.

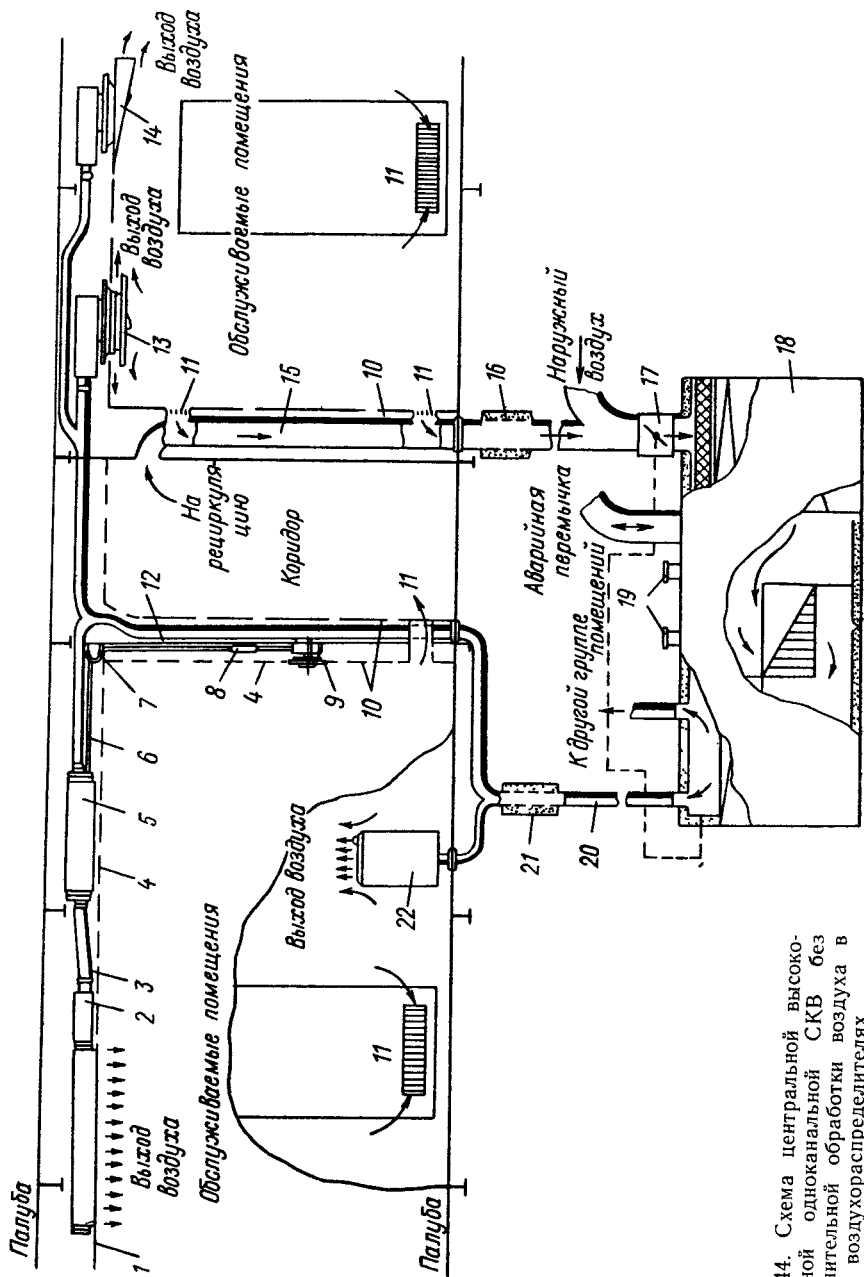


Рис. 44. Схема центральной высоко-напорной одноканальной СКВ без дополнительной обработки воздуха в воздухораспределителях

### 2.3.3. Одноканальные СКВ без дополнительной обработки воздуха

Принципиальная схема центральной высоконапорной одноканальной системы без дополнительной обработки воздуха в воздухораспределителях показана на рис. 44, а на рис. 45, изображены процессы изменения состояния влажного воздуха в системе.

При летнем режиме работы (рис. 45, а) наружный воздух состояния в точке  $H$  и рециркуляционный воздух состояния в точке  $P$ , отсасываемый из помещения по воздухопроводу 15 с глушителем шума 16, поступает в кондиционер 18. В рассматриваемой схеме с кондиционером „Экватор“ первый канал глушен. Состояние смеси наружного и рециркуляционного воздуха перед кондиционером определяется точкой  $A$ . Положение точки  $A$  на прямой  $HP$  зависит от соотношения количеств смешиваемого воздуха.

Подогретый в вентиляторе (точка  $B$ ) воздух проходит через поверхностный воздухоохладитель, где охлаждается и осушается (процесс  $BB'$ ). Состояние воздуха после воздухоохладителя (точка  $B'$ ) зависит от температуры поверхности охлаждения  $t_{01}$ , скорости воздуха и поверхности теплообмена. Затем воздух направляется по напорному воздухопроводу 20, имеющему глушитель 21, к воздухораспределительно-регулирующим и регулирующим устройствам 2, 5, 13, 14, 22. Регулирующее устройство 5 типа РР имеет дистанционное управление, состоящее из троса 6, ролика 7, талрепа 8 и пульта 9. При помощи резиноканевого патрубку 3 устройство соединено с перфорированной панелью типа ВП, через которую воздух поступает в помещение. Воздухораспределительное устройство 2

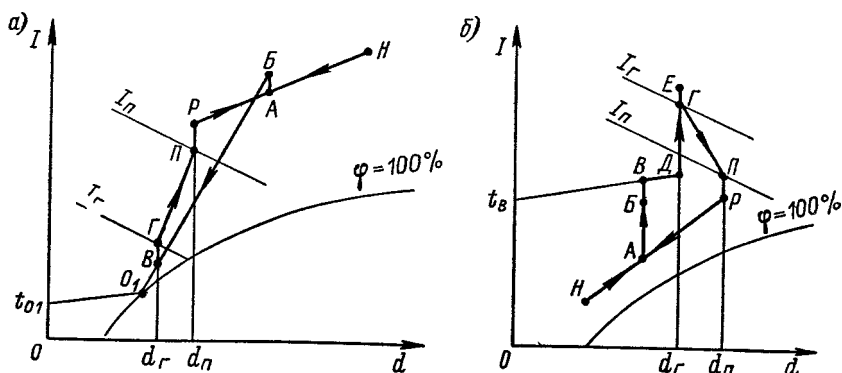


Рис. 45 Процессы кондиционирования воздуха в центральной высоконапорной одноканальной системе без дополнительной обработки воздуха в воздухораспределителях в летний (а) и зимний (б) периоды

находится под зашивкой 1 подволока, а регулирующее устройство 5 и его дистанционное управление закрыты съёмными листами зашивки 4. Неиспользуемые напорные патрубки кондиционера закрываются заглушками 19.

Проходя по напорному трубопроводу, воздух подогревается (процесс ВГ). В расчетах принимается в напорных воздухопроводах от кондиционера до обслуживаемого помещения повышение температуры воздуха на 1—4 °С в зависимости от протяженности трубопровода. Повышение температуры воздуха в вентиляторе составляет примерно 1 °С на каждые 1000 Па напора, развиваемого вентилятором. В помещении обработанный воздух ассимилирует теплоту и влагу (процесс ГП). Тепловлажностная характеристика процесса ассимиляции теплоты и влаги имеет вид

$$\epsilon = \frac{I_D - I_G}{d_D - d_G}$$

Из обслуживаемых помещений часть воздуха идет на рециркуляцию, а остальная часть выводится в атмосферу через решетки 11, установленные в зашивке 10 переборки 12. На пути к кондиционеру воздух, проходя по коридору и воздухопроводу, нагревается на 1—3 °С при постоянном влагосодержании (процесс ПР)

В зимнем режиме работы (рис. 45, б) точки Н, Г, П характеризуют состояние наружного воздуха, подаваемого воздуха и воздуха в помещении. Точка А, характеризующая смесь рециркуляционного и наружного воздуха, определяется на линии НР с помощью равенства (17). Воздух, проходя по кондиционеру, подогревается в первичном паровом воздухонагревателе (процесс АВ) и в вентиляторе (процесс ВВ), увлажняется паром (процесс ВД), нагревается во вторичном паровом воздухонагревателе, (процесс ДЕ) и охлаждается в воздухопроводах (процесс ЕГ). Процесс увлажнения паром проходит по изотерме (см. § 5). Линия ГП изображает процесс охлаждения и увлажнения воздуха в обслуживаемом помещении, а линия ПР — процесс охлаждения воздуха в коридорах и воздухопроводах. С целью уменьшения теплообмена между воздухом в магистралях и окружающей воздушной средой воздухопроводы СКВ изолируют.

В одноканальных высоконапорных СКВ без дополнительной обработки воздуха применение рециркуляции воздуха и регулятора давления 17 (см. рис. 44) повышает экономичность системы. Регулирование приточного воздуха производится в помещениях.

Распределение приточного воздуха в кондиционируемых помещениях осуществляется с помощью воздухораспределительных устройств, которые в высоконапорных системах работают с повышенной разностью температур между воздухом в помещении

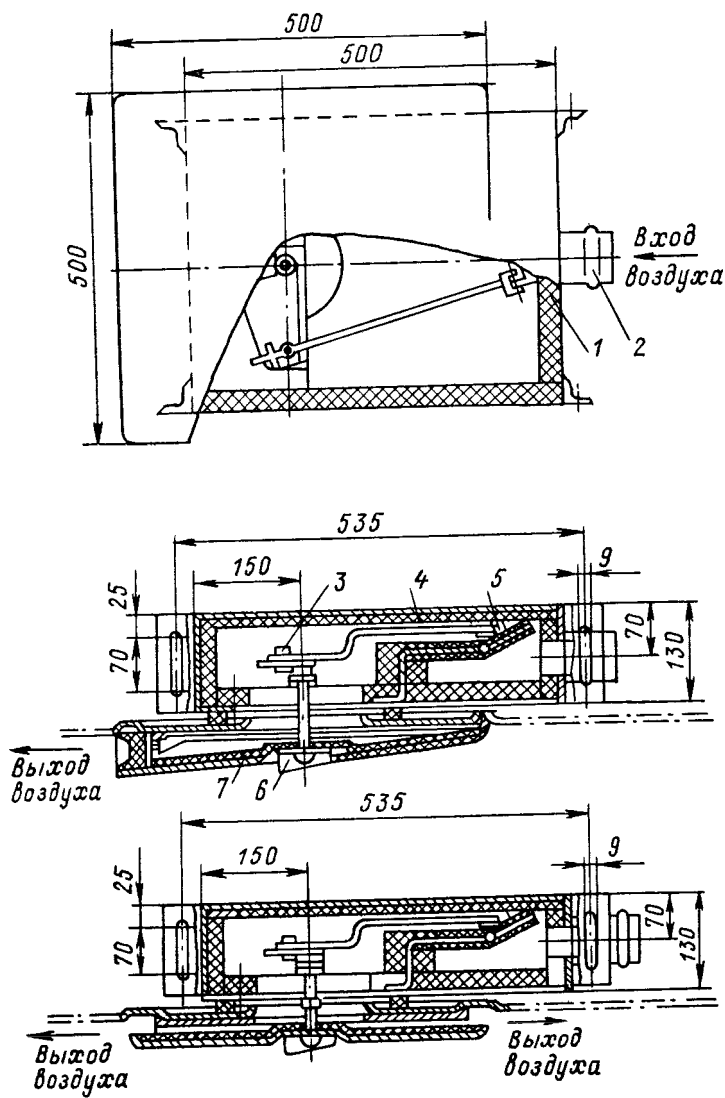


Рис 46. Воздухораспределительные устройства направленного и радиального выпуска воздуха типов ВНР и ВРР

1 — корпус, 2 — входной патрубок, 3 — рычаг регулятора; 4 — звукопоглотитель; 5 — заслонка; 6 — ручка регулятора, 7 — выпускной узел

и приточным (до 10 °С). С понижением температуры приточного воздуха его требуемое количество уменьшается, благодаря чему повышается экономичность системы.

Отечественной промышленностью выпускаются следующие типы судовых устройств распределения, регулирования и выпуска

воздуха: ВНР — воздухораспределительно-регулирующее устройство направленного выпуска воздуха; ВРР — воздухораспределительно-регулирующее устройство радиального выпуска воздуха; РР — регулирующее устройство; ВП, ВН и ВР — воздухо-выпускные узлы панельные, направленного и радиального выпуска воздуха.

Перечисленные устройства и узлы изготавливаются двух типоразмеров, рассчитанные на подачу приточного воздуха 160 и 320 м<sup>3</sup>/ч. Например, регулирующее устройство Р320Р обеспечивает подачу воздуха 320 м<sup>3</sup>/ч, а выпускной узел ВН-160—160 м<sup>3</sup>/ч. Воздухораспределительные панели выпускаются одного типоразмера: ВП-160 с подачей воздуха 160 м<sup>3</sup>/ч. При необходимости комплект перфорированных панелей ВП-160 может составить весь подволок помещения.

Конструкция устройств ВНР и ВРР приведена на рис. 46. Они обеспечивают регулирование приточного воздуха и имеют аналогичные конструкции регулирующих устройств.

Выпускной узел воздухораспределителей типа ВНР представляет собой клиновидную коробку с решеткой из неподвижных направляющих лопаток. В воздухораспределителях типа ВРР выпуск воздуха производится через радиальное сопло, образованное двумя квадратными параллельно расположенными листами.

Из воздухораспределителей типа ВНР воздух подается на подволок настилающимся потоком. В результате подсоса воздуха помещения происходит постепенное затухание скорости воздушного потока, и его температура достигает значения температуры воздуха помещения.

Из воздухораспределителей типа ВРР воздух выходит в помещение во все стороны. При прохождении радиального сопла распределителя скорость воздуха быстро затухает, обеспечивая в обслуживаемой зоне помещения равномерное температурное поле.

Воздуховыпускные узлы типов ВН и ВР по конструкции аналогичны воздухораспределителям ВНР и ВРР с той лишь разницей, что в них отсутствуют регулирующие устройства.

Воздуховыпускной узел типа ВП (рис. 47) представляет собой прямоугольную камеру, одна из стенок (панель) которой перфорирована отверстиями диаметром 3 мм. Внутри корпуса установлены перегородки для равномерной подачи приточного воздуха по всей перфорированной панели. Подача воздуха в помещения через воздуховыпускной узел типа ВП, благодаря быстрому затуханию скорости выходящего воздуха, позволяет увеличить разность температур между воздухом помещения и приточным воздухом до 16 °С, что повышает экономичность системы.

Регулирующее устройство типа РР (рис. 48) по конструкции аналогично узлу регулирования воздухораспределителей типов ВНР и ВРР. В корпусе устройства, размещенного под зашивкой,

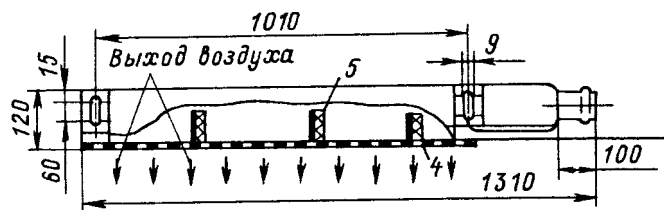
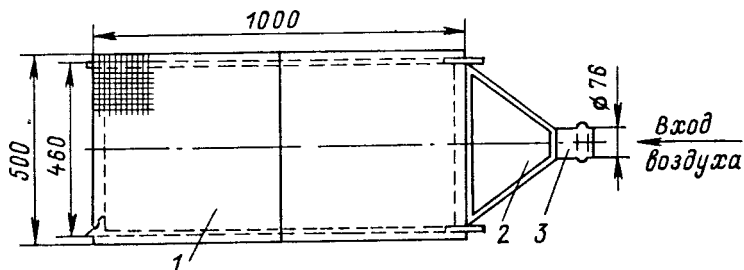


Рис 47 Воздуховыпускной узел типа ВП

1 — корпус 2 — диффузор, 3 — входной патрубок, 4 — перегородка, 5 — звукопоглотитель

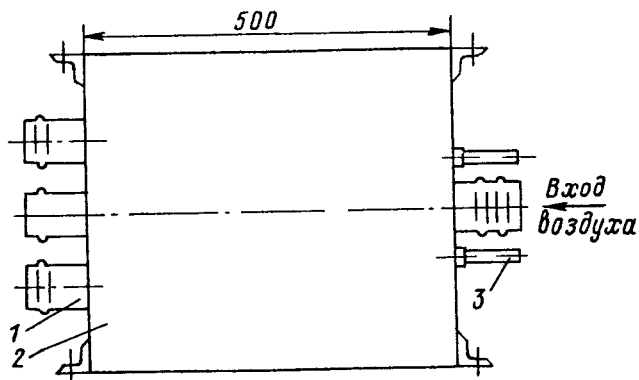


Рис 48 Воздухорегулирующее устройство типа РР

1 — выходной патрубок, 2 — корпус, 3 — тросик дистанционного управления, 4 — регулирующее устройство, 5 — наладочное устройство, 6 — заслонка, 7 — звукопоглотитель, 8 — входной патрубок

расположен исполнительный механизм, управляемый дистанционно при помощи тросика. На торцевой стенке корпуса устройства имеется один или несколько выходных патрубков, в зависимости от количества присоединяемых выпускных узлов. Регулирующие устройства типа РР предназначены для работы в комплекте с воздухораспределительными панелями ВП или выпускными узлами ВН и ВР.

Корпуса рассмотренных воздухораспределительно-регулирующих и регулирующих устройств выполнены из алюминий-магниевых сплавов, каркасы — из стали. Внутренняя поверхность корпусов облицована теплозвукопоглощающим материалом — поропластом

Одноканальные высоконапорные системы без дополнительной обработки воздуха применяются на судах с небольшим количеством жилых, служебных и общественных помещений. Такими системами оборудованы, например, рыбопромысловые суда типа СРТМ.

#### **2.3.4. Одноканальные СКВ с дополнительной обработкой воздуха**

Одноканальные высоконапорные СКВ с дополнительной обработкой воздуха предусматривают применение доводочных воздухо-распределителей, при помощи которых осуществляется индивидуальное регулирование (доводка) параметров воздуха в обслуживаемых помещениях. Дополнительная обработка воздуха производится в прямооточных или эжекционных доводочных воздухо-распределителях со встроенными в них нагревателями (водяными, электрическими) либо водяными охладителями-нагревателями. Устройство и характеристики доводочных воздухораспределителей приведены в разделе 2.28.

Прямоточные воздухораспределители используются в низко-, средне- и высокоскоростных СКВ.

В высоконапорных СКВ применяются эжекционные доводочные воздухораспределители, так как повышенные напор и скорости воздуха в эжекторе обеспечивают подсос через теплообменник необходимого количества воздуха из помещения.

