

8. Регулирование микроклимата трюмов

Большое сосредоточение грузов в трюме не позволяет им в течение очень продолжительного времени согреваться или охлаждаться до температуры наружной среды. На первых порах наружная температура воздействует только на пограничный слой груза. Глубина этого воздействия зависит от теплофизических свойств и структуры груза.

При плавании судна в сложных гидрометеорологических условиях возникает необходимость перевозить грузы в трюме с закрытыми люками и задраенной вентиляционной системой. Тепломассообмен груза с внешней средой в этом случае происходит путем теплопередачи, конвективного и лучистого теплообмена.

В вентилируемом трюме тепломассообмен груза с внешней средой идет путем вынужденного и конвективного воздухообмена трюма с наружным воздухом. В этом случае интенсивность тепломассообмена зависит от способа вентиляции и мощности вентиляционных устройств.

В зависимости от условий плавания судна могут возникать различные температурные схемы: температура надводной части трюма отлична от температуры подводной части, температура груза ниже наружной температуры, температура груза выше наружной температуры.

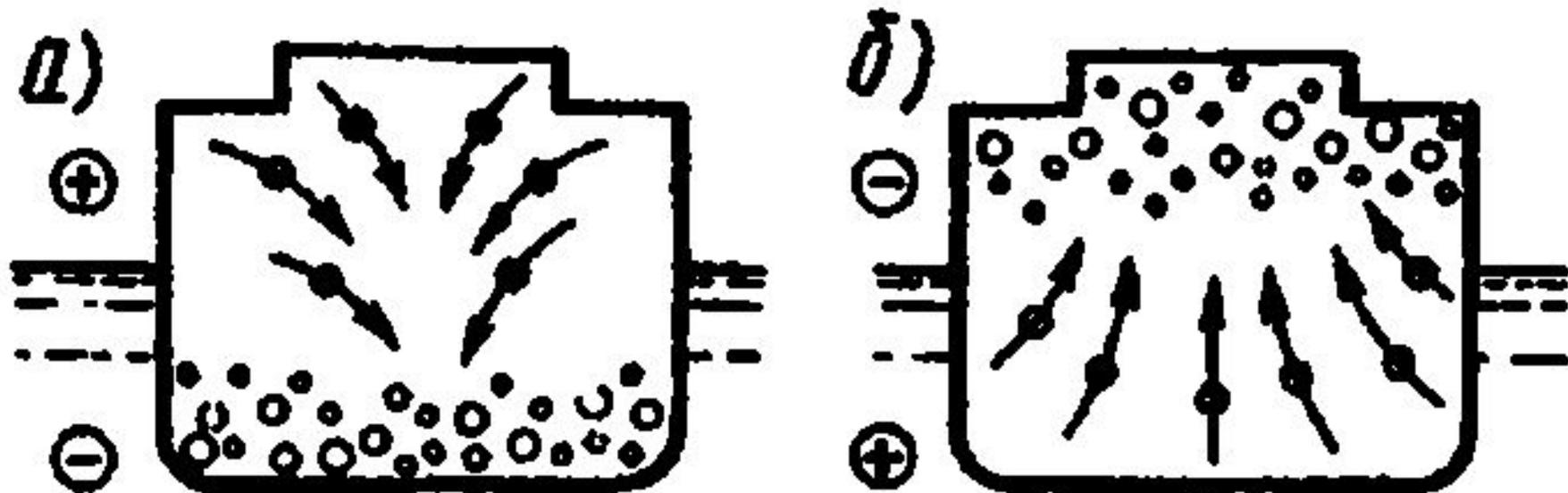
При переходе судна в балласте из холодной зоны в теплую или при переходе летом в одной климатической зоне вентиляция трюмов наружным не кондиционированным воздухом приводит к увеличению влажности трюмного воздуха.

При плавании судна в балласте зимой или при переходе из теплой зоны в холодную может произойти конденсация влаги в задраенном трюме вследствие увеличения относительной влажности.

Микроклимат трюма, загруженного гигроскопическим грузом, при переходе в одной климатической зоне изменяется следующим образом:

- в летний период, когда температура воды ниже температуры воздуха, тепловые потоки вместе с влагой направлены сверху вниз, увлажняя нижнюю часть груза; вентиляция усиливает процесс теплопередачи от наружного воздуха к грузу и в зависимости от параметров воздуха может увлажнить или высушить груз;

- в зимний период, когда температура воздуха ниже температуры воды, тепловые потоки и потоки влаги направлены снизу вверх, увлажняя верхнюю часть груза; вентиляция наружным воздухом вызовет осушение поверхностного (подпалубного) слоя груза.