На рис. 49, *а* представлена принципиальная схема одноканальной центральной высоконапорной системы с эжекционными доводочными воздухораспределителями со встроенными водяными охладителями-нагревателями, а на рис. 49, *б, в* показаны процессы тепловлажностной обработки воздуха для летнего (*б*) и зимнего (*в*) режимов работы системы

Наружный воздух состояния в точке *Н* по воздухопроводу поступает в кондиционер через фильтр *б*. Для тепловлажностной обработки наружного воздуха в данных СКВ используются центральные кондиционеры типа КЦВ



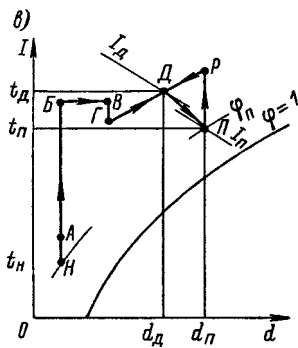
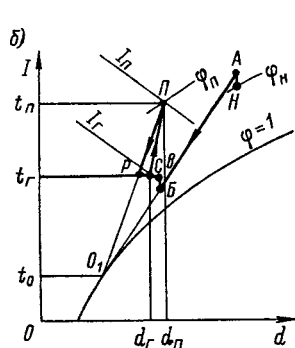
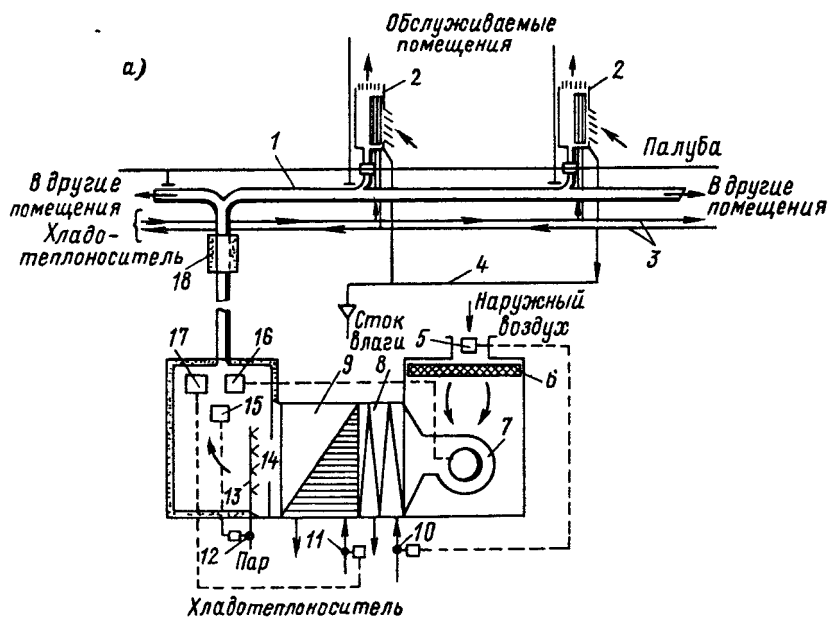


Рис. 49 Схема (а) и процессы обработки воздуха в летнем (б) и зимнем (в) режимах работы одноканальной высоконапорной СКВ с дополнительной обработкой воздуха в доводочных воздухораспределителях

В летнем режиме работы воздух, подогретый в вентиляторе 7 (процесс  $HA$ ), охлаждается в воздухоохладителе 9 до состояния в точке  $B$ . Воздухоохладители могут быть водяные (рассольные) или непосредственного охлаждения. За воздухоохладителем установлен элиминатор 14. Из кондиционера воздух подается по воздухопроводу 1, имеющему глушитель шума 18, к эжекционным доводочным воздухораспределителям 2, установленным в обслуживаемых помещениях. На пути от кондиционера до

доводчика он подогревается (процесс  $BВ$ ). В доводочном воздухораспределителе воздух помещения эжектируется через теплообменник, к которому по трубопроводам 3 подводится холодная вода (процесс  $ПР$ ). Сконденсированная из рециркуляционного воздуха влага отводится по трубопроводу 4. Смесь охлажденного рециркуляционного и наружного воздуха, состояние которого соответствует точке  $Г$ , выпускается в помещение, где ассимилирует теплоту и влагу (процесс  $ГП$ ).

В зимнем режиме работы системы (рис 49, в) наружный воздух подогревается в вентиляторе (процесс  $НА$ ) и в воздухонагревателе 8 (процесс  $АВ$ ), а затем увлажняется паровым увлажнителем 13 (процесс  $ВВ$ ). На пути к доводочным воздухораспределителям он несколько охлаждается (процесс  $ВГ$ ). В доводочнике эжектируемый рециркуляционный воздух, подогретый в теплообменнике горячей водой (процесс  $ПР$ ), смешивается с обработанным наружным воздухом и в состоянии, соответствующем точке  $Д$ , подается в помещение. В помещении происходит процесс тепло- и влагоассимиляции (линия  $ДП$ ).

Для построения процессов в зимнем режиме работы системы из точки  $П$  проводят луч тепловлажностной характеристики и на пересечении с линией  $I_d$  или  $d_d$  находят точку  $Д$ , которая характеризует состояние приточного воздуха. Точки  $Г$  и  $Р$  определяются в местах пересечения изотермы  $t_g$ , которая проходит ниже изотермы  $t_B = t_B$  на величину охлаждения в воздухопроводе, и линии влагосодержания  $d_{гп}$  с линией смешения  $ГР$  при условии соблюдения равенства (44). Из помещения избыток воздуха удаляется в атмосферу естественным путем. В доводочных воздухонагревателях для подогрева воздуха используется горячая вода или электроэнергия.

В системе кондиционирования воздуха предусмотрено автоматическое регулирование температуры воздуха, выходящего из кондиционера при помощи датчиков температуры 5, 17 и исполнительных механизмов подачи хладагента и теплоносителя 10 и 11. Влажность воздуха, поступающего в помещение, регулируется автоматически паровым клапаном 12, действующим от датчика 15. Защиту от замерзания воды (рассола) в теплообменнике осуществляет датчик температуры 16, который подает сигнал на остановку вентилятора.

Индивидуальное регулирование параметров воздуха в помещении при помощи эжекционных доводчиков производится путем изменения количества подаваемого приточного воздуха и связанного с ним эжектируемого рециркуляционного воздуха. Небольшое изменение подачи приточного воздуха вызывает значительное изменение подачи эжектируемого рециркуляционного воздуха, проходящего через постоянно включенный нерегулируемый теплообменник, и вследствие этого изменение параметров воздушной среды в помещении.

В системах кондиционирования с эжекционными доводочными воздухораспределителями количество воздуха (наружного), подвергаемого тепловлажностной обработке в центральном кондиционере, в связи с отсутствием рециркуляции минимально, поэтому эти системы имеют малые габариты и массу.

### 2.3.5. Двухканальные СКВ

Двухканальные высоконапорные центральные системы представляют собой сдвоенные одноканальные системы без дополнительной обработки воздуха в воздухораспределителях. Приточный воздух в центральном кондиционере разделяется на два потока, обрабатывается и с различными параметрами по двум каналам подается к смесительным воздухораспределителям обслуживаемых помещений. В центральном кондиционере, в зависимости от его конструкции, может осуществляться двухступенчатая обработка воздуха как в летнем, так и в зимнем режиме, либо только в зимнем режиме. Двухканальные системы позволяют регулировать параметры воздуха в помещении в широком диапазоне

На рис 50, *а* представлена принципиальная схема двухканальной высоконапорной системы при использовании кондиционера типа „Экватор“. Подобная схема применена на ТР типа „50 лет СССР“.

Смесь наружного и рециркуляционного воздуха всасывается в центральный кондиционер вентилятором 7 через воздушный фильтр 5. На рециркуляцию поступает часть воздуха, выходящего из обслуживаемых помещений в коридор через дверные решетки 18, другая часть воздуха естественным или искусственным путем отводится в атмосферу. Рециркуляционный воздух подается в кондиционер по воздухопроводу 4, имеющему глушитель шума 3.

В летнее время воздух, поступивший в разделительную камеру 12, разделяется на два потока. Часть неохлажденного воздуха по нагнетательным воздухопроводам 14, 16 первой ступени (ступень I), пройдя путевые шумоглушители 15, 17, подается в обслуживаемые помещения. Другая часть проходит через воздухоохладитель 8, где охлаждается до температуры 10—12 °С. Затем по нагнетательным воздухопроводам 20 и 21 с глушителями 19 и 22 обработанный во второй ступени (ступень II) воздух поступает в помещения.

В зимний период приточный воздух (наружный и рециркуляционный) подогревается в первичном нагревателе 6 до температуры 18 °С. Из разделительной камеры часть воздуха по воздухопроводам первой ступени направляется в помещения, а другая часть проходит дополнительную тепловлажностную обработку в увлажнительной камере 9 и во вторичном нагревателе 10 воздух увлажняется, подогревается до температуры 23—

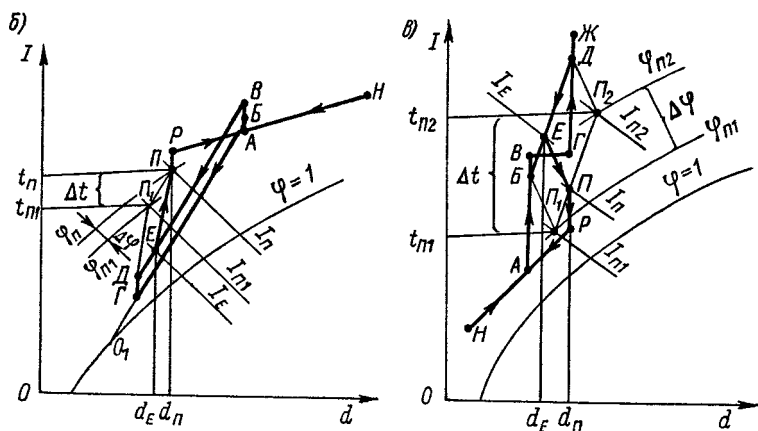
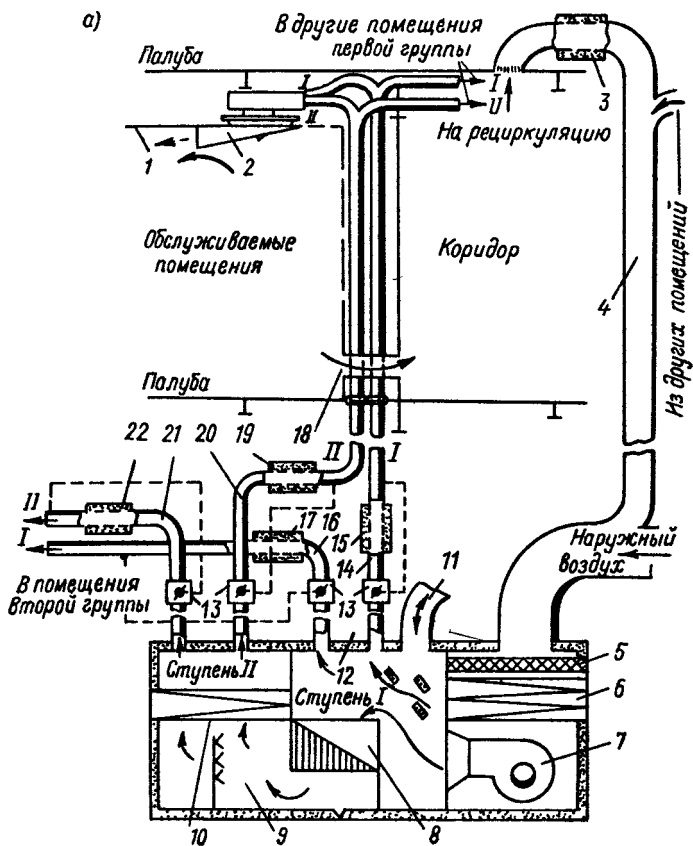


Рис 50 Схема (а) и процессы обработки воздуха в летнем (б) и зимнем (в) режимах работы в центральной двухканальной высоконапорной СКВ

43 °С и по воздухопроводам второй ступени подается в помещения. В судовых помещениях воздух от первой и второй ступеней подводится к воздухораспределителям-смесителям 2, выпускные узлы которых находятся с наружной стороны зашивки 1. Изменяя количество подводимого воздуха к смесителю от первой и второй ступеней, в помещениях поддерживают необходимые параметры воздушной среды. Давление в нагнетательных воздухопроводах поддерживается при помощи регуляторов давления 13. При выходе кондиционера из строя, обслуживание помещений осуществляется через аварийные переключки 11 от других кондиционеров.

Процессы обработки воздуха летом и зимой в двухканальной системе, схема которой изображена на рис. 50, а, показаны на диаграммах *Id* (рис. 50, б, в).

В летнем режиме работы смесь наружного воздуха состояния *H* и рециркуляционного состояния *P* с параметрами в точке *A* поступает в вентилятор, где нагревается до состояния, соответствующего точке *B*. Температура рециркуляционного воздуха, поступающего в кондиционер, выше температуры воздуха в помещении на величину его подогрева при движении по коридору и воздухопроводам (процесс *PP*). Из разделительной камеры часть воздуха поступает в воздухопроводы первой ступени, где нагревается и переходит в состояние *V*. Остальной воздух охлаждается в воздухоохладителе до состояния *Г*. Затем он проходит по каналам второй ступени, нагреваясь в них до состояния *Д*. В воздухораспределителях-смесителях происходит смешивание двух потоков (процесс *DE* и *BE*). Процесс ассимиляции теплоты и влаги в помещении идет по линии *EP*. Линия *ДП<sub>1</sub>* показывает возможное изменение состояния воздуха в обслуживаемом помещении при полном открытии каналов первой ступени. Линия, изображающая процесс в помещении, может находиться в любом месте между линиями *ДП<sub>1</sub>* и *EP*. Направление *EP*, *ДП<sub>1</sub>* и других промежуточных линий определяется тепловлажностной характеристикой процесса в помещении *ε*.

В зимнем режиме работы системы (рис. 50, в) приточный воздух проходит тепловлажностную обработку в двух ступенях кондиционера. Наружный воздух состояния *H* и рециркуляционный воздух состояния *P* смешиваются перед входом в кондиционер и с параметрами в точке *A* смесь поступает в первичный воздухонагреватель, где нагревается до состояния *B*. Подогретый в вентиляторе воздух состояния *B* направляется в разделительную камеру, из которой часть воздуха поступает в каналы первой ступени и на пути к воздухораспределителям охлаждается (процесс *ВВ*). Другая часть проходит увлажнительную камеру, приобретая состояние *Г*, затем подогревается во вторичном паровом нагревателе до состояния *Ж*, после чего проходит по каналам второй ступени, охлаждаясь до состояния *Д*. В смесителях-воздухораспределителях воздух, поступивший по

двум каналам, смешивается и в состоянии  $E$  выпускается в помещение.

Изменяя соотношения количества воздуха, поступающего из первой и второй ступеней в воздухораспределитель, можно получить различные параметры воздуха, выходящего в помещение. Состояния воздуха, которые можно установить регулированием поступления его от каналов первой и второй ступеней, определяются на линии  $BD$ . Точки  $B$  и  $D$  показывают крайние из возможных состояний воздуха, поступившего в помещение соответственно только по первому или только по второму каналу. В помещении происходит процесс (линия  $EP$ ), направление которого определяется угловым масштабом  $\varepsilon$ . Процессы  $BP_1$  и  $DP_2$  являются предельными процессами в помещении и соответствуют: первый — поступлению воздуха только по каналу первой ступени, второй — только по каналу второй ступени. Предельные и все промежуточные процессы имеют одинаковый с процессом  $EP$  угловой масштаб, т. е. проходят параллельно. Возможные параметры воздуха в помещении характеризуются точками на прямой  $P_1P_2$ .

Диапазон индивидуального регулирования температуры в судовых помещениях летом (линия  $PP_1$ ) и зимой (линия  $P_1P_2$ ) составляет  $\Delta t = 4 \div 6$  °С, относительной влажности  $\Delta \varphi \approx 20$  %. При этом значения регулируемых температуры и относительной влажности должны находиться в комфортной зоне, установленной Санитарными правилами ( $Pt = 18,1 \div 24,1$  °С и  $\varphi = 40 \div 60$  %). Необходимые параметры воздуха в помещении ( $t$  и  $\varphi$ ) получают путем регулирования количеств воздуха, поступающего в смеситель-воздухораспределитель по двум каналам двух ступеней центрального кондиционера.

В двухканальных высоконапорных системах применяются воздухораспределители направленного и радиального выпуска воздуха со встроенными смесительными устройствами типов ВСНР и ВСРР (рис. 51).

Воздух из двух ступеней центрального кондиционера поступает в корпус воздухораспределителя 2 по двум патрубкам 3. В корпусе, внутренняя полость которого является смесительной камерой, расположен механизм регулирования, управляемый ручкой 1. Вращением ручки регулятора можно изменить степень открытия полусферических клапанов 6, в соответствии с чем изменяется соотношение количеств смешиваемого воздуха, поступающего по двум каналам, при постоянном суммарном его расходе. При открытии одного из клапанов другой закрывается, в результате чего изменяются параметры смеси, т. е. осуществляется индивидуальное регулирование параметров воздуха, который из смесительной камеры через выходной патрубок 5 и выпускной узел 7 поступает в помещение. Внутренняя поверхность корпуса воздухораспределителя покрыта звукопоглощающим материалом 4.

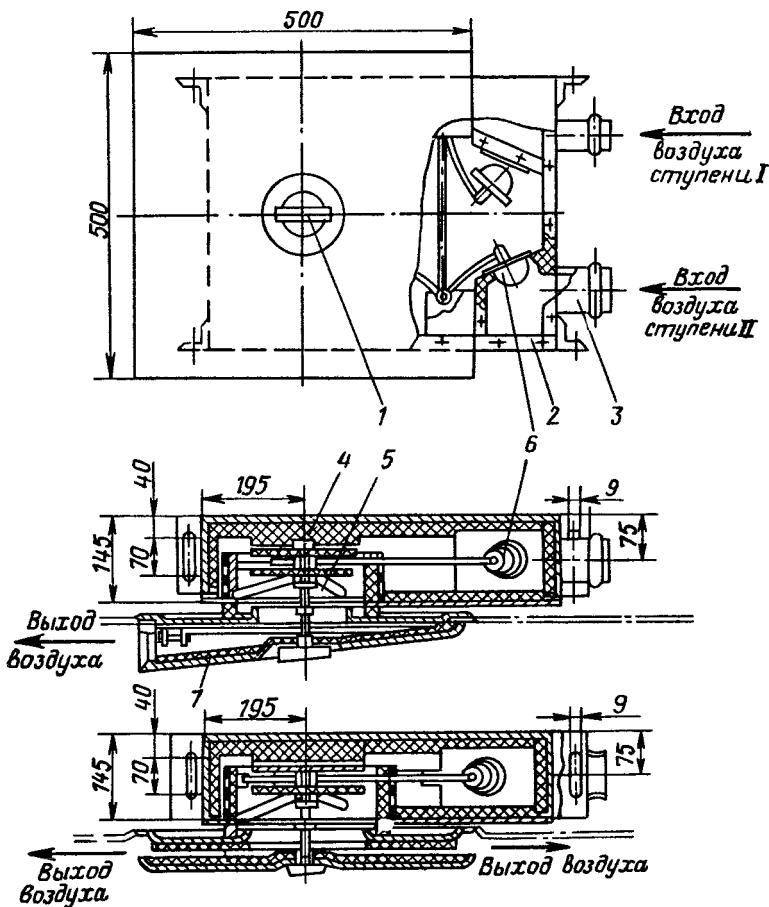


Рис 51 Воздухораспределители-смесители направленного и радиального выпуска воздуха типов ВСНР и ВСРР

В двухканальных СКВ используются также воздухораспределители с отдельно расположенными смесительными устройствами типа СР, которые komponуются с воздуховыпускными узлами типов ВН, ВР и ВП.

Отдельное смесительное устройство типа СР (рис. 52) располагается в зашивке подволока и управляется дистанционно при помощи тросов. Конструкция его механизма регулирования аналогична конструкции в аппаратах типов ВСНР или ВСРР, а дистанционное управление подобно таковому в регулирующем устройстве типа РР.

Воздухораспределители типов ВСНР и ВСРР выпускаются двух типоразмеров, рассчитанных на подачу воздуха 160 и 320 м<sup>3</sup>/ч. Смесители типа СР выпускаются трех типоразме-

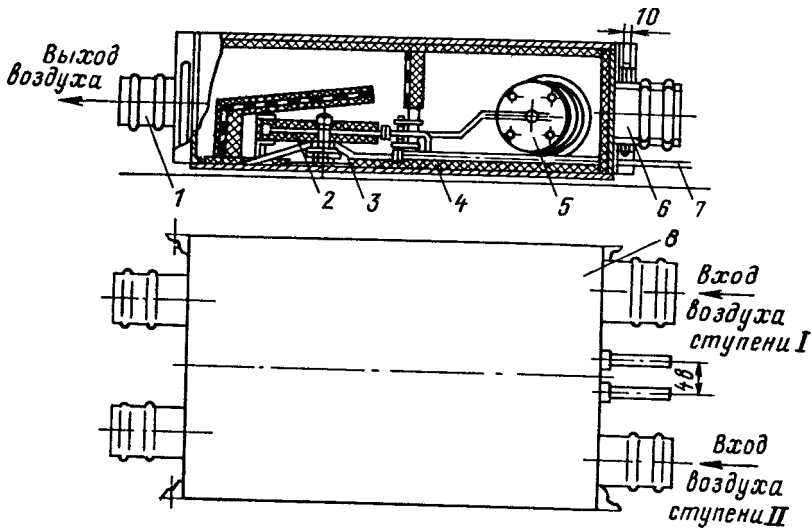


Рис 52 Воздухосмесительное устройство типа СР  
 1, 6 — выходной и входной патрубки, 2 — регулирующее устройство, 3 — люк наладочного устройства, 4 — звукопоглотитель, 5 — полусферический клапан, 7 — тросик управления, 8 — корпус

ров с подачей воздуха 160, 320 и 640 м<sup>3</sup>/ч. В условном обозначении прибора цифра означает расчетную подачу воздуха в метрах кубических в час: например, воздухораспределитель-смеситель направленного выпуска воздуха регулируемый ВСН320Р обеспечивает подачу воздуха 320 м<sup>3</sup>/ч.

### 2.3.6. Автономные СКВ

Все элементы автономной СКВ (аппараты для тепловлажностной обработки воздуха и холодильная машина) объединены в одном агрегате — автономном кондиционере. В местных автономных кондиционерах отсутствуют воздухопроводы. Помещения, в которых устанавливаются кондиционеры, могут обслуживаться общесудовой системой вентиляции.

Групповые кондиционеры имеют выпускные патрубки, к которым присоединяются короткие воздухопроводы для подачи воздуха в смежные помещения. При обработке наружного воздуха или смеси наружного и рециркуляционного к кондиционеру подсоединяют воздухопровод наружного воздуха, используя существующую судовую приточную вентиляцию.

Обработка воздуха в местных и групповых автономных кондиционерах осуществляется по одной и той же технологической схеме (см. раздел 2.2.8). В качестве примера на рис. 53 изображены тепловлажностные процессы обработки воздуха в



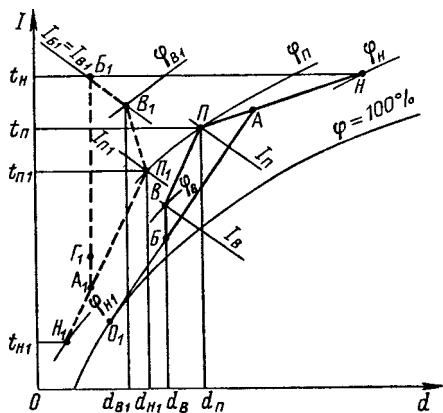


Рис 53. Процессы обработки воздуха в автономном кондиционере «Климат-4»

местном автономном кондиционере „Климат-4“, схема компоновки элементов которого приведена на рис. 40. На рис. 53 процессы в летнем режиме работы показаны сплошными линиями, а в зимнем — штриховыми.

В летнем режиме работы смесь наружного (точка  $H$ ) и рециркуляционного (точка  $\Pi$ ) воздуха состояния в точке  $A$  охлаждается в воздухоохладителе (процесс  $AB$ ) и после подогрева в вентиляторе до состояния  $B$  выпускается в помещение, где ассимилирует теплоту и влагу (процесс  $BP$ ).

При работе в зимнем режиме смесь наружного (точка  $H_1$ ) и рециркуляционного (точка  $\Pi_1$ ) воздуха в состоянии  $A_1$  нагревается в вентиляторе (процесс  $A_1G_1$ ) и в электрическом воздухонагревателе (процесс  $G_1B_1$ ), увлажняется водой (изотальпический процесс  $B_1V_1$ ) и в состоянии  $B_1$  выпускается в помещение. В помещении происходит процесс тепловлагоассимиляции (линия  $B_1\Pi_1$ ).

Достоинством автономных СКВ являются компактность, простота монтажа, отсутствие разветвленной сети воздухопроводов. Это позволяет применять их в таких помещениях, в которых невозможно разместить центральные или групповые системы.

### 2.3.7. Борьба с шумом и вибрацией в СКВ

**Основные понятия о шуме и вибрации.** Любой производственный процесс, связанный с работой машин с вращающимися массами, перемещением рабочей среды в установках и аппаратах, пульсацией электромагнитного поля в электродвигателях, сопровождается шумом и вибрацией.

*Шумом* принято называть звуки, нарушающие тишину или мешающие восприятию нужных звуков, а также звуки, оказывающие вредное действие на организм человека. Производственный шум характеризуется сочетанием звуков различных частот колебаний  $f$  и значений звуковых давлений  $p$ .

Под *частотой колебаний* звуковой волны  $f$  понимают число ее колебаний в секунду. Частота колебаний измеряется в герцах (1 Гц — одно колебание в секунду).

*Звуковое давление*  $p$  это разность между избыточным давлением и средним, имеющим место в среде при отсутствии

звукового поля. Звуковое давление выражается в паскалях (Па). Слышимость звуков ограничивается определенными частотами колебаний и значениями звуковых давлений. Органы слуха человека в состоянии воспринимать звуковые волны с частотой от 16 до 20 000 Гц. Звуки с частотами ниже и выше указанного предела не воспринимаются человеком. Минимальное звуковое давление, ощущаемое ухом человека, называется пороговым и равно  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па. Значение порогового давления зависит от частоты звукового колебания. Звуковое давление свыше 10 Па вызывает болевое ощущение и может привести к нарушению функций слухового аппарата человека.

Наиболее важной акустической характеристикой, которая служит основанием для определения интенсивности производственного шума, является *уровень звукового давления* или *шума*  $L$ , дБ;

$$L = 20 \lg \left( \frac{p}{p_0} \right), \quad (26)$$

где  $p$  — звуковое давление, Па;  $p_0$  — пороговое значение звукового давления, Па.

За единицу измерения уровня звукового давления принят децибел (дБ). Органы слуха человека воспринимают диапазон звуков в 130 дБ. При интенсивности шума свыше 130 дБ появляется боль в ушах, а при 140 дБ наступает потеря слуха. Длительный шум снижает остроту слуха, зрения, ухудшает самочувствие, повышает усталость, ослабляет внимание, снижает производительность труда. Продолжительное воздействие шума оказывает особенно вредное влияние на сердечно-сосудистую и нервную системы. Зоны с уровнем шума выше 85 дБ считаются опасными, а в зонах с уровнем звукового давления выше 135 дБ запрещено пребывание людей. Применяемые средства индивидуальной защиты от шума (тампоны, ушные пробки, наушники и др.) снижают уровень шума на 10—45 дБ. Постоянное воздействие шума повышенного уровня приводит к профессиональному заболеванию слуховых органов. Предельные уровни шума в жилых, служебных, общественных помещениях и машинных отделениях судов определены нормами Госсанинспекции [10]. Допустимые нормы уровней шума установлены такие, чтобы обеспечивалась слышимость разборчивой речи на расстоянии 1,5 м от говорящего и в течение длительного времени не снижалась острота слуха.

Колебательные процессы, происходящие в корпусных конструкциях судна, машинах, механизмах и системах с низкой частотой (дозвуковой и частично звуковой), называют *вибрацией*. Вибрация со звуковой частотой воспринимается человеком как шум.

При большой интенсивности и определенной частоте вибрация оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. Наибольшую опасность представляют вибрации с частотами от

4 до 400 Гц, которые могут вызывать резонансные явления в организме человека или в его внутренних органах. Так, частота резонанса для тела человека составляет 6 Гц, для внутренних органов 8 Гц, для центральной нервной системы 250 Гц. Гигиенические нормы вибрации в децибелах определены ГОСТ 12.1.012—78.

Вибрация способствует преждевременному износу машин и механизмов, приводит к нарушению герметичности оборудования и системы трубопроводов, а при явлениях резонанса вызывает их разрушение.

**Источники шума и вибрации.** Основными источниками шума в судовых системах вентиляции и кондиционирования воздуха являются вентиляторные установки. Кроме того, шум возникает при движении воздуха в воздухопроводах и воздухораспределительной арматуре. При оборудовании помещений автономной СКВ создается дополнительный шум от работающей холодильной машины.

Шум возникает в результате аэродинамических, механических и электромагнитных процессов, сопровождающих работу вентиляторов, холодильных машин, а также происходящих в воздухопроводах и воздухораспределителях. Соответственно этому шум называют аэродинамическим, механическим и электромагнитным.

*Аэродинамический шум* возникает от воздушных колебаний, вызываемых периодическим изменением скорости и давления воздуха при обтекании рабочих лопаток вентиляторов, а также вследствие завихрения воздуха между лопатками. Кроме того, аэродинамический шум создается при турбулентном движении воздуха в воздухопроводах, каналах и воздухораспределителях.

*Механический шум* появляется вследствие вибрации, вызванной неуравновешенностью рабочего колеса вентилятора и ротора электродвигателя, а также колебаниями в подшипниках качения электродвигателя.

*Электромагнитный шум* возникает вследствие вибрации статора под влиянием переменных магнитных полей.

Шум судового электровентилятора состоит из всех трех составляющих шума. Вентиляторы стандартного производства (типов ЦСУ, ОСО) создают общий уровень шума 70—100 дБ. Шум от работающих вентиляторов проникает в обслуживаемые помещения главным образом по воздухопроводам.

**Защита от шума и вибрации.** Снижение шума систем вентиляции и кондиционирования воздуха достигается следующими путями:

применением вентиляторов с более совершенной акустической характеристикой;

устранением вибраций, вызывающих шум;

изоляция источников шума и его поглощением на путях его распространения.

Меры по снижению шумности вентилятора предпринимаются при его проектировании. К таким мерам относятся:

применение на входе воздуха насадок, имеющих плавные очертания;

подбор рационального профиля лопаток;

создание условий хорошей обтекаемости деталей и узлов, расположенных в воздушном потоке;

— улучшение звукоизоляции и уменьшение вибрации стенок кожуха вентилятора (С увеличением толщины стенок кожуха уменьшается проникающий через них шум, а увеличенная жесткость толстостенного кожуха снижает шумообразование от вибрации стенок. Помимо утолщения стенок кожуха жесткость конструкции повышают путем введения дополнительных элементов, видоизменением формы кожуха и применением алюминиевых сплавов при его изготовлении);

повышение точности изготовления деталей и сборки узлов;

применение приводного электродвигателя с минимальными шумом и вибрацией.

При изготовлении вентиляторов обязательной технологической операцией является балансировка вращающихся деталей, с помощью которой устраняется неуравновешенность. Тщательная предварительная статическая и динамическая балансировка рабочего колеса вентилятора и ротора электродвигателя и динамическая балансировка электровентилятора в сборе улучшают его акустическую характеристику.

Для устранения шума, вызываемого вибрацией, которая передается от работающего вентилятора трубопроводам и фундаменту, применяют эластичные вставки (резиновые или прорезиненные брезентовые рукава) и упругие опоры (амортизаторы, прокладки). В процессе эксплуатации поддерживают оптимальные зазоры в подвижных соединениях вентилятора, так как повышенные зазоры создают дополнительный шум.

Эффективными средствами борьбы с шумом являются изоляция и поглощение звука. Эффект *изоляции звука* основан на отражении его от поверхности, установленной на пути его распространения. Звукопоглощающая способность преграды зависит от плотности материала и его толщины. Чем выше плотность материала и больше его толщина, тем лучше звукоизоляция. Звукоизолирующие поверхности должны быть сплошными. При наличии отверстий площадью около 10 % общей поверхности звукоизолирующая способность защиты теряется. В качестве звукоизолирующих материалов применяются металлы, дерево, пластмассы и др.

*Поглощение звука* — это процесс преобразования колебательной звуковой энергии в тепловую в результате трения при прохождении звука через пористые, волокнистые и другие материалы. Звукопоглощающая способность материала зависит от частоты воспринимаемого звука и толщины слоя звуко-

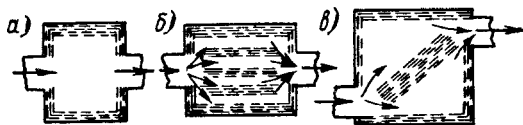


Рис 54 Конструктивные схемы камерных глушителей шума *а* — однокамерный, *б* — пластинчатый, *в* — экранированный

поглотителя. С увеличением частоты звука и толщины материала звукопоглощение возрастает. В системах кондиционирования воздуха функцию звукопоглощения выполняет теплоизоляция. В качестве теплоизоляции — звукопоглотителя в судовых СКВ отечественного производства применяются в основном маты из капронового волокна ВТ-4 и эластичный самозатухающий полиуретановый поропласт ППУЭС. Мат из капронового волокна покрыт с одной стороны марлей. Его плотность  $\rho = 50 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

Поропласт полиуретановый это эластичная легкая ( $\rho = 40 \text{ кг/м}^3$ ) газонаполненная пластмасса с равномерной мелкопористой структурой, коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

Снижение уровня шума, создаваемого вентилятором, размещенным в корпусе кондиционера, достигается внутренней облицовкой стенок аппарата звукопоглощающим материалом. При установке вентилятора в отдельном помещении для уменьшения шума его внутренние поверхности покрывают звукопоглотителем.

Наиболее эффективной мерой предупреждения распространения шума по воздухопроводам является использование *глушителей*. Применяют канальные (путевые) и камерные глушители. При скорости воздуха в воздухопроводах до 25 м/с в системе устанавливают камерные глушители, которые являются конструктивным элементом кондиционера, при скорости воздуха более 25 м/с кроме камерных перед входом в помещение в воздухопроводах ставят путевые глушители, которые поглощают также шумы, возникающие в элементах воздухопровода.

На рис. 54 показаны конструктивные схемы камерных глушителей шума. Эффективность глушения шума в них достигается путем поглощения шума изоляцией, многократного отражения его от стенок камеры и уменьшения плотности звуковой энергии в результате распределения ее по всему объему камеры.

Конструкция судового путевого глушителя шума представлена на рис. 55. Его работа основана на эффекте

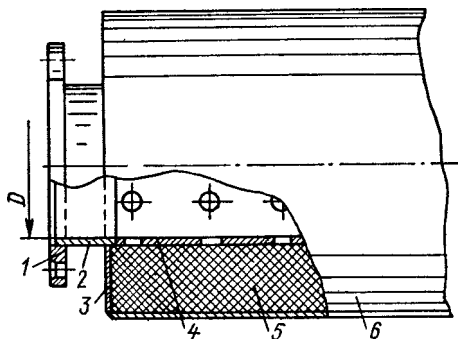


Рис 55 Путьевой глушитель шума неразборный

поглощения звука звукопоглощающим материалом. Внутренняя перфорированная труба 4 глушителя имеет одинаковые (по сечению) размеры с воздухопроводом и соединяется с последним при помощи патрубка 2 с фланцем 1. Кольцевое пространство между торцевыми стенками 3 глушителя, ограниченное снаружи кожухом 6, заполнено звукопоглотителем 5. Степень перфорации, т. е. отношение суммарной площади отверстий к общей площади перфорированной трубы, составляет 20—25 %. Толщину звукопоглотителя (ВТ-4, ППУЭС) в судовых камерных и путевых глушителях шума принимают равной 50 мм.

### 2.3.8. Обслуживание СКВ

Техническое обслуживание — это комплекс технических и организационных мероприятий, осуществляемых в процессе эксплуатации судовых СКВ для обеспечения безаварийной работы и эффективного использования оборудования при минимальных расходах на эксплуатацию и ремонт.

При эксплуатации СКВ руководствуются заводскими инструкциями на машины, механизмы и аппараты, входящие в состав данной системы, а также действующими на рыбопромысловом флоте Правилами технической эксплуатации, Правилами техники безопасности, Санитарными правилами, документацией по непрерывной системе технического обслуживания (НСТО) и другими нормативными документами рыбохозяйственных организаций по эксплуатации судовых технических средств.

Персонал, обслуживающий СКВ, обязан:

знать заводские инструкции по обслуживанию, схемы, паспорта и другую документацию по СКВ и ее элементам (кондиционерам, холодильным машинам, насосам, нагревателям и др.), включая приборы и средства контроля, управления и автоматизации;

осуществлять обслуживание и ремонт со строгим соблюдением заводских инструкций и других руководящих документов, имеющих прямое отношение к эксплуатации СКВ.

Различают техническое обслуживание судовой СКВ ежедневное, периодическое и профилактическое. Все мероприятия по техническому обслуживанию СКВ проводятся в соответствии с утвержденными графиками. Для судов, переведенных на НСТО, сроки и объем технического обслуживания и ремонта СКВ определяются соответствующей технической документацией.

*Ежедневное техническое обслуживание* заключается в поддержании требуемого режима работы, наблюдении за состоянием воздухопроводов и трубопроводов хладагента и теплохладоносителя, арматуры и наблюдении за работой машин, механизмов, аппаратов, измерительных приборов, средств автоматизации и т. п.

Режим работы СКВ зависит от времени года и района плавания. При температуре наружного воздуха ниже 20—22 °С

СКВ переводится на режим простого вентилирования помещений. В двухканальных высоконапорных СКВ нагреватель воздуха второй ступени включают в работу при достижении температуры воздуха 14—16 °С, а в одноканальных СКВ подогрев воздуха в доводочных воздухораспределителях производят при температуре наружного воздуха 8—10 °С.

При температуре наружного воздуха ниже 1—2 °С СКВ переводят на зимний режим работы. В зимний период СКВ должна действовать непрерывно во избежание промерзания изоляции и выхода ее из строя. При работе на переходном режиме, который характеризуется колебаниями температуры наружного воздуха от 2 до 20 °С, некоторые группы обслуживаемых помещений могут быть переведены на зимний режим, в то время как другие будут продолжать работать в режиме вентилирования помещений.

Заданные параметры воздуха в обслуживаемых помещениях обеспечиваются только при закрытых иллюминаторах и дверях (дверные решетки находятся в открытом положении), при этом необходимые для нормальной работы СКВ электроэнергия, теплота, холод, вода и воздух (для пневмоавтоматики) подаются бесперебойно. Индивидуальное регулирование параметров воздушной среды в помещениях осуществляется с помощью ручек каютных воздухораспределителей.

*Периодическое техническое обслуживание* проводится с целью контроля технического состояния системы, предупреждения неисправностей и аварий в работе и поддержания в чистоте оборудования СКВ. В объем работ по периодическому техническому обслуживанию входят:

все работы, предусмотренные ежедневным техническим обслуживанием;

очистка от пыли и грязи воздухопроводов, трубопроводов, оборудования, приборов, решеток и жалюзи для приема наружного воздуха, дверных решеток кают;

очистка, смазка и проворачивание запорной и регулирующей арматуры,

проверка плотности соединений воздухопроводов и трубопроводов. Основными приборами для определения утечек в системе хладоновых трубопроводов являются галоидные течеискатели. Галоидная лампа реагирует на наличие хладона в воздухе при его концентрации  $\geq 0,01\%$  (при концентрации 0,01 % цвет пламени зеленый, более 1 % — синий);

спуск скопившейся влаги из воздухопроводов и вентиляторов через спускные пробки и проверка чистоты трубок отвода конденсата из поддонов элиминаторов, кондиционеров, доводчиков;

очистка воздушных фильтров, фильтров паровой, рассольной, водяной и масляной систем и системы хладагента холодильной установки. В первый месяц эксплуатации СКВ очистку

фильтров рекомендуется проводить через каждые 100 ч работы системы. В последующем интервал между очистками, в зависимости от необходимости, может быть доведен до 10 сут и более. Очистка воздушных фильтров центральных кондиционеров производится при увеличении разности давлений до и после фильтра более 0,25 кПа. Металлические сетчатые масляные фильтры очищают путем промывания их в 10 %-ном горячем (60—80 °С) содовом растворе или в струе горячей воды под давлением 0,2—0,3 МПа с последующей сушкой. Затем сетки смазывают веретенным маслом марки 2 или 3 и выдерживают в вертикальном положении для удаления излишков масла.

*Профилактическое техническое обслуживание* СКВ проводится между ремонтами и состоит из комплекса работ по осмотру, очистке, промывке, проверке, регулированию и устранению выявленных неисправностей. Объем профилактического обслуживания определяется графиком и включает следующие работы:

1. Осмотр и очистка внутренних воздушных полостей центрального кондиционера, воздухораспределителей, регулирующих и смесительных устройств. Очистку производят щетками или пылесосом.

При осмотре и очистке воздухораспределителей, регулирующих и смесительных устройств при необходимости производят подстройку их на номинальный расход приточного воздуха. В воздухораспределителях типов ВНР, ВРР, ВСНР, ВСРР регулирование приточного воздуха осуществляется наладочными винтами, доступ к которым возможен после снятия нижнего листа сопла. Подстройку регулирующих и смесительных устройств типов РР и СР производят аналогично, при этом тросы дистанционного управления должны находиться в натянутом положении, что достигается с помощью талрепов. В воздуховыпускных узлах типов ВН и ВР для регулирования приточного воздуха предусмотрена специальная гайка, а подстройка выпускного узла типа ВП производится заслонкой, находящейся во входном патрубке. Заслонкой регулируется также подача приточного воздуха в доводочных воздухораспределителях типов ВДВП, ВДВЭ и ВДЭЭ.

При профилактике эжекционных доводчиков типа ВДЭЭ проверяют сопротивление изоляции электрических цепей, которое должно составлять не менее 1 МОм.

При значительном загрязнении оребренных теплообменных аппаратов очистку производят погружением их в водный раствор следующего состава (в килограммах на 1 т раствора): сода каустическая 7,5, сода кальцинированная 55, тринатрий-фосфат 10, мыло 1,5.

Аппарат выдерживают в растворе с температурой 60—80 °С до полного очищения, после чего промывают горячей водой, обдувают сжатым воздухом и осушают. Внутреннюю полость



теплообменника промывают горячей водой (70—80 °С), подавая ее в направлении, противоположном направлению потока при работе аппарата.

2. Проверка крепежа машин, механизмов и аппаратов к фундаментным рамам; воздухопроводов, трубопроводов, арматуры к корпусным конструкциям; соединительных муфт и т. д.

3. Разборка, осмотр и регулирование паровых редуционных клапанов и конденсатоотводчиков.

4. Вскрытие, очистка, притирка и испытание на плотность арматуры

5. Проверка плотности воздухопроводов, трубопроводов под рабочим давлением.

6. Проверка состояния тепло- и звукоизоляции.

7. Проверка правильности показаний контрольно-измерительных приборов.

В период длительного бездействия (более 1—2 мес.) СКВ должна содержаться в чистоте и исправном состоянии. Для подготовки систем к длительному бездействию (консервации) необходимо:

отключить питание всех электропотребителей (электродвигателей вентиляторов, насосов, компрессоров; электронагревателей, средств электроавтоматики);

осушить систему;

перевести хладон из системы в ресивер;

закрыть крышки приема наружного воздуха и всю концевую арматуру в помещениях;

покрыть антикоррозионной смазкой все трущиеся части путевой и концевой арматуры.

При расконсервации системы выполняют следующие работы:

снимают смазку, нанесенную при консервации;

проверяют заземление оборудования и сопротивление изоляции [при длительном бездействии сопротивление изоляции электронагревателей доводчиков типа ВДЭЭ может понизиться до 0,1 МОм, но после 3—5 ч работы оно должно восстановиться до допустимого значения ( $\geq 1$  МОм)];

опробывают систему в действии по прямому назначению.

Во избежание гидравлических ударов и разрывов трубок паровых нагревателей при пуске системы в зимнем режиме расход и давление пара увеличивают постепенно.

## 2.4. РАСЧЕТ СУДОВОЙ СКВ

Расчет судовой СКВ включает тепловлажностный и аэродинамический расчеты выбранной системы. Цель тепловлажностного расчета — определение затрат холода, теплоты и расхода воздуха, в соответствии с которыми подбирается оборудование системы кондиционирования.

Аэродинамический расчет проводят для определения потерь давлений в СКВ. По сумме потерь в системе находят полное давление, которое наряду с расходом воздуха служит исходным параметром для выбора вентилятора кондиционера.

### 2.4.1. Тепловлажностный расчет

При тепловлажностном расчете СКВ считаются заданными: температура  $t_n$  и относительная влажность  $\varphi_n$  наружного воздуха, температура  $t_{пом}$  и относительная влажность  $\varphi_{пом}$  воздуха в помещениях, тип СКВ, конструкция воздухораспределителя, схема хладотеплоснабжения.

В объем тепловлажностного расчета входит:

выбор расчетных параметров наружного воздуха и воздуха в помещении;

определение теплопритоков, теплопотерь и влагоизбытков в помещении;

определение необходимого количества приточного воздуха;

выбор системы кондиционирования,

определение тепловых нагрузок на оборудование СКВ.

**Выбор расчетных параметров.** В качестве расчетных параметров воздуха в судовых помещениях для летнего и зимнего режимов работы принимаются оптимальные значения параметров воздуха, определенные Санитарными правилами (см. раздел 2.1).

Расчетные параметры наружного воздуха для СКВ морских судов определены отраслевой нормалью. В табл. 18 приведены  $t_n$ ,  $\varphi_n$  и  $t_{зв}$  для некоторых районов плавания судов.

Расчетные параметры наружного воздуха в зимний период для судов, плавающих в тропиках, принимаются по району возможного захода судна в это время года.

Таблица 18 Расчетные параметры наружного воздуха для СКВ морских судов

Район плавания судна	Летний период			Зимний период		
	$t_n$ , °C	$\varphi_n$ , %	$t_{зв}$ , °C	$t_n$ , °C	$\varphi_n$ , %	$t_{зв}$ , °C
Балтийское море	22	60	16	-23	85	0
Белое море	18	60	12	-32	85	0
Северное море (его северная часть)						
Атлантический океан	21	65	16	-11	85	0
Каспийское море	30	60	27	-20	85	0
Черное море	29	60	27	-15	85	5
Средиземное море	30	65	26	-3	70	10
Южный (тропики) — от 30°с ш до 30°ю ш	34	70	30	—	—	—
Неограниченный включая тропики, кроме северных морей в зимний период	34	70	30	-25	85	0

**Определение теплопритоков, теплопотерь и влагоизбытков.** В летний период в судовых помещениях выделяется избыточное количество теплоты и влаги, в зимний период имеют место теплопотери и избытки влаги.

Определение теплопритоков. Суммарные поступления явной теплоты в единицу времени  $Q_{я}$ , кВт, в помещениях определяют по формуле

$$Q_{я} = Q_{огр} + Q_{л} + Q_{с} + Q_{ост} + Q_{оп} + Q_{осв} + Q_{эл}, \quad (27)$$

где  $Q_{огр}$  — теплопритоки через ограждающие поверхности помещений, кВт;  $Q_{л}$  — теплопритоки от людей, кВт;  $Q_{с}$  — теплопритоки от солнечной радиации через массивные ограждения, кВт;  $Q_{ост}$  — теплопритоки от солнечной радиации через остекление, кВт;  $Q_{оп}$  — теплопритоки от остывающей пищи, кВт;  $Q_{осв}$  — теплопритоки от осветительных и электронагревательных приборов, кВт;  $Q_{эл}$  — теплопритоки от электродвигателей, кВт.

Теплопритоки через ограждающие поверхности помещений  $Q_{огр}$ , кВт, в том числе через остекление и иллюминаторы, определяются по формуле

$$Q_{огр} = 10^{-3} \sum_{i=1}^n k_i F_i \Delta t_i, \quad (28)$$

где  $F_i$  — поверхность  $i$ -го ограждения, м<sup>2</sup>;  $k_i$  — коэффициент теплопередачи для  $i$ -й поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\Delta t_i$  — разность температур снаружи и внутри помещения для  $i$ -го ограждения, °С.

Рекомендуемые коэффициенты теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), через ограждения кондиционируемых помещений приведены в табл. 19.

Для обеспечения указанных в таблице коэффициентов теплопередачи изоляция судовых кондиционируемых помещений должна иметь небольшую толщину (40—55 мм — плиты из пенопласта либо 25—30 мм — из пенополиуретана). Расчет изоляции сводится к определению температуры внутренних поверхностей ограждения, исключающей их отпотевание в зимний период либо отличающейся от температуры воздуха в помещении не более чем на 2 °С.

При определении  $\Delta t_i$  температуру в коридорах в летний период принимают на 1—3 °С выше, чем в кондиционируемом помещении. Температура воздуха в МО принимается в рабочей зоне на 5 °С и в верхней зоне на 10—12 °С выше температуры наружного воздуха.

Количество явной теплоты, выделяемой людьми в единицу времени  $Q_{л}$ , кВт, находится из соотношения

$$Q_{л} = 10^{-3} n q_{л}, \quad (29)$$

где  $n$  — число людей в помещении или группе помещений;  $q_{\text{л}}$  — количество явной теплоты, выделяемой одним человеком в единицу времени, Вт.

Таблица 19 Коэффициент теплопередачи через ограждения кондиционируемых помещений  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С)

Ограждение	Теплоизоляционные материалы	
	$\rho = 100 \text{ кг/м}^3$ $\lambda = 0.05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$	$\rho = 20 \text{ кг/м}^3$ $\lambda = 0.03 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$
Наружные переборки и подволоки, подвергающиеся действию солнечной радиации	0,8—0,9	0,5—0,6
	0,9—1,0	0,6—0,7
Подволоки в охлаждаемых провизионных кладовых	0,5	0,5
	0,9—1,0	0,7—0,8
в МКО в МКО при теплоизоляции мастикой (при наличии вентилируемого коффердама)	2,5	2,5
	4,0	4,0
Остекленные поверхности		

В табл. 20 приведены значения  $q_{\text{л}}$  в зависимости от характера деятельности и температуры воздуха в помещении. В расчетах принимают тепло- и влаговыведения людей в спокойном состоянии или совершающих легкую физическую работу.

Таблица 20 Тепло- и влаговыведения людей

Характер деятельности	Температура в помещении $t_{\text{в}}$ , °С	Тепловыведения одного человека в единицу времени, Вт			Влаговыведения одного человека $w_{\text{л}}$ , г/ч
		явные $q_{\text{ял}}$	скрытые $q_{\text{сл}}$	общие $q_{\text{л}}$	
Покой	20	86	29	115	42
	22	74	30	104	43
	25	59	35	94	50
Легкая работа	20	95	53	148	79
	22	84	64	148	92
	25	66	80	146	113

Теплопритоки от солнечной радиации  $Q_{\text{с}}$ , кВт, поступающей в помещение через наружные ограждения (кроме остекления), определяются зависимостью

$$Q_{\text{с}} = 10^{-3} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\alpha_n} q_{\text{р}} \varepsilon_{\text{р}} F_{\text{р}i}. \quad (30)$$

Здесь  $k_l$  — коэффициент теплопередачи  $l$ -го ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи от наружного воздуха к поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°С); значение  $\alpha_n$  определяют по эмпирической формуле

$$\alpha_n = 2 + 10\sqrt{\omega_c}, \quad (31)$$

$\omega_c$  — скорость воздуха относительно поверхности ограждения, м/с (в расчетах  $\omega_c$  принимают равной скорости судна при травлении);  $q_p$  — интенсивность солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>; расчетные напряжения солнечной радиации в зависимости от района плавания приведены в табл. 21;  $\epsilon_p$  — коэффициент поглощения солнечной радиации (значения  $\epsilon_p$  для различных поверхностей даны в табл. 22);  $F_p$  — поверхность  $l$ -го ограждения, м<sup>2</sup>.

Таблица 21 Расчетные значения интенсивности солнечной радиации  $q_p$ , Вт/м<sup>2</sup>

Район плавания	На горизонтальную поверхность	На вертикальную поверхность
Неограниченный, а также Черное море с выходом в тропики	1040	720
Каспийское море	990	710
Черное и Азовское моря без выхода в тропики	930	700
Японское, Охотское моря и Тихий океан без выхода в тропики	870	700

Таблица 22 Значения коэффициента поглощения солнечной радиации  $\epsilon_p$

Характер поверхности	$\epsilon_p$
Гладкая, окрашенная краской	
белой	0,4
серой	0,7
черной или суриком	0,9
серебряной	0,45
Полотно шторное	
белое	0,35
темное	0,8
Медь полированная	0,20
Медь тусклая и оцинкованное железо	0,64

Теплопритоки от солнечной радиации, поступающей через остекление,  $Q_{ост}$ , кВт, определяются из выражения

$$Q_{ост} = 10^{-3} \tau q_p \epsilon_p F_{ост}, \quad (32)$$

где  $\tau$  — коэффициент пропускания солнечной радиации стеклом, стекла стандартной толщины  $\delta_{ост}$ , мм, имеют следующие значения  $\tau$ :

$\delta_{ост}$	8	10	12	13	15	20	25	30
$\tau$	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81

$q_n$  — напряжение солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;  $\epsilon_p$  — коэффициент поглощения солнечной радиации при зашторивании (при отсутствии штор  $\epsilon_p = 1$ , для белых штор  $\epsilon_p = 0,35$ , для черных  $\epsilon_p = 0,85$ );  $F_{ост}$  — поверхность остекления, м<sup>2</sup>.

Количество явной теплоты от остывающей пищи в единицу времени  $Q_{оп}$ , кВт, в столовых помещениях

$$Q_{o\ n} = 10^{-3} n q_{o\ n}^{\text{я}}, \quad (33)$$

где  $n$  — расчетное количество одновременно обедающих людей;  $q_{o\ n}^{\text{я}}$  — количество явной теплоты, выделяемой остывающей пищей, на одно посадочное место, Вт/чел. (принимают  $d_{o\ n}^{\text{я}} = 29$  Вт/чел.).

Теплопритоки от приборов электрического освещения и электронагревательных приборов  $Q_{\text{осв}}$ , кВт, определяются по формуле

$$Q_{\text{осв}} = 10^{-3} N, \quad (34)$$

где  $N$  — суммарная установленная мощность источников освещения и электронагревательной аппаратуры, кВт.

Теплопритоки от искусственного освещения при расчете СКВ учитываются только для помещений, не имеющих иллюминаторов.

Теплопритоки от электродвигателя  $Q_{\text{эл}}$ , кВт, без автономного воздушного охлаждения обмоток находят из соотношения

$$Q_{\text{эл}} = N_{\text{эл}} \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \quad (35)$$

или

$$Q_{\text{эл}} = (1 - \eta) N_{\text{потр}}, \quad (36)$$

где  $N_{\text{эл}}$  и  $N_{\text{потр}}$  — соответственно установленная (на валу) и потребляемая мощность, кВт;  $\eta$  — КПД электродвигателя (0,85—0,90)

Определение теплотерь. В зимний период явные теплотери  $Q_{\text{пот}}$ , кВт, принимают равными теплотерям через ограждающие поверхности помещений:  $Q_{\text{пот}} = Q_{\text{огр}}$ .

Теплопритоки от людей, освещения, механизмов и другие идут в запас по теплопроизводительности системы.

В зимнее время температура в коридорах принимается на 1—3 °С ниже, чем в кондиционируемом помещении. Температуру воздуха в МО принимают равной 25 °С.

Определение влагоизбытков. Общее количество влаги  $W$ , кг/ч, выделяемой в помещения за определенное время, находится из уравнения

$$W = W_{\text{л}} + W_{o\ n} + W_{\text{в}}, \quad (37)$$

где  $W_{\text{л}}$  — влаговыведения от людей;  $W_{o\ n}$  — влаговыведения от остывающей пищи;  $W_{\text{в}}$  — влаговыведения с открытой водной поверхности.

Количество влаги, выделяемой людьми за определенное время, составляет

$$W_{\text{л}} = 10^{-3} n \omega_{\text{л}}, \quad (38)$$

где  $n$  — расчетное количество людей в помещении,  $\omega_{\text{л}}$  — количество влаги, выделяемой одним человеком в час (определяется по табл. 20), г/ч.

Количество влаги, выделяемой остывающей пищей в час,

$$W_{o\ n} = n \omega_{o\ n}, \quad (39)$$

где  $n$  — расчетное количество одновременно обедающих людей;  $\omega_{o\ n}$  — влаговыделения от остывающей пищи на одно посадочное место в час (принимают  $\omega_{o\ n} = 0,033$  кг/ч).

Количество влаги, выделяемой с открытых водных поверхностей (например, с мокрой поверхности пола) в час, определяют с достаточной для практики точностью по формуле

$$W_{\text{в}} = (0,006 \div 0,0065) (t_{\text{с}} - t_{\text{м}}) F, \quad (40)$$

где  $t_{\text{с}}$  и  $t_{\text{м}}$  — температура воздуха в помещении по сухому и мокрому термометрам, °С.

Скрытое количество теплоты в секунду  $Q_{\text{скр}}$ , кВт, вносимой в помещения водяным паром,

$$Q_{\text{скр}} = \frac{i_{\text{п}} W}{3600}, \quad (41)$$

где  $W$  — суммарное количество водяного пара (влаги), выделяемого в помещения в час, кг/ч;  $i_{\text{п}}$  — энтальпия водяного пара при температуре помещения (в расчетах принимается 2540—2560 кДж/кг).

Суммарная теплота  $Q_{\text{пол}}$ , кВт, поступающая в кондиционируемое помещение, или теплотопотери определяются уравнением

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{я}} + Q_{\text{скр}}. \quad (42)$$

Тепловлажностное отношение, характеризующее процессы тепло- и влагоассимиляции в помещении или группе помещений, имеющих близкие по значениям тепловлажностные нагрузки, имеет вид  $\epsilon = Q_{\text{пол}}/W$ . В зимний период  $\epsilon$  имеет, как правило, отрицательное значение из-за больших теплотерь в помещениях.

**Определение количества приточного воздуха.** Для отвода из помещения теплоты  $Q_{\text{я}}$  и влаги  $W$  в него подают воздух, температура и влажность которого ниже, чем в помещении. Количество воздуха  $G_{\text{в}}$ , кг/с, необходимого для удаления избытков только явной теплоты или восполнения теплотерь, определяют из уравнений теплового баланса помещений:

$$Q_{\text{пол}} = G (i_{\text{пом}} - i_{\text{п в}}); \quad (43)$$

$$Q_{\text{я}} = G_{\text{в}} c_{\text{ц}} (t_{\text{пом}} - t_{\text{п в}}) \quad (44)$$

или

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{я}}}{c_{\text{с}} (t_{\text{пом}} - t_{\text{п в}})},$$

где  $t_{\text{п в}}$  — температура приточного воздуха, °С;  $t_{\text{пом}}$  — температура воздуха в помещении, °С;  $i_{\text{п в}}$  — энтальпия приточного воздуха, кДж/кг;  $i_{\text{пом}}$  — энтальпия воздуха в помещении, кДж/кг;  $c_{\text{с}}$  — теплоемкость сухого воздуха,  $c_{\text{с}} = 1,0$  кДж/(кг·°С).

Допустимая разность ( $\Delta t_{\text{д}} = t_{\text{пом}} - t_{\text{п в}}$ ) между температурой  $t_{\text{пом}}$ , поддерживаемой в помещении, и температурой охлажденного воздуха  $t_{\text{п в}}$ , поступающего в него, принимают в зависимо-

сти от выбранного типа воздухораспределительного устройства. Применение перфорированных панелей позволяет увеличить эту разность до 12 °С в режиме охлаждения и до 20 °С в режиме отопления помещений. В табл. 23 приведены характеристики наиболее распространенных в СКВ воздухораспределителей.

Таблица 23 Характеристики воздухораспределителей

Воздухораспределитель	Допустимая разность температур $t_{\text{в}}, t_{\text{п}}, t_{\text{с}}$ °С $t_1 = t_{\text{п}} - t_{\text{в}}$	Коэффициент эжекции $k_{\text{эж}} = G_{\text{эж}}/G_1$	Выходная скорость воздуха, м/с
Решетки простые	4—6	0	2—3
Решетки эжектирующие	6—8	1,0—1,2	2—4
Перфорированные панели типа ВП	12—17	0,2—0,4	2—3
Аэроплафоны потолочные	10—15	1,8—2,0	4—5
Эжектирующие смесители типов ВСН ВСР (для двухканальных систем)	7—12	0,3—0,5	3—4
Доводчики жалюзиные двойного эжектирования типов ВДВЭ, ВДЭЭ (для высоконапорных систем)	13—20	1,5—3,0	2—4

Воздух помещения, эжектируемый в воздухораспределителе, смешивается с приточным воздухом. Количество эжектируемого воздуха  $G_{\text{эж}}$  и температура смеси (приточного и эжектируемого)  $t_{\text{см}}$  эжектируемого и приточного воздуха зависит от коэффициента эжекции  $k_{\text{эж}}$  воздухораспределительного устройства (см. табл. 23).

Коэффициент эжекции характеризуется отношением

$$k_{\text{эж}} = \frac{G_{\text{эж}}}{G_1}, \quad (45)$$

где  $G_{\text{эж}}$  — количество воздуха помещения, эжектируемого в воздухораспределителе, кг/с,  $G_1$  — общее количество воздуха, подаваемого в помещение, кг/с

Температуру смеси  $t_{\text{см}}$ , поступающей в помещение, определяют из соотношения

$$G_0 t_{\text{пв}} + G_{\text{эж}} t_{\text{п}} = (G_0 + G_{\text{эж}}) t_{\text{см}}$$

откуда

$$t_{\text{см}} = \frac{G_0 t_{\text{пв}} + G_{\text{эж}} t_{\text{п}}}{G_0 + G_{\text{эж}}} = \frac{t_{\text{пв}} + k_{\text{эж}} t_{\text{п}}}{1 + k_{\text{эж}}} \quad (46)$$

Согласно Санитарным правилам разность между  $t_{\text{см}}$ , поступающей в помещение, и  $t_{\text{пом}}$  при направленных струях не должна превышать 5 °С.

Необходимое количество воздуха  $G_{\text{в}}$ , кг/с, может быть определено из условия удаления влагонизбытков:



$$G_{\text{в}} = \frac{W}{d_{\text{yx}} - d_{\text{нв}}}, \quad (47)$$

где  $d_{\text{yx}}$  — влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения, кг/кг;  $d_{\text{нв}}$  — влагосодержание приточного воздуха, кг/кг.

Минимальное количество наружного воздуха  $G_{\text{н}}$  определяют по Санитарным нормам (допустимой концентрации углекислого газа) и числу людей в помещении (см. раздел 2.1). Большее из  $G_{\text{в}}$  и  $G_{\text{н}}$  принимают за расчетное значение общего количества воздуха  $G_0$  (обычно  $G_{\text{н}} < G_0$ ).

Расход рециркуляционного воздуха равен  $G_{\text{р}} = G_0 - G_{\text{н}}$ . Если количество рециркуляционного воздуха, определенного из вышеуказанного равенства, больше установленного Санитарными правилами ( $> 30\%$ ), то его уменьшают до  $30\%$ , увеличивая  $G_{\text{н}}$  при сохранении  $G_0$ .

Типы системы кондиционирования, воздухораспределителей, кондиционеров выбирают в зависимости от типа судна, района плавания, назначения помещений, наличия или отсутствия на судне холодильной установки. Для групп помещений, имеющих одинаковые или близкие по значению тепловлажностные нагрузки, применяют систему с одним центральным кондиционером. Каждая группа объединяет 10—12 однотипных помещений для низконапорных систем и 15—25 помещений для высоконапорных. Число групп помещений, обслуживаемых одним кондиционером, определяется его тепло- и холодопроизводительностью и подачей воздуха. Для помещений с различными тепловлажностными характеристиками может быть применена схема, при которой воздух, поступающий из центрального кондиционера, проходит дополнительную обработку в групповом кондиционере. Системы с рециркуляцией применяют для жилых, а без рециркуляции — для медицинских помещений. Помещения левого и правого бортов, как правило, обслуживают самостоятельные системы.

После выбора типа системы, схемы хладоснабжения и определения количества приточного воздуха строят процессы тепло-влажностной обработки воздуха на диаграмме  $Id$  и определяют тепловые нагрузки на кондиционер. Для примера рассмотрим порядок построения процессов в летнем и зимнем режимах работы для одноканальной высоконапорной СКВ без дополнительной обработки воздуха (см. рис. 43). По расчетным параметрам воздуха помещений ( $T_{\text{пом}}$ ,  $\varphi_{\text{пом}}$ ) находят точку  $П$  (см. рис. 44,  $a$ ) и точку  $H$ , соответствующую расчетным параметрам наружного воздуха ( $t_{\text{н}}$ ,  $\varphi_{\text{н}}$ ). Через точку  $П$  проводят луч процесса  $\epsilon$ . На нем находят точку  $\Gamma$ , отложив разность температур воздуха в помещении и приточного воздуха ( $\Delta t_{\text{д}} = t_{\text{пом}} - t_{\text{пв}}$ ). Значение этой разности принимается в зависимости от типа воздухораспределителя (см. табл. 23). Линия  $\Gamma П$  — процесс ассимиляции приточным воздухом теплоты и влаги помещения. С учетом подогрева воздуха в воздухопроводах на пути от кондиционера до обслуживаемого помещения, принимаемого в зависимости от протяжен-

ности труб от 1 до 4 °С, определяют состояние воздуха на выходе из воздухоохладителя кондиционера (точка *B*).

Для установления параметров воздуха на входе в воздухоохладитель сначала находят точку *P*, соответствующую состоянию рециркуляционного воздуха перед кондиционером [При движении по воздухопроводу из помещения к кондиционеру рециркуляционный воздух подогревается на 1—3 °С при постоянном влагосодержании (процесс *PP*)]. Затем соединяют точки *P* и *H* прямой, которая представляет собой линию смещения наружного и рециркуляционного воздуха. Положение точки *A*, соответствующее состоянию смеси воздуха, определяется из соотношения  $G_H \cdot HA = G_P \cdot PA$ .

С учетом нагревания воздуха в вентиляторе состояние воздуха перед воздухораспределителем будет определяться точкой *B*. В расчетах подогрев воздуха в вентиляторе принимается 1 °С на каждые 1000 Па полного давления, развиваемого вентилятором. Для высоконапорных СКВ подогрев воздуха будет составлять 2,5—5 °С. Линия *BВ* изображает процесс охлаждения и осушения воздуха в воздухоохладителе. Точка пересечения продолжения линии *BВ* с линией насыщения  $\varphi=1$  (точка *O*<sub>1</sub>) ориентировочно характеризует среднюю температуру наружной поверхности воздухоохладителя *t*<sub>о1</sub>.

Тепловую нагрузку на воздухоохладитель определяют по формуле

$$Q_o = G_o (I_B - I_A), \quad (48)$$

где *I*<sub>о</sub> и *I*<sub>в</sub> — энтальпия воздуха соответственно на входе в воздухоохладитель и на выходе из него, кДж/кг.

Холодопроизводительность кондиционера *Q*<sub>ок</sub>, кВт, меньше холодопроизводительности воздухоохладителя на величину теплопритока от электровентилятора и составляет

$$Q_{ок} = G_o (I_A - I_B),$$

где *I*<sub>а</sub> — энтальпия воздуха на входе в кондиционер.

В зимнем режиме работы (см. рис. 45, б) заданными являются также параметры наружного воздуха (точка *H*) и воздуха в помещении (точка *П*). Общее количество воздуха *G*<sub>о</sub> принимается равным его количеству, определенному для летнего режима. Точку *P*, соответствующую состоянию рециркуляционного воздуха, определяют по величине охлаждения его в воздухопроводах, равной 1—3 °С.

Температура воздуха, выходящего из первичного воздухонагревателя (точка *B*), обычно принимается 12—18 °С. Процесс *BВ* изображает подогрев воздуха в вентиляторе, составляющий 2,5—5 °С. Температура приточного воздуха ориентировочно принимается равной 30—45 °С. Состояние приточного воздуха (точка *Г*) определяется на пересечении изотерм  $t_r = 30 \div 45$  °С с лучом тепловлажностного процесса в помещении

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{пол}}}{W}.$$

Линия  $DГ$  ( $d = \text{const}$ ) соответствует процессу нагревания воздуха во вторичном нагревателе. Процесс увлажнения паром (линия  $ВД$ ) проходит по изотерме  $t_v = \text{const}$ .

По данным значений энтальпий в точках  $A$ ,  $B$ ,  $D$  и  $E$  можно определить тепловые нагрузки на первичные и вторичные воздухонагреватели.

Полная теплопроизводительность кондиционера  $Q_{\text{тк}}$ , кВт определяется из соотношения

$$Q_{\text{тк}} = G_o (I_E - I_A), \quad (49)$$

где  $I_E$  и  $I_A$  — энтальпия воздуха соответственно на выходе из кондиционера и на входе в него, кДж.

Подача воздуха вентилятором кондиционера  $L_o$ , м<sup>3</sup>/с, при нормальных условиях ( $p = 0,1$  МПа,  $t = 20$  °С,  $\varphi = 50$  %, кинематической вязкости  $\nu = 15,6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с) составляет

$$L_o = \frac{G_o}{\rho_n},$$

где  $\rho_n = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> — плотность воздуха при нормальных условиях.

По данным  $Q_{\text{ок}}$ ,  $Q_{\text{тк}}$  и  $L_o$  подбирают соответствующий кондиционер.

#### 2.4.2. Аэродинамический расчет

Вентилятор подбираемого кондиционера должен развивать полное давление (напор), равное сумме потерь давления в СКВ, включая всасывающий и нагнетательный воздухопроводы, воздухораспределители и кондиционер. Для определения потерь давления в системе производят ее аэродинамический расчет.

Основой аэродинамического расчета является схема системы воздухопроводов, на которой указаны прямые участки, местные сопротивления и узловые точки (рис. 56). По всей длине каждого участка сохраняются постоянными средняя скорость и расход воздуха. В узловых точках происходит разделение или слияние потоков воздуха. На схеме участки маркируют арабскими цифрами, а узловые точки — римскими от конца основной магистрали. На выносной линии от каждого участка записывают исходные данные: расход воздуха  $L_v$ , м<sup>3</sup>/с, гидравлический диаметр  $d$ , мм, скорость воздуха  $w$ , м/с, и длину участка  $l$ , м.

Гидравлический диаметр для воздухопровода круглого сечения равен его диаметру, а для прямоугольного сечения

$$d = \frac{2ab}{a+b},$$

где  $a$  и  $b$  — стороны прямоугольника, мм.

Диаметры отдельных участков воздухопровода определяют исходя из необходимой подачи воздуха в помещения и рекомен-

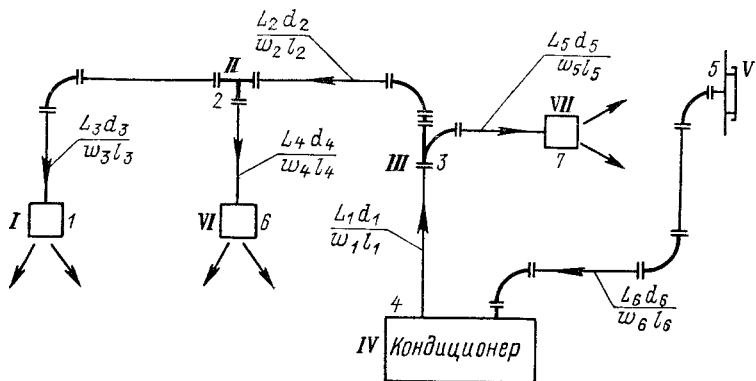


Рис. 56. Расчетная схема СКВ

двух скоростей воздуха в магистралях и ответвлениях (см. табл. 15).

Необходимый диаметр воздухопровода находится из выражения

$$d = \sqrt{\frac{4L_B}{\pi\omega}},$$

где  $L_B$  — расход воздуха через магистраль (отвод), м<sup>3</sup>/с.

Потери давления в воздухопроводах  $\Delta p$ , Па, определяют по формуле

$$\Delta p = \sum_{i=1}^{i=k} \Delta p_{\text{тр}} + \sum_{j=1}^{j=n} \Delta p_{\text{м}}, \quad (50)$$

где  $\sum_{i=1}^{i=k} \Delta p_{\text{тр}}$  — сумма потерь давления на трение на прямых участках, Па;  $\sum_{i=1}^{i=n} \Delta p_{\text{м}}$  — сумма потерь давления в местных сопротивлениях воздухопровода (арматура, колена, тройники и т. д.), Па.

Потеря давления на трение равна

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho\omega^2}{2}, \quad (51)$$

где  $\lambda_{\text{тр}}$  — коэффициент сопротивления трения;  $l$  — длина прямого участка, м;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  — скорость воздуха, м/с;  $d$  — гидравлический диаметр воздухопровода, м.

Коэффициент сопротивления трения  $\lambda_{\text{тр}}$  вычисляют из соотношений: при  $Re \leq 100\,000$

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{0,316}{Re^{0,25}}, \quad (52)$$

при  $Re > 100\,000$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}. \quad (53)$$

Здесь  $Re$  — число Рейнольдса,  $Re = \omega d/\nu$ ;  $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости воздуха, м<sup>2</sup>/с.

Потери давления на местные сопротивления  $\Delta p_m$ , Па, определяют по формуле

$$\Delta p_m = \xi \frac{\rho \omega^2}{2}, \quad (54)$$

где  $\xi$  — коэффициент местного сопротивления.

Значения коэффициентов различных местных сопротивлений (внезапное сужение или расширение канала, вход в воздухопровод, колена, тройники и т.п.) приводятся в справочной и специальной литературе [2, 11 и др.]. Некоторые из них приведены ниже.

Местное сопротивление	$\xi$
Крышка водогазонепроницаемая . . . . .	0,9
Плавный поворот на $90^\circ$ . . . . .	0,5
Прямое колено под $90^\circ$ . . . . .	1,1
Плавное сужение канала . . . . .	0,4
Внезапное расширение канала . . . . .	0,8—1,0
Свободный выход из канала . . . . .	1,0
Тройник приточный под $90^\circ$ . . . . .	1,6
Тройник приточный под $45^\circ$ . . . . .	0,5
Воздухонагреватель выпускной . . . . .	0,2

Полное давление, развиваемое электровентилятором кондиционера, обычно превышает сумму потерь давления по данным аэродинамического расчета на 10—15 %.

## 2.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ СУДОВЫХ СКВ

### 2.5.1. Задачи автоматизации

Судовые СКВ рыбопромыслового флота в основном рассчитаны на работу при быстроизменяющихся метеорологических условиях, поэтому все аппараты и устройства СКВ, поддерживающие комфортные параметры в помещении, могут быстро изменять режим работы в соответствии с изменением параметров наружного воздуха. Для облегчения управления СКВ и обеспечения точности в поддержании необходимых параметров в помещении применяют *систему автоматического регулирования (САР)*. Она обеспечивает поддержание комфортных параметров [температуры с точностью  $\pm (1—1,5)^\circ\text{C}$  и относительной влажности с точностью  $\pm (5—10)\%$ ] в жилых и служебных помещениях вне зависимости от времени года, района плавания и изменения внутренних тепловыделений.

Основными элементами САР являются объект регулирования (машина, аппарат) и регулятор, включающий датчик, задающее, регулирующее устройства и исполнительный орган.

*Датчик* представляет собой устройство, которое воспринимает изменение регулируемого параметра и преобразует его в другой более удобный параметр для передачи его к регулируемому устройству. В качестве датчиков температуры применяются

манометрические, биметаллические, дилатометрические чувствительные элементы, термометры сопротивления, а в качестве датчиков относительной влажности — психрометрические, гигрометрические волосяные, пленочные и другие чувствительные элементы.

С помощью *датчика* устанавливается требуемое значение регулируемого параметра либо задается определенная программа его изменения. Датчики могут быть механические, пневматические, электрические, электронные и другие в зависимости от типа САР.

*Регулирующее устройство* сравнивает параметр, заданный датчиком, с параметром датчика и вырабатывает сигнал рассогласования, который после усиления поступает к исполнительному органу.

*Исполнительный орган* представляет собой исполнительный механизм, выполненный за одно целое с регулирующим органом. Исполнительный механизм (сервомотор, электродвигатель, соленоид) преобразует сигнал от регулирующего устройства в перемещение регулирующего органа.

В зависимости от мощности сигнала рассогласования различают регуляторы прямого и непрямого действия. В *регуляторе прямого действия* регулирующий орган перемещается за счет энергии, развиваемой датчиком. Регулирующий орган в *регуляторах непрямого действия* приводится в движение за счет внешней энергии. Регуляторы непрямого действия по виду потребляемой энергии разделяются на электрические, пневматические и др.

По способу воздействия на объекты регулирования регуляторы могут быть позиционного и плавного действия.

В *позиционных регуляторах* регулирующий орган может занимать два или несколько определенных положений. Так, соленоидный клапан может быть либо полностью открыт, либо полностью закрыт.

В *регуляторах плавного действия* регулирующий орган может занимать любые промежуточные положения в пределах между максимальным и минимальным. Так, моторный регулирующий клапан может плавно изменять расход рабочего вещества (жидкости, пара).

По характеру связи между изменением регулируемого параметра и перемещением регулирующего органа регуляторы делятся на статические (пропорциональные) и астатические (интегральные).

В *статических регуляторах* (П-регуляторах) каждому значению отклонения регулируемого параметра соответствует определенное положение регулирующего органа. Последний перемещается до тех пор, пока не прекратится изменение регулируемой величины. П-регулятор приходит в равновесие независимо от того, устранено отклонение параметра или нет.

В *астатических регуляторах* (И-регуляторах) при отклонении регулируемого параметра от заданного значения регулирующий

орган перемещается до тех пор, пока регулируемый параметр не возвратится к исходному значению. Разновидностью астатических регуляторов являются изодромные (ПИ-регуляторы) и другие регуляторы, имеющие стабилизирующие устройства, способствующие более быстрому протеканию переходного процесса. Изодромные регуляторы сочетают в себе свойства статических и астатических регуляторов. Как и в И-регуляторах, в них при изменении регулируемого параметра регулирующий орган перемещается до тех пор, пока регулируемый параметр не достигнет своего начального значения. ПИ-регуляторы отличаются высокой степенью точности в поддержании регулируемого параметра независимо от характера изменения тепловлажностной нагрузки объекта регулирования.

При автоматизации судовых СКВ применяются в основном П- и ПИ-регуляторы.

Системы автоматического регулирования подразделяются аналогично делению регуляторов.

При автоматизации процессов тепловлажностной обработки воздуха в судовых СКВ нашли применение пневматические, электромеханические САР, а также САР с регуляторами прямого действия.

### **2.5.2. Пневматическая система автоматического регулирования**

Пневматическая САР обладает высокими техническими и эксплуатационными качествами, обеспечивая более точное, по сравнению с электромеханической САР и регуляторами прямого действия, поддержание заданных значений параметров. Система пневмоавтоматики на рыбопромысловых судах выполняется на базе как отечественных приборов системы „Старт“ и элементов УСЭППА (универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики), так и зарубежных.

В качестве примера на рис. 57 показана принципиальная схема пневматической САР типа ФАР фирмы „Хонейвелл“ (США). Системой типа ФАР оборудованы одноканальные высоконапорные СКВ на РТМ типа „Атлантик“, РБМ типа „Рыбацкая слава“, ТР типа „Карл Либкнехт“ и др. Центральный одноканальный высоконапорный кондиционер СКВ (рис. 57) включает: воздухоохладитель 19, воздухонагреватель 20, противопыльные фильтры 21, паровой увлажнитель 9, элиминатор 17, электро-вентилятор 23, распределительную шумопоглощающую камеру 16 и блок автоматики. Автоматика обеспечивает регулирование температуры, влажности воздуха на выходе из кондиционера и давления его в магистральных воздухопроводах.

Для работы автоматической системы используется сжатый воздух от судовой системы низкого давления 0,6 МПа. После редуционной станции 1 воздух с давлением 0,13 МПа очищается в фильтре и поступает к приборам автоматики.

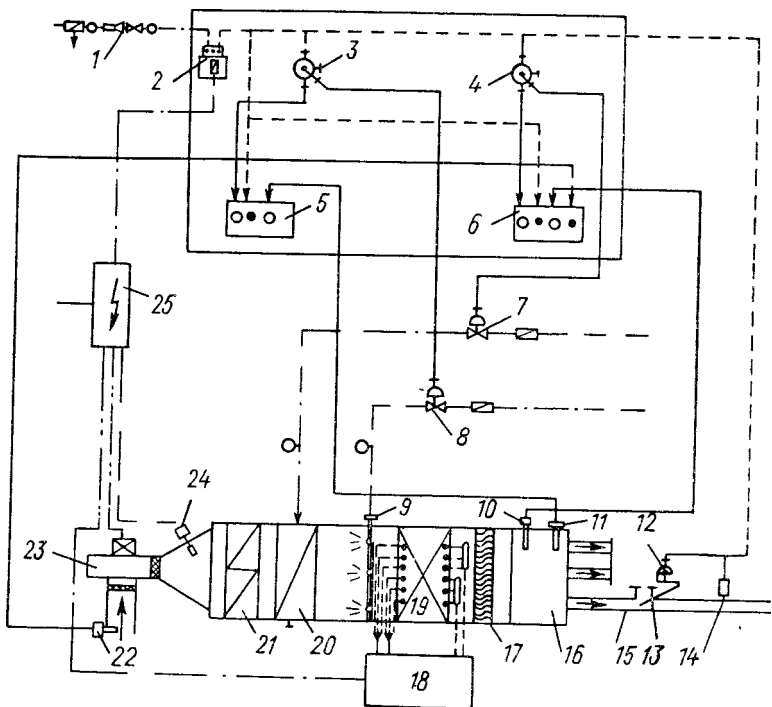


Рис 57. Принципиальная схема пневматической САР

Выбор необходимого режима обработки воздуха осуществляется двухступенчатым электротермостатом (реле переключения режимов) 24 с диапазоном регулирования 13—29 °С.

В режиме охлаждения электротермостат 24 через распределительный щит 25 управляет работой электропневматического реле 2 и холодильной машины 18, которая автоматически поддерживает температуру кипения хладона в воздухоохладителе 19, а следовательно, и температуру воздуха на выходе из кондиционера.

В режиме нагревания регулирование температуры воздуха на выходе из воздухонагревателя 20 осуществляется в зависимости от температуры воздуха на входе в кондиционер. Пневматический сигнал от датчика 22 поступает на вход пневморегулятора 6 (ПИ-регулятор). Одновременно на вход регулятора 6 поступает сигнал от датчика 10. В измерительном устройстве регулятора этот сигнал сравнивается с сигналом от датчика 22. Обобщенный, преобразованный в соответствии с пропорционально-интегральным законом регулирования и усиленный сигнал подается через пневмоманипулятор 4 на сервомотор с регулирующим клапаном 7. Клапан изменяет расход пара на воздухонагреватель 20, что вызывает изменение температуры воздуха на выходе из кондиционера. Система приходит в равновесие при достижении заданной



температуры. Регулятор с двумя датчиками (до вентилятора и после нагревателя) обеспечивает плавную работу системы и поддерживает стабильную температуру воздуха на выходе из кондиционера.

Влажность воздуха, выходящего из распределительной камеры, регулируется с помощью датчика 11, регулятора влажности 5 и исполнительного органа 8. При изменении влажности в районе установки датчика соответственно изменяется величина пневмосигнала, поступающего на регулятор 5 (ПИ-регулятор). В регуляторе сигнал от датчика сравнивается с внутренним сигналом от задатчика, их разность преобразуется, усиливается и подается через пневмоманипулятор 3 на сервомотор с регулирующим клапаном 8, который изменяет расход пара на увлажнитель 9.

Стабильное давление воздуха в нагнетательных воздухопроводах 15 поддерживается автоматическим пневморегулятором статического давления 13, который, получая импульс от датчика давления 14, воздействует на пневматический клапан 12.

Элементами пневматической системы автоматического регулирования являются датчики, регуляторы, сервомоторы, пневмоэлектрические реле и др.

*Пневматический датчик относительной влажности типа НР901Д (рис. 58) является составной частью регулятора влажности. Чувствительным элементом прибора служит нейлоновая нить 7, которая при увеличении относительной влажности окружающего воздуха удлиняется, а при уменьшении сокращается. С увеличением длины нити 7 рычаг 4 под действием работающей на растяжение пружины 2 поворачивается против часовой стрелки, и клапан 5 прикрывает отверстие, через которое поступает воздух. В результате этого давление в трубопроводе 6 повышается, что вызывает срабатывание элементов регулятора и уменьшение подачи пара на увлажнение. При уменьшении длины нити система приходит в обратное движение, увеличивая подачу пара на увлажнитель. Движение к рычагу 4 передается через угловой рычаг 1 и пружину 3. Датчик работает в пределах 30—80 % относительной влажности. Прибор регулировки не имеет. Рабочее давление воздуха 0,135 МПа, максимально допустимое составляет 0,175 МПа. Прибор устанавливается в потоке воздуха на выхо-*

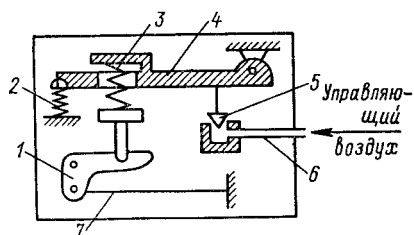


Рис 58 Схема датчика относительной влажности

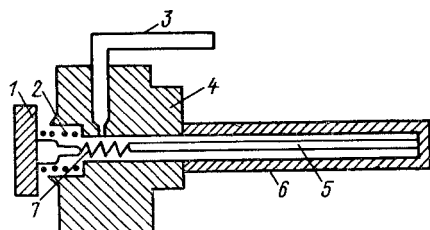


Рис 59 Схема дилатометрического датчика температуры

де из кондиционера. Для визуального контроля за относительной влажностью рядом с датчиком ставят гигрометр 3 (см. рис. 60).

*Дилатометрический датчик температуры типа Р914А* изображен на рис. 59. Чувствительным элементом прибора является латунная трубка 6, изменяющая свою длину под действием температуры окружающей среды. К донышку трубки приварен стержень 5 из инвара. Инвар незначительно изменяет свою длину при изменении температуры окружающего воздуха, так как имеет малый коэффициент линейного расширения. При изменении температуры клапан 1 будет либо увеличивать, либо уменьшать проходное сечение для выхода воздуха, что повлечет за собой изменение давления в подводящем трубопроводе 3. При изменении температуры клапан 1, нагруженный пружиной 2 и связанный со стержнем из инвара через пружину 7, будет либо увеличивать (при охлаждении), либо уменьшать (при нагревании) проходное сечение выхода воздуха из внутренней полости корпуса 4, что повлечет за собой изменение давления в подводящем трубопроводе 3 и перемещение исполнительного органа, регулирующего подачу пара в воздухонагреватель кондиционера. Такие датчики выпускаются двух типов для диапазонов температур: от  $-40$  до  $+71$  °С и от  $+4$  до  $+116$  °С. Прибор регулировке не подлежит.

*Пневматический регулятор влажности типа Р908А* (рис. 60) предназначен для управления сервомотором клапана парового

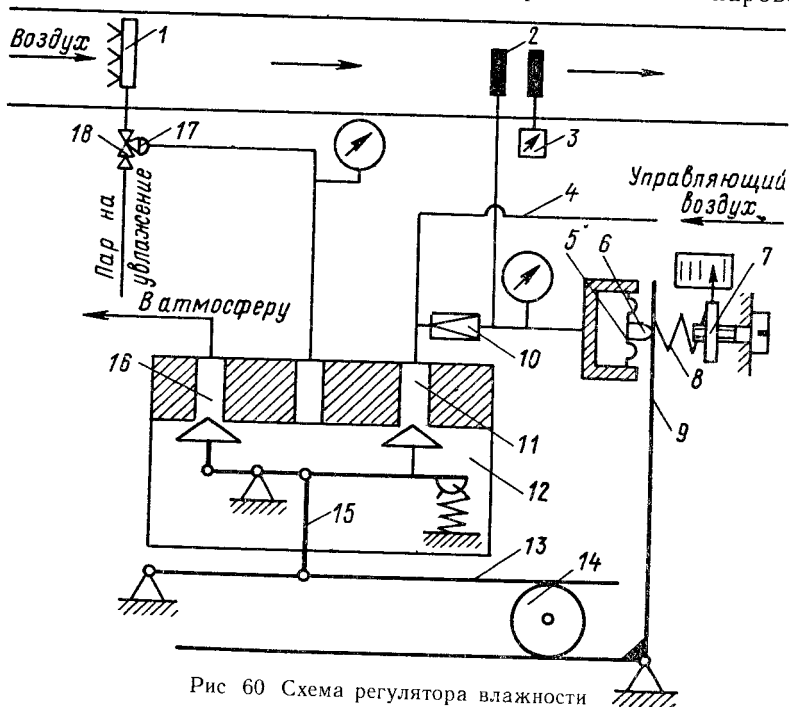


Рис 60 Схема регулятора влажности

увлажнителя. Этот прибор может быть использован для регулирования температуры и давления воздуха. Датчик относительной влажности воздуха 2 устанавливается за увлажнительным устройством 1 по ходу обрабатываемого воздуха. Управляющий воздух поступает по трубопроводу 4 и далее идет по двум направлениям: первое — через дроссель 10 постоянного сечения к датчику 2, где стравливается в атмосферу через клапан датчика, второе — через сопло 11 в камеру 12. Из камеры 12 воздух поступает на сервомотор 17 клапана 18 увлажнителя 1 и частично стравливается в атмосферу через сопло 16.

Прибор работает следующим образом. При уменьшении относительной влажности воздуха датчик 2 приоткрывает отверстие для выхода воздуха в атмосферу (см. рис. 58), при этом давление за дросселем 10 понижается и появляется сигнал рассогласования. Пружина 8 регулировочного устройства 7, преодолевая сопротивление мембраны 5, через шток 6 поворачивает угловой рычаг 9 против часовой стрелки. При этом рычаги 15 и 13 вместе с роликом 14 под действием пружины, находящейся в камере 12 регулятора, также поворачиваются по часовой стрелке, в результате чего поступление воздуха из трубопровода 4 через сопло 11 в камеру 12 увеличится, а выход воздуха через сопло 16 в атмосферу уменьшится. Давление в камере 12 и на сервомотор 17 клапана возрастет, и, следовательно, увеличится подача пара на увлажнение. Давление воздуха, действующего на мембрану 5, и сила пружины 8 уравниваются, а значение относительной влажности воздуха на выходе из кондиционера останется в пределах заданного. Диапазон работы прибора устанавливается изменением усилия пружины 8. Ролик 14 может быть поставлен в любом месте рычага 9, благодаря чему достигается точность поддержания заданной относительной влажности, которая составляет для данного типа прибора  $\pm 10\%$ .

*Пневматический регулятор температуры типа Р908В* (рис. 61) предназначен для автоматического поддержания заданной температуры обрабатываемого воздуха путем воздействия через сервомотор на клапан, регулирующий подачу пара в нагреватель кондиционера. Прибор получает сигналы от двух датчиков 4 и 6, первый из которых контролирует температуру наружного воздуха, а второй — температуру после воздухонагревателя 5. Конструкция левой части прибора аналогична конструкции регулятора влажности (Р908А). Рычаг 13, Т-образный, уравнивается с одной стороны давлением воздуха в камере 8, а с другой — давлением воздуха в камере 10, которое зависит от сигнала, выдаваемого датчиком температуры наружного воздуха 4. Давление в камере 10 передается на правое плечо рычага 13 через мембрану, рычаг 12 и ролик 11. Управляющий воздух поступает к датчикам температуры через редукционные клапаны 7 и 16. При неизменной температуре наружного воздуха система рычагов регулятора находится в состоянии равновесия.

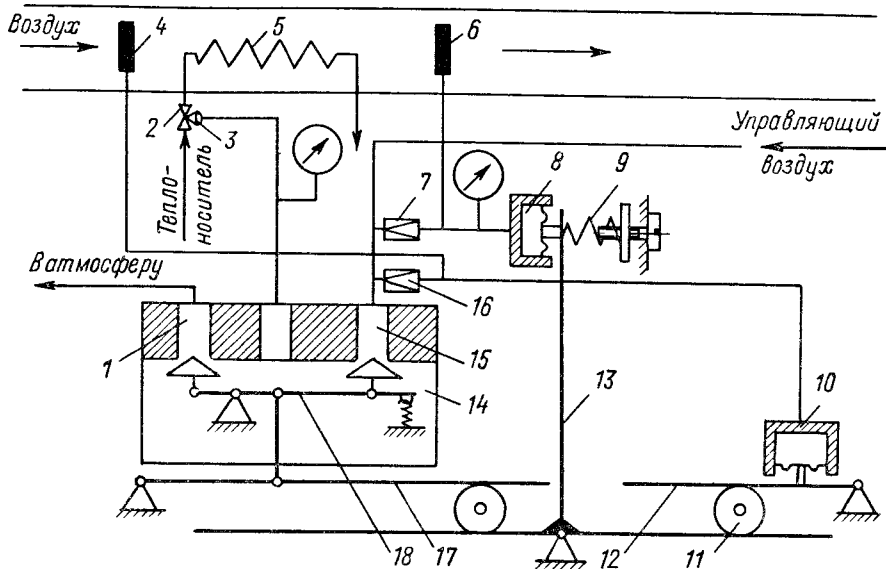


Рис 61 Схема регулятора температуры

С понижением температуры наружного воздуха датчик 6 вследствие увеличения выпуска воздуха наружу уменьшает давление на мембрану в камере 8, система рычагов 13, 17 и 18 под действием пружины 9 приходит в движение, уменьшая выпуск воздуха наружу через сопло 1 и увеличивая его поступление через сопло 15 в камеру 14 регулятора. В результате этого сервомотор 3 увеличивает открытие регулирующего клапана 2, подающего пар на нагреватель. Величина открытия клапана не соответствует величине понижения температуры воздуха, поскольку противодействие пружины сервомотора растет непропорционально. Поправку в работу регулятора вносит датчик наружной температуры 4. С понижением температуры давление в камере 10 уменьшается и через систему рычагов 12, 13, 17 и 18 увеличивается открытие сопла 15 и закрытие сопла 1. Давление в камере 14 повышается и сервомотор увеличивает подачу пара в воздухонагреватель. Температура воздуха за нагревателем повышается, что позволяет компенсировать теплотери из помещения в окружающую среду в связи с понижением температуры наружного воздуха.

*Пневматический сервомотор типа МР953Д* (рис. 62) является исполнительным механизмом, который с помощью воздуха, выходящего из камеры регулятора, управляет регулирующим клапаном на линии подачи пара в увлажнительное устройство или воздухонагреватель. Сервомотор состоит из корпуса 2, к которому прикреплен наружный край неопреновой мембраны 3. Внутренний край мембраны 3 закреплён на подвижном опорном конусе 6.

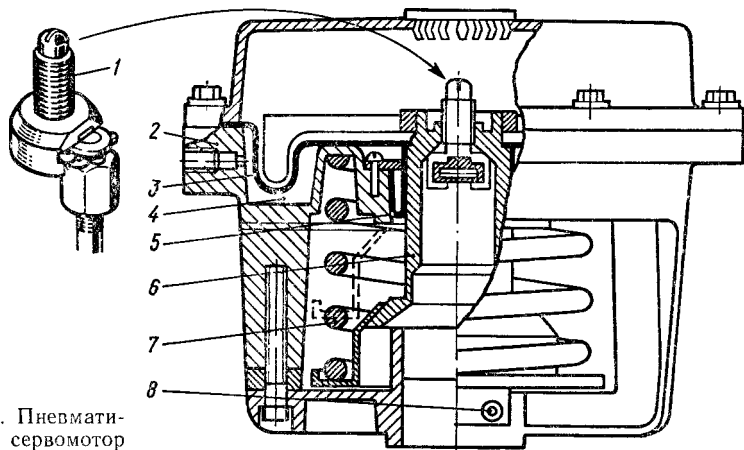


Рис. 62. Пневматический сервомотор

В пространство 4 между корпусом 2 и рабочей мембраной 3 подается рабочий управляющий воздух. Уплотнение между корпусом и опорным конусом осуществляется внутренней мембраной 5. Воздух, подаваемый под эластичную мембрану 3, стремится поднять опорный конус 6, в котором с помощью болта 1 закреплен шток регулирующего клапана. Усилие, развиваемое мембраной 3, достаточно для передвижения клапана. При рабочем давлении воздуха, равном 0,13 МПа, мембрана, имеющая площадь примерно 100 см<sup>2</sup>, развивает усилие около 1300Н. Пружина 7, работающая на сжатие, стремится опустить опорный конус вниз и закрыть клапан. При отсутствии давления в пространстве под мембраной клапан будет закрыт. Сервомотор крепится к клапану болтом 8.

При повреждении системы автоматического регулирования управление работой СКВ осуществляют вручную. Сервомоторы управляются при помощи ручных пневмоманипуляторов Р402А, имеющих три рабочих положения „Открыто“, „Закрыто“ и „Автомат“. В положении „Открыто“ рабочая полость сервомотора сообщается с трубопроводом управляющего воздуха, а в положении „Закрыто“ — с атмосферой. Таким образом, регулирующий клапан может быть либо полностью открыт, либо полностью закрыт. В этом случае регулирование температуры и влажности производят ручными клапанами.

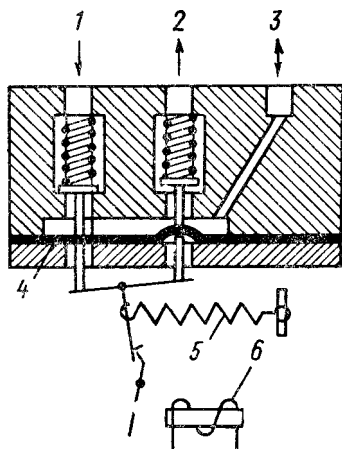


Рис. 63 Электропневматическое реле

Электропневматическое реле Р403Д, схема которого показана на рис. 63, представляет собой

переключатель соленоидного типа, катушка 6 которого последовательно включена в цепь управления электродвигателем вентилятора и реле переключения режимов работы.

При выключении электродвигателя вентилятора катушка соленоида 6 обесточивается. Пружина 5 поворачивает Т-образный рычаг, при этом канал 1 подачи управляющего воздуха в САР под действием пружины закрывается, по каналу 3 через открытый канал 2 стравливается воздух, оставшийся в системе регулирования, и под действием своих пружин закрываются автоматические клапаны. При подаче питания на катушку Т-образный рычаг поворачивается по часовой стрелке и через шток и гибкую мембрану 4 открывает канал 1, по которому рабочий воздух поступает в канал 3 и в систему регулирования; канал 2 под действием пружины закрывается.

Другая цепь управления катушкой соленоида соединена с реле переключения режимов, которое контролирует температуру наружного воздуха и осуществляет автоматический переход с зимнего режима на режим вентиляции. По достижении заданной температуры наружного воздуха (например,  $+15^{\circ}\text{C}$ ) реле обесточивает катушку соленоида, в связи с чем отопление выключается и установка работает в режиме вентиляции. Имеются переключатели режимов, работающие в системах круглогодичного кондиционирования. Такой переключатель обеспечивает работу отопления при температуре наружного воздуха ниже  $18^{\circ}\text{C}$ , работу только вентиляции при температуре от  $18$  до  $21^{\circ}\text{C}$  и включение холодильной установки при температуре выше  $21^{\circ}\text{C}$ .

### **2.5.3. Электромеханическая система автоматического регулирования**

На рис. 64 приведена принципиальная схема электромеханической САР центрального кондиционера 12 марки 301ПУ34 с рассольным охлаждением и паровым нагреванием. Такими кондиционерами оборудованы одноканальные высоконапорные СКВ, устанавливаемые на судах типа СРТМ. Система автоматики обеспечивает в летнем режиме работы поддержание заданной температуры рассола ( $5^{\circ}\text{C}$ ) во втором контуре и воздуха на выходе из кондиционера ( $15^{\circ}\text{C}$ ); в зимнем режиме работы — поддержание заданной температуры и относительной влажности на выходе из кондиционера.

В летнем режиме САР работает следующим образом. Рассол первого контура охлаждается в испарителе 4 и теплеется в охладителе 1, отбирая теплоту от рассола второго контура (21 и 22 — центробежные насосы). Заданная температура рассола во втором контуре поддерживается при помощи температурного реле 2 типа ТР5-ОМ5-02, реагирующего на изменение температуры рассола второго контура и соленоидного клапана 3, установленного на линии циркуляции рассола в первом контуре. С понижением тем-

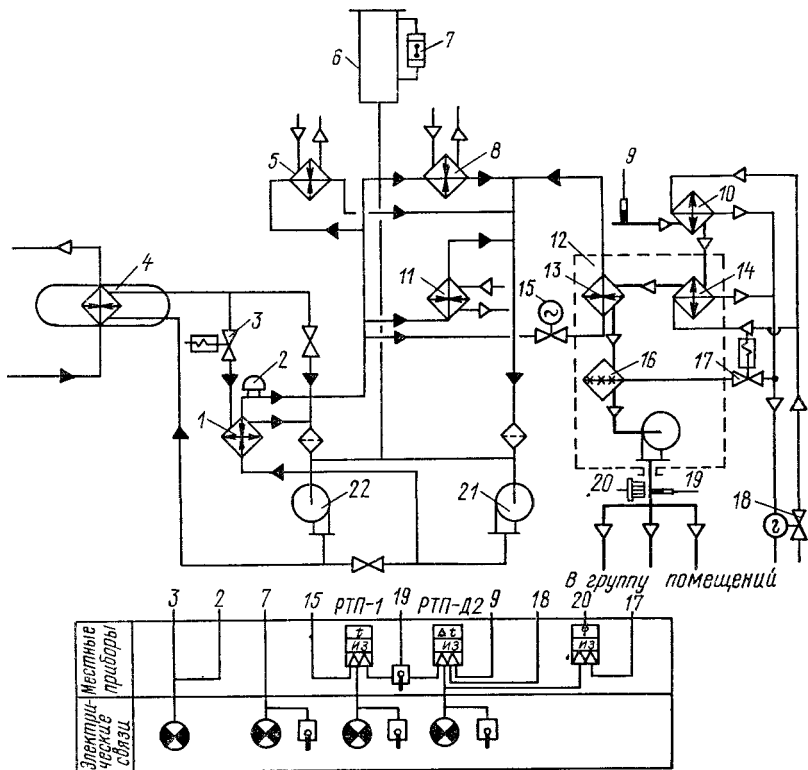


Рис 64 Принципиальная схема электромеханической САР

температуры рассола ниже  $5^{\circ}\text{C}$  термореле выдает сигнал на закрытие соленоидного клапана. При отсутствии циркуляции рассола в первом контуре температура рассола во втором контуре растет. С повышением температуры рассола более  $5^{\circ}\text{C}$  термореле выдает сигнал на открытие соленоидного клапана, что обеспечивает циркуляцию рассола в первом контуре. Двухпозиционное регулирование позволяет поддерживать заданную температуру рассола во втором контуре.

Уровень рассола в расширительном баке 6 контролируется при помощи полупроводникового реле уровня 7 типа ПРУ-5. Температура воздуха в помещениях аммиачных баллонов, рулевой рубки, камбуза, моторного отделения регулируется вручную путем изменения количества подаваемого рассола второго контура в охладители 11, 5 и 8.

Поддержание заданной температуры воздуха на выходе из кондиционера осуществляется при помощи регулятора температуры РТП-1 (с терморезисторным датчиком 19 марки ДТП-2), управляющего моторным клапаном 15 марки ПР и установлен-

ного на трубопроводе подачи рассола второго контура к воздухоохладителю 13 кондиционера. В зависимости от температуры наружного воздуха (28—32 °С) по шкале встроенного задатчика регулятора РТП-1 можно установить температуру в пределах 14,5—15,5 °С. При температуре наружного воздуха 30 °С на РТП-1 устанавливается 15 °С.

Сигнал от датчика температуры ДТП-2, установленного на выходе из кондиционера, поступает на РТП-1 и сравнивается с внутренним сигналом от задатчика регулятора; в результате нарушения равновесия в мостовом измерительном блоке регулятора получается сигнал рассогласования, который преобразуется в командный сигнал на открытие или закрытие моторного клапана ПР. При понижении температуры выходящего из кондиционера воздуха ниже установленной на РТП-1 моторный клапан уменьшает подачу рассола в воздухоохладитель кондиционера. С уменьшением подачи рассола на воздухоохладитель кондиционера температура воздуха на выходе из него повышается, в связи с чем изменяется сигнал от ДТП-2, и РТП-1 выдает команду на открытие моторного клапана ПР. В результате моторный клапан займет положение, при котором подача рассола на охладитель обеспечит установленную задатчиком РТП-1 температуру воздуха на выходе из кондиционера. При изменении температуры наружного воздуха изменяется сигнал от датчика ДТП-2, что влечет за собой изменение количества подаваемого рассола и поддержание постоянной температуры воздуха, выходящего из кондиционера.

В зимнем режиме работы поддержание постоянной температуры воздуха на выходе из кондиционера в зависимости от температуры наружного воздуха осуществляется при помощи регулятора температуры РТП-Д2, получающего сигналы от терморезисторных датчиков температуры 9 (ДТП-1) и 19 (ДТП-2), моторного клапана 18 (ПР), подающего пар к воздухонагревателям 10 и 14. Сигналы от датчиков ДТП-1 и ДТП-2, установленных на входе в кондиционеры и выходе из них, поступают в регулятор температуры РТП-Д2, где суммируются и сравниваются с установленной в нем величиной.

При понижении температуры воздуха, выходящего из кондиционера, суммарная величина сигналов изменится по сравнению с установленной на РТП-Д2. После усиления в РТП-Д2 выдается команда на открытие моторного клапана (ПР), в результате чего увеличится подача пара. Это приведет к повышению температуры воздуха на выходе из кондиционера. Если при этом суммарная величина сигналов от ДТП-1 и ДТП-2 не будет соответствовать величине, установленной на РТП-Д2, регулятор прикроет моторный клапан.

Таким образом, моторный клапан занимает положение, при котором температура воздуха на выходе из кондиционера будет постоянной при данной температуре наружного воздуха. С изменением температуры наружного воздуха равновесие САР нарушится,



и температура воздуха, выходящего из кондиционера, будет изменяться до тех пор, пока в РТП-Д2 от датчиков ДТП-1 и ДТП-2 не поступит суммарная величина сигналов, равная величине, установленной на РТП-Д2.

Система автоматического регулирования относительной влажности воздуха на выходе из кондиционера состоит из волосяного датчика 20 (ДВ), промежуточного устройства и парового электромагнитного игольчатого клапана 17. При уменьшении относительной влажности ниже 65—70 % замыкается цепь управления и открывается электромагнитный клапан подачи пара в увлажнительное устройство 16. С увеличением относительной влажности воздуха цепь управления клапаном размыкается и подача пара в кондиционер прекращается.

Контроль за работой системы автоматического регулирования осуществляется манометрами, мановакууметрами и стеклянными термометрами.

#### **2.5.4. Система автоматического регулирования с регуляторами прямого действия**

*Регуляторы температуры прямого действия* регулируют температуру воздуха на выходе из кондиционера путем изменения подачи тепло-или хладоносителя в теплообменнике. В отличие от других систем регулирования, в которых исполнительные органы регулятора находятся на значительном расстоянии от датчиков и управление ими осуществляется дистанционно, все элементы регулятора прямого действия составляют единый механизм. В судовых СКВ такие приборы наиболее широко применяются для регулирования процесса нагревания воздуха в зимнем режиме работы.

На рис. 65 показан регулятор температуры прямого действия типа РТВ. Термосистема прибора состоит из двух термобаллонов (датчиков) — основного 14 и дополнительного 8, соединенных с исполнительным механизмом капиллярными трубками 2 и 22. Система герметична, заполнена ацетоном и заглушена пробкой 1. Длина капиллярной трубки от основного датчика до клапана 4 м, а от дополнительного — 6 м. Исполнительный механизм включает сильфон 3, шток 4 и полый цилиндр 5. Задатчик регулятора состоит из сильфона 15, пружины перегрузки 18, штока 19, подвижной втулки 16, упорной втулки 17, головки настройки 20 и шкалы 21. Исполнительный механизм соединен с регулирующим клапаном через радиатор 6, внутри которого проходит шток 7. В корпусе 11 регулирующего клапана размещены: седло 12, тарелка клапана 10, шток 9 и возвратная пружина 13. Основной термобаллон установлен на выходе воздуха из теплообменника, а дополнительный — в потоке наружного воздуха.

При изменении регулируемой температуры изменяется объем жидкости в термобаллоне, в результате чего приходит в движе-

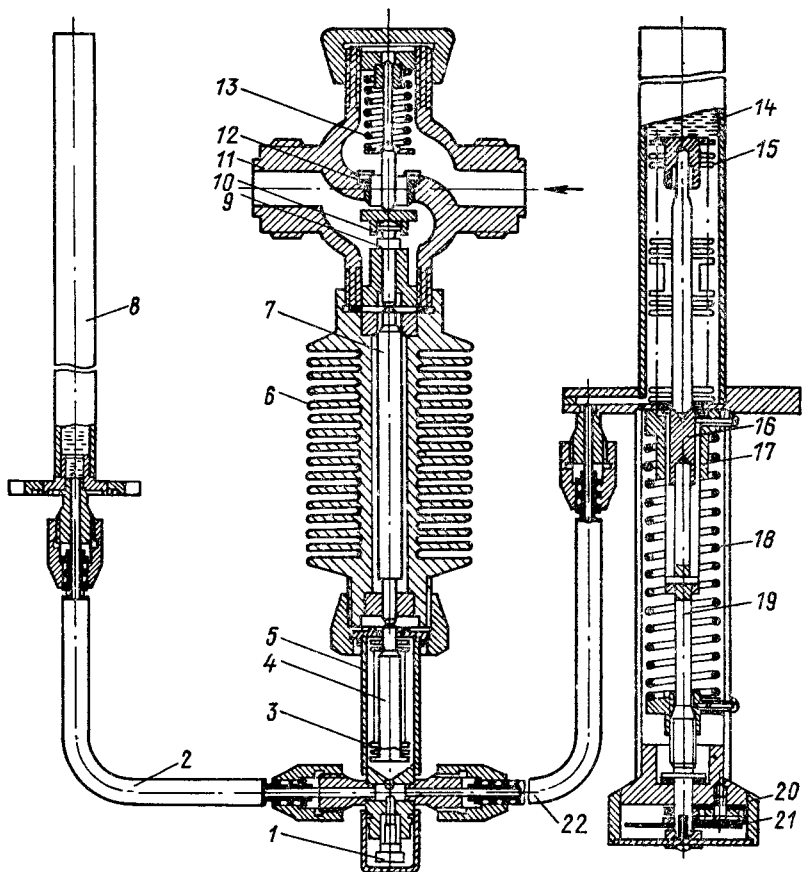


Рис 65. Регулятор температуры прямого действия

ние исполнительный механизм, который воздействует на регулирующий клапан, изменяя его проходное сечение. При изменении количества теплоносителя, подаваемого в теплообменный аппарат, изменяется температура обрабатываемого воздуха. Регулятор поддерживает заданную температуру на выходе из аппарата (например,  $18^{\circ}\text{C}$ ) в зависимости от разности температур входящего и выходящего воздуха. Эта разность зависит от температуры наружного воздуха. При понижении температуры наружного воздуха разность увеличивается, а температура выходящего воздуха остается постоянной. Это достигается установкой дополнительного термобаллона, который реагирует на изменение наружной температуры, благодаря чему изменяется давление в термосистеме, а вместе с ним и степень открытия клапана.

Настройку регулятора на заданную температуру осуществляют при помощи вращающейся головки **20**. Визуальный контроль

настройки производят по шкале 21. Установленное показание температуры на шкале регулятора должно быть сопоставлено с показанием показывающего термометра и в случае расхождения вращением головки 20 доводят температуру до требуемой. В случае чрезмерного повышения давления в термосистеме, что может произойти при заклинивании клапана в открытом положении, подвижная 16 и упорная 17 втулки перемещаются вниз, сжимая пружину перегрузки 18.

Регуляторы выпускаются шести типов от РТВ-1 до РТВ-6. Первые четыре типоразмера работают на паре и горячей воде, РТВ-5 и РТВ-6 — на воде и рассоле. Диапазон настройки для РТВ-1—РТВ-4 10—25 или 30—45 °С, для РТВ-5, РТВ-6 он составляет 5—20 °С. Диаметры условного прохода клапана  $D_y$ , мм: 15 для РТВ-1, РТВ-2; 32 для РТВ-3, РТВ-4, РТВ-5; 50—65 для РТВ-6.

В системах автоматического регулирования с применением РТП увлажнение производят паром, отбор которого осуществляют после регулирующего клапана. С увеличением подачи пара на нагреватель увеличивается его подача и на увлажнитель. Если необходимо дополнительно увлажнение, его производят вручную при помощи запорного клапана.

## 2.6. ХЛАДО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ СУДОВЫХ СКВ

### 2.6.1. Хладоснабжение

Основным источником получения холода для судовых СКВ являются паровые компрессорные холодильные машины, работающие в основном на хладагтах R-12 и R-22. В последнее время находит применение бинарная смесь хладагентов R-12 и R-22.

*Хладон-12* (R-12) — дифтордихлорметан ( $\text{CF}_2\text{CL}_2$ ) в нормальных условиях бесцветный газ, не имеющий запаха, не горючий, не взрывоопасный, практически безвредный для человека. В присутствии открытого пламени или при контакте с раскаленным металлом на воздухе температурой выше 400 °С хладон-12 разлагается с образованием хлористого водорода, фтористого водорода и следов фосгена, который раздражающе действует на слизистую оболочку носоглотки человека. Хладон-12 как более тяжелый газ по сравнению с воздухом вытесняет его, следствием чего может быть кислородная недостаточность для дыхания людей, а при концентрациях его в воздухе 25—30 % возможно удушье. Взаимная растворимость воды и хладона-12 мала и уменьшается с понижением температуры. Например, растворимость воды в R-12 при 25 °С составляет 0,009—0,0093 % по массе, а при 0 °С — 0,0024—0,0026 % по массе. При отрицательных температурах влага в системе вымерзает, что вызывает нарушение работы холодильной машины. Хладон-12 хорошо растворяется в масле, причем взаимная растворимость увеличивается при повышении давления и снижении температуры.

Хладон-22 (R-22) — дифтормонохлорметан (CNF<sub>2</sub>CL) также бесцветный газ, не горючий, не взрывоопасный, не имеющий запаха. При температуре выше 400 °С R-22 разлагается с выделением фторфосгена. Растворимость R-22 в воде при 0 °С составляет 0,048 % по массе. Растворимость его в масле ограниченная и с понижением температуры R-22 она снижается.

Хладоны обладают большой текучестью, поэтому к герметизации хладоновых систем предъявляются повышенные требования. Будучи химически нейтральными к металлам, хладоны хорошо растворяют различные органические вещества. Для уплотнений в хладоновых системах применяют специальные сорта маслостойкой резины (севанит) и паронита. Хладоны обладают способностью смывать с поверхностей окалину, песок и другие загрязнения. В системе эти загрязнения, попадая в фильтры и трущиеся пары компрессора, нарушают работу холодильной установки.

Сравнительная характеристика хладонов при стандартных условиях для хладоновых компрессоров ( $t_0 = 5\text{ °C}$ ,  $t_k = 30\text{ °C}$ ), приведена в табл. 24.

Таблица 24. Сравнительная характеристика R-12 и R-22

Хладагент	Давление, МПа		$\frac{P_0}{P_k}$	Удельная теплота парообразования, кДж/кг	Объемная удельная холодопроизводительность, кДж/м <sup>3</sup>	Удельный объем пара, м <sup>3</sup> /кг
	кипения, $P_0$	конденсации, $P_k$				
Хладон-12	0,18	0,75	4,17	162	1280	0,093
Хладон-22	0,30	1,22	4,07	218	2200	0,077

• На рыбопромысловых судах средствами обеспечения холодом СКВ являются холодильные машины, вырабатывающие холод только для системы кондиционирования, и производственные холодильные установки, производящие холод как для нужд обработки рыбы, так и для кондиционирования.

Собственными холодильными машинами оборудованы все автономные кондиционеры и ряд центральных кондиционеров с воздухоохладителями непосредственного испарения и с рассольными (CaCl<sub>2</sub>) воздухоохладителями. Холодильные машины с воздухоохладителями непосредственного испарения хладона-12, работающие в составе СКВ, установлены на судах: БМРТ типа „Пулковский меридиан“ (1978 г.), больших автономных траулерах типа „Горизонт“ (1977 г.), ТР „50 лет СССР“ (1973 г.), ТР „Татарстан“ (1977 г.) и др. На БМРТ типа „Иван Бочков“ (1979 г.), супертраулерах типа „Спрут“ (1978 г.), РТМ типа „Прометей“ (1981 г.), плавучих консервных базах типа „Конституция СССР“ (1980 г.) и других в холодильных машинах исполь-

зуется хладон- 22. На ТР „Карл Либкнехт“ (1978 г.) хладоновая (R-22) холодильная машина с винтовыми компрессорами марки S3-450 вырабатывает холод для кондиционеров марки KSG63 с рассольными воздухоохладителями.

Системами кондиционирования воздуха, использующими холод, вырабатываемый *производственными холодильными установками*, оборудованы: БМРТ типа „Кронштадт“ (1974 г.), рыбомучные базы типа „Пятидесятилетие СССР“ (1980 г.). ТР типа „Камчатские горы“ (1965 г.), СРТМ типа „Возничий“ (1976 г.).

В составе судовых СКВ с непосредственным испарением хладагента на рыбопромысловых судах нашли применение унифицированные отечественные компрессорно-конденсаторные агрегаты МАК30РЭ, МАК40РЭ, МАК60РЭ. Например, агрегатами МАК40РЭ оборудованы СКВ на траулерах типа „Горизонт“ (кондиционер „Бриз-56“), ТР типа „Татарстан“ („Бриз-56“), „50 лет СССР“ („Экватор“). Агрегаты МАК60РЭ установлены на больших морозильных траулерах-рыбозаводах типа „Пулковский меридиан“ („Бриз-56“).

На рис. 66 изображен общий вид судового компрессорно-конденсаторного агрегата этого ряда.

Основные характеристики компрессорно-конденсаторных агрегатов и их габаритные размеры приведены в табл. 25.

Поршневые компрессоры ФУ40РЭ и ФУ80РЭ, применяемые в агрегатах, унифицированы. Оба типа компрессоров одноступенчатые непрямоточные У и УУ-образные блок-картерные. Блок-картеры выполнены в виде единой чугунной отливки с установленными в ней сменными цилиндрическими гильзами. Боковые крышки блок-картера служат для доступа к шатунно-поршневой группе компрессора; передняя — к масляному насосу, верхние — к всасывающим и нагнетательным клапанам. В одной из боковых крышек смонтировано смотровое стекло для контроля уровня масла. Крышки компрессора отлиты из чугуна. Всасывающий (пластичатый, кольцевой) и нагнетательный (пяточный) клапаны, нагруженные пружинами, выполнены в едином блоке. Коленчатый вал стальной, двухопорный, вращается в подшипниках качения. На щеках вала закреплены противовесы. Стальные штампованные шатуны двутаврового сечения выполнены с неразъемными верхними головками и разъемными нижними. В верхних головках запрессованы бронзовые втулки, в нижних установлены тонкостенные стальные залитые баббитом вкладыши. Поршни выполнены из алюминиевого сплава с тремя кольцами: двумя уплотнительными в верхней части и одним маслосъемным. Сальники компрессоров пружинные с кольцами трения (сталь — графит). Уплотнение по валу осуществляется упругими резиновыми кольцами. Система смазки компрессоров комбинированная: принудительная для шатунных шеек, сальников и разбрызгиванием для поршней, поршневых пальцев и коренных подшипников. Охлаждение компрессоров воздушное.

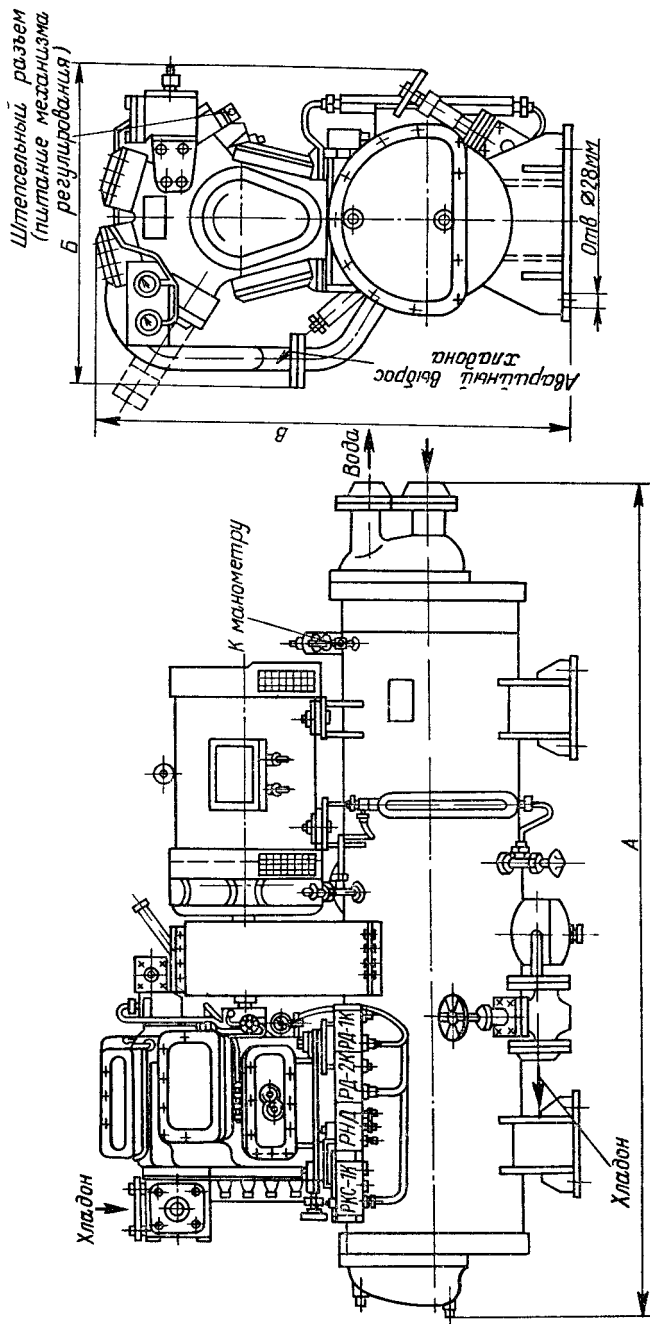


Рис 66 Судовой компрессорно-конденсаторный агрегат

Таблица 25. Технические характеристики компрессорно-конденсаторных агрегатов

Показатель	МАК30РЭ	МАК40РЭ	МАК60РЭ
Холодопроизводительность агрегата при температуре паров на всасывании в компрессор $t_{вс} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{к} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , кВт:			
$t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$	34,8	49,9	69,6
$t_0 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	69,6	99,8	139
Потребляемая мощность $N_3$ , кВт:			
$t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$	13	18,5	26
$t_0 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	20	29	37
Масса агрегата сухая, кг	1130	1200	1600
Габаритные размеры агрегата, мм:			
А	1800	1900	2145
В	700	700	900
В	1260	1340	1400
Компрессор:	ФУ40РЭ	ФУ40РЭ	ФУУ80РЭ
частота вращения вала, $\text{с}^{-1}$	16	24	16
число цилиндров, шт.	4	4	8
ход поршня, мм	70	70	70
диаметр цилиндра, мм	101,6	101,6	101,6
часовой объем, описываемый поршнями, $\text{м}^3/\text{ч}$	135	200	262
масса, кг	280	280	410
Конденсатор:			
наружная поверхность, $\text{м}^2$	15	19,5	25
объем ресиверной части, л	70	90	65
число ходов по воде	4	4	2
количество воды, охлаждающей конденсатор, $\text{м}^3/\text{ч}$	16—20	25—30	40

Конденсаторы агрегатов МАК30РЭ, МАК40РЭ, МАК80РЭ представляют собой горизонтальные кожухотрубные аппараты, охлаждаемые заборной водой. Конденсатор состоит из стальной обечайки, пучка мельхиоровых накатных трубок, латунных трубных досок и бронзовых водяных крышек. Нижняя часть конденсатора — ресиверная. Трубки развальцованы в трубных досках с применением эпоксидной смолы. Для уменьшения вибрации трубок в обечайке поставлены промежуточные решетки. От коррозии аппарат защищают установленные в крышке протекторы. Уровень хладагента в конденсаторе контролируется с помощью указательного стекла. Конденсатор снабжен предохранительным клапаном и клапаном для присоединения манометра.

Автоматизация агрегатов предусматривает управление, регулирование, защиту и сигнализацию. Автоматическое управление обеспечивает пуск компрессора при 75 % отжатых всасывающих клапанов. Регулирование холодопроизводительности осуществляется путем отжатия клапанов двух, четырех, шести и восьми цилиндров. При этом холодопроизводительность компрессора соответственно уменьшается на 25, 50, 75 и 100 %. Отжатие

всасывающих клапанов производится с помощью электромагнитного клапана. Автоматическое регулирование выполняется по давлению всасывания. При падении давления всасывания через реле давления подается напряжение на катушки электромагнитных клапанов, пластины всасывающих клапанов отжимаются и холодопроизводительность компрессора уменьшается. С повышением давления всасывания реле давления подает сигнал на снятие напряжения с катушки клапанов, в результате чего холодопроизводительность компрессора увеличивается.

Защита компрессора от чрезмерного понижения давления всасывания и чрезмерного повышения давления нагнетания осуществляется реле давления. Защиту от нарушения нормального режима смазки обеспечивает реле контроля смазки, отключающее компрессор в случае уменьшения разности давлений масла после масляного насоса и в картере компрессора. Пуск компрессоров с реле контроля смазки (РКС) производится с помощью реле времени, которые в течение 15—45 с блокируют контакты РКС для создания необходимого давления в масляной системе.

Кроме отечественных холодильных машин на рыбопромысловых судах в составе собственных холодильных машин СКВ широко применяются и зарубежные компрессоры. Так, на судах типов „Спрут“, „Иван Бочков“, „Конституция СССР“ и других установлены четырех-, шести- и восьмицилиндровые компрессоры типов 2V4, 2W6, 2VV8 производства ГДР. Диаметр цилиндра и ход поршня у всех машин одинаковы: 100 и 64 мм соответственно. Холодопроизводительность компрессоров, работающих на R-22 при температуре кипения  $5^{\circ}\text{C}$  и температуре конденсации  $40^{\circ}\text{C}$ , составляет: 2V4 — 143 кВт, 2W6 — 197,7 кВт, 2VV8 — 270,6 кВт.

Системы кондиционирования воздуха судов типа „Прометей“ оборудованы компрессорами H2 80/17 и H2 112/17-103/2. Указанные аппараты обслуживают и СКВ плавбазы „Конституция СССР“. Компрессоры работают на хладоне-22, их холодопроизводительность при  $t_0 = 5^{\circ}\text{C}$  и  $t_k = 40^{\circ}\text{C}$  составляет H2 80/17-107/4 — 67,4 кВт и H2 112/17-103/2 — 94,2 кВт.

Поршневые бессальниковые непрямоточные одноступенчатые компрессоры 2V4, 2W6, 2VV8, H2 112/17 и H2 80/17 выпускаются с регулируемой холодопроизводительностью. Регулирование производительности компрессоров 2V4, 2VV8, H2 80/17, H2 112/17 (100, 75, 50 %) и 2W6 (100, 66, 33 %) осуществляется отжимом всасывающих клапанов.

На транспортных рефрижераторах типов „Охотское море“, „Амурский залив“ и других установлены хладоновые (R-22) шестицилиндровые компрессоры марки P46-M35 фирмы „Стал“ (Швеция) с автоматически регулируемой холодопроизводительностью (150,8 кВт при  $t_0 = 5^{\circ}\text{C}$ ,  $t_k = 40^{\circ}\text{C}$ ).

От производственных холодильных установок обеспечиваются холодом СКВ большинства добывающих, обрабатывающих и при-



емно-транспортных судов. На этих судах транспортировка хладоносителя (морская вода,  $\text{CaCl}_2$ ) от производственной холодильной установки к центральным кондиционерам производится по закрытой схеме с промежуточным хладоносителем, которая предусматривает наличие в судовой холодильной установке испарителя. Примером может служить схема хладоснабжения на судах типа СРТМ (см. рис. 64). Хладоноситель первого контура насосом НЦВ 40/20 подается на охлаждение в испаритель производственной холодильной установки. Затем он поступает в охладитель рассола, где охлаждает хладоноситель второго контура и возвращается к насосу. Хладоноситель второго контура другим насосом (той же марки) направляется к потребителям (центральному кондиционеру ЗОПУЗ4, подающему воздух в помещения, к воздухоохладителям рулевой рубки, камбуза и склада баллонов) и возвращается к насосу. К всасывающим трубопроводам насосов подключен расширительный бак, который служит для компенсации тепловых расширений в системе и пополнения утечек хладоносителя.

### 2.6.2. Теплоснабжение

В высоконапорных системах для подогрева и увлажнения воздуха в центральных кондиционерах (типов „Экватор“, „Бриз“, КЦВД) в основном используется пар. На нужды кондиционирования воздуха пар поступает от общесудовой паровой системы, которую обслуживают вспомогательные или утилизационные котлы, работающие на отработавших газах дизелей.

На рис. 67 представлена принципиальная схема пароснабжения высоконапорных СКВ. От вспомогательного котла через невозвратно-запорный клапан 2 насыщенный пар поступает к редукционным клапанам 8 системы парового отопления (I), пароснабжения для хозяйственно-бытовых приборов (II) и центральных кондиционеров (III).

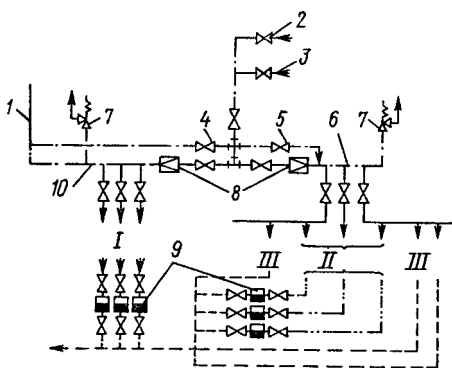


Рис. 67. Принципиальная схема пароснабжения СКВ.

Трубопроводы: — — — свежий пар,  
 ..... отработавшего пара; - - - - конденсат

Для отопления помещений пар редуцируется до давления 0,3 МПа и через коллектор 10 подается к отопительным приборам. Отработавший пар отводится к групповым конденсатороотводчикам 9. Для нужд кондиционирования и хозяйственного пароснабжения

пар редуцируется до давления 0,5 МПа и поступает в коллектор 6. Если на судне не установлен утилизационный котел, подача пара производится через невозвратно-запорный клапан 3. При низком давлении пара его подают непосредственно на отопление через клапан 4, а на нужды кондиционирования и хозяйственно-бытовые — через клапан 5. На коллекторах 10 и 6 устанавливают предохранительные клапаны 7. При неработающих котлах во время стоянки в порту подача пара может осуществляться от береговой котельной по паропроводу 1.

Для нагрева воздуха в эжекционных доводочных воздухораспределителях типа ВДЭЭ и автономных кондиционерах применяют электрические воздухонагреватели, выполненные из прямолинейных или U-образных ТЭН. Так, в судовом автономном кондиционере АКМ-ГЭ применен электронагреватель воздуха ЭНБ-13ТМ мощностью 13,3 кВт, состоящий из трех одинаковых секций с U-образными трубчатыми элементами. При работе с меньшим количеством секций его мощность соответственно уменьшается до 9,2 и 4,1 кВт. Прибор имеет тепловую защиту, терморезисторы которой установлены за нагревателем по ходу воздуха. Электронагреватель рассчитан на работу при скорости потока воздуха не менее 3 м/с.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудко Н. В., Абрамчук В. В. Справочник механика по судовым рефрижераторным установкам. М., Транспорт, 1979.
2. Епифанов Б. С. Судовые системы. Л., Судостроение, 1973.
3. Захаров Ю. В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины. Л., Судостроение, 1979.
4. Лалаев Г. Г. Судовые холодильные установки и системы кондиционирования. М., Транспорт, 1981.
5. Мухин В. В. Кондиционирование воздуха в пищевой промышленности. М., Пищевая промышленность, 1967.
6. Нестеров Ю. Ф. Судовые холодильные установки. М., Транспорт, 1974.
7. Патлайчук П. И., Мостовой А. Ф., Кириличенко С. А. Автономный судовой кондиционер.— Холодильная техника, 1977, № 8, с. 43—46.
8. Пеклов А. А., Степанова Т. А. Кондиционирование воздуха. Киев, Выща школа, 1978.
9. Петров Ю. С., Олейниченко В. Т., Чуркин А. А. Судовые холодильные установки и машины. М., Пищевая промышленность, 1975.
10. Регистр СССР. Правила классификации и постройки судов. В двух томах. Т. 1—2. Л., Транспорт, 1974.
11. Судовые системы вентиляции и кондиционирования воздуха/А. А. Мундлингер, В. П. Мокрецов, А. Д. Тарасов, Е. И. Шифрин. Л., Судостроение, 1974.
12. Ужанский В. С. Автоматизация холодильных машин и установок. М., Пищевая промышленность, 1973.
13. Хордас Г. С. Высоконапорные системы кондиционирования воздуха на судах. Л., Судостроение, 1972.
14. Языков В. Н. Теоретические основы проектирования судовых систем кондиционирования воздуха. Л., Судостроение, 1967.

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
<b>Глава 1. ВЕНТИЛЯЦИЯ</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>1.1. Термодинамические основы влажного воздуха</b> . . . . .	<b>7</b>
1.1.1. Параметры состояния влажного воздуха . . . . .	7
1.1.2. Психрометрическая таблица и диаграмма влажного воздуха . . . . .	13
1.1.3. Методы определения параметров состояния влажного воздуха . . . . .	19
<b>1.2. Системы вентиляции</b> . . . . .	<b>24</b>
1.2.1. Классификация . . . . .	24
1.2.2. Общие требования Регистра СССР к судовой системе вентиляции и вентиляторам . . . . .	25
1.2.3. Расчет количества воздуха, необходимого для вентиляции . . . . .	27
1.2.4. Конструкция элементов систем вентиляции . . . . .	28
1.2.5. Принципиальные схемы систем вентиляции . . . . .	35
<b>1.3. Техника очистки воздуха и изменения его состава</b> . . . . .	<b>39</b>
1.3.1. Очистка воздуха от пыли . . . . .	39
1.3.2. Изменение состава воздуха . . . . .	42
<b>Глава 2. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА</b> . . . . .	<b>44</b>
<b>2.1. Методы нормирования состава и состояния воздуха</b> . . . . .	<b>44</b>
2.1.1. Влияние окружающей среды на тепловые ощущения человека . . . . .	44
2.1.2. Эффективная и эквивалентно-эффективная температуры . . . . .	45
2.1.3. Метод результирующих температур . . . . .	47
2.1.4. Нормируемые параметры и состав воздушной среды . . . . .	49
<b>2.2. Процессы изменения состояния влажного воздуха</b> . . . . .	<b>50</b>
2.2.1. Тепло- и влагообмен между воздухом и водой . . . . .	50
2.2.2. Процессы нагревания и увлажнения воздуха . . . . .	53
2.2.3. Паровые, водяные и электрические воздухонагреватели . . . . .	56
2.2.4. Увлажнительные устройства . . . . .	60
2.2.5. Процессы охлаждения и осушения воздуха . . . . .	61
2.2.6. Воздухоосушительные установки . . . . .	64
2.2.7. Воздухоохладители . . . . .	65
2.2.8. Кондиционеры . . . . .	77
<b>2.3. Судовые системы кондиционирования воздуха</b> . . . . .	<b>97</b>
2.3.1. Требования, предъявляемые к СКВ . . . . .	97
2.3.2. Классификация СКВ . . . . .	98
2.3.3. Одноканальные СКВ без дополнительной обработки воздуха . . . . .	100

2.3.4. Одноканальные СКВ с дополнительной обработкой воздуха . . . . .	105
2.3.5. Двухканальные СКВ . . . . .	108
2.3.6. Автономные СКВ . . . . .	113
2.3.7. Борьба с шумом и вибрацией в СКВ . . . . .	114
2.3.8. Обслуживание СКВ . . . . .	119
<b>2.4. Расчет судовой СКВ . . . . .</b>	<b>122</b>
2.4.1. Тепловлажностный расчет . . . . .	123
2.4.2. Аэродинамический расчет . . . . .	132
<b>2.5. Автоматизация судовых СКВ . . . . .</b>	<b>134</b>
2.5.1. Задачи автоматизации . . . . .	134
2.5.2. Пневматическая система автоматического регулирования . . . . .	136
2.5.3. Электромеханическая система автоматического регулирования . . . . .	143
2.5.4. Система автоматического регулирования с регуляторами прямого действия . . . . .	146
<b>2.6. Хладо- и теплоснабжение судовых СКВ . . . . .</b>	<b>148</b>
2.6.1. Хладоснабжение . . . . .	148
2.6.2. Теплоснабжение . . . . .	
Приложение . . . . .	154
Список литературы . . . . .	157

**Юрий Степанович Петров**

**ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА**

Редактор *Л. А. Турандина*  
Художественный редактор *О. П. Андреев*  
Технический редактор *Е. А. Полякова*  
Корректоры *С. Н. Маковская, И. М. Меримская*  
Обложка художника *М. Б. Громовой*

ИБ № 885

Сдано в набор 27.02.84. Подписано в печать 10.08.84. М-16540. Формат 60×90/16.  
Бумага типогр. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,0. Усл. кр.-  
отт. 10,38. Уч.-изд. л. 10,3. Тираж 6700 экз. Изд. № 3860—83. Заказ № 90. Цена 30 коп.

Издательство «Судостроение». 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8.

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного  
Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой  
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли.

198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.