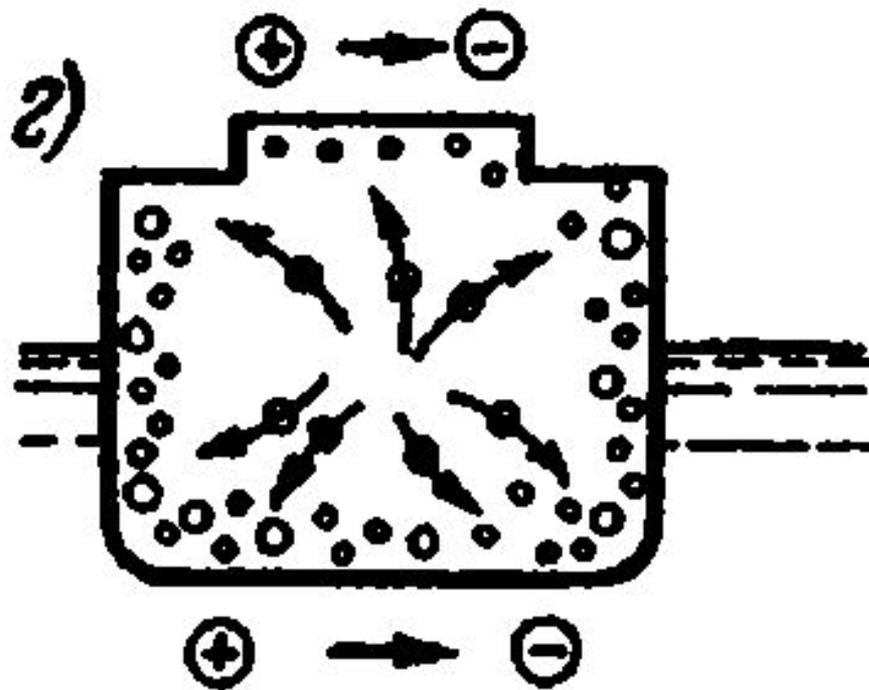
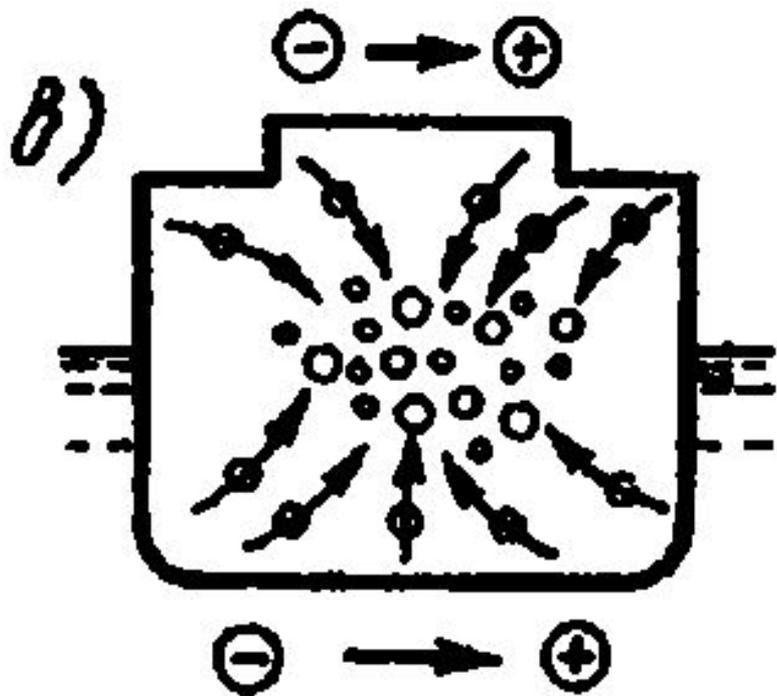
Температурные потоки в трюмах: а - летом; б - зимой;
(+) - повышенная температура;
(-) - пониженная температура

При переходе из холодной зоны в теплую микроклимат трюма изменяется таким образом: более холодный груз воспринимает тепло, идущее от палубы и бортов, происходит увлажнение центральной части груза в направлении пайола; вентиляция трюмов наружным воздухом вызывает интенсивную конденсацию влаги на грузе, так как точка росы наружного воздуха выше температуры груза, нагревание которого не успевает за повышением температуры внешней среды.

При переходе из теплой зоны в холодную теплый груз отдает свое тепло и влага вместе с тепловым потоком стремится от середины груза к его краям, увлажняя внутреннюю поверхность бортов и палубы; вентиляция трюмов наружным воздухом может значительно уменьшить конденсацию влаги на внутренних поверхностях трюма, но увлажнить груз, если вентиляционный воздух сырой.

При плавании танкера летом в одной климатической зоне могут возникнуть восходящие потоки жидкости в бортовых танках вдоль подводной части освещенного солнцем борта. Зимой в танках происходит конвективное перемешивание груза^[1].

^[1] Конвекция - вид теплопередачи, при котором внутренняя энергия передается струями и потоками. Существует т.н. *естественная конвекция*, которая возникает в веществе самопроизвольно при его неравномерном нагревании в поле тяготения. При такой конвекции нижние слои вещества нагреваются, становятся легче и всплывают, а верхние слои, наоборот, остывают, становятся тяжелее и опускаются вниз, после чего процесс повторяется снова и снова.



Температурные потоки в трюмах:

в - при переходе из холодной зоны в теплую; г- при переходе из
 теплой зоны в холодную; (+) - повышенная температура;
 (-) - пониженная температура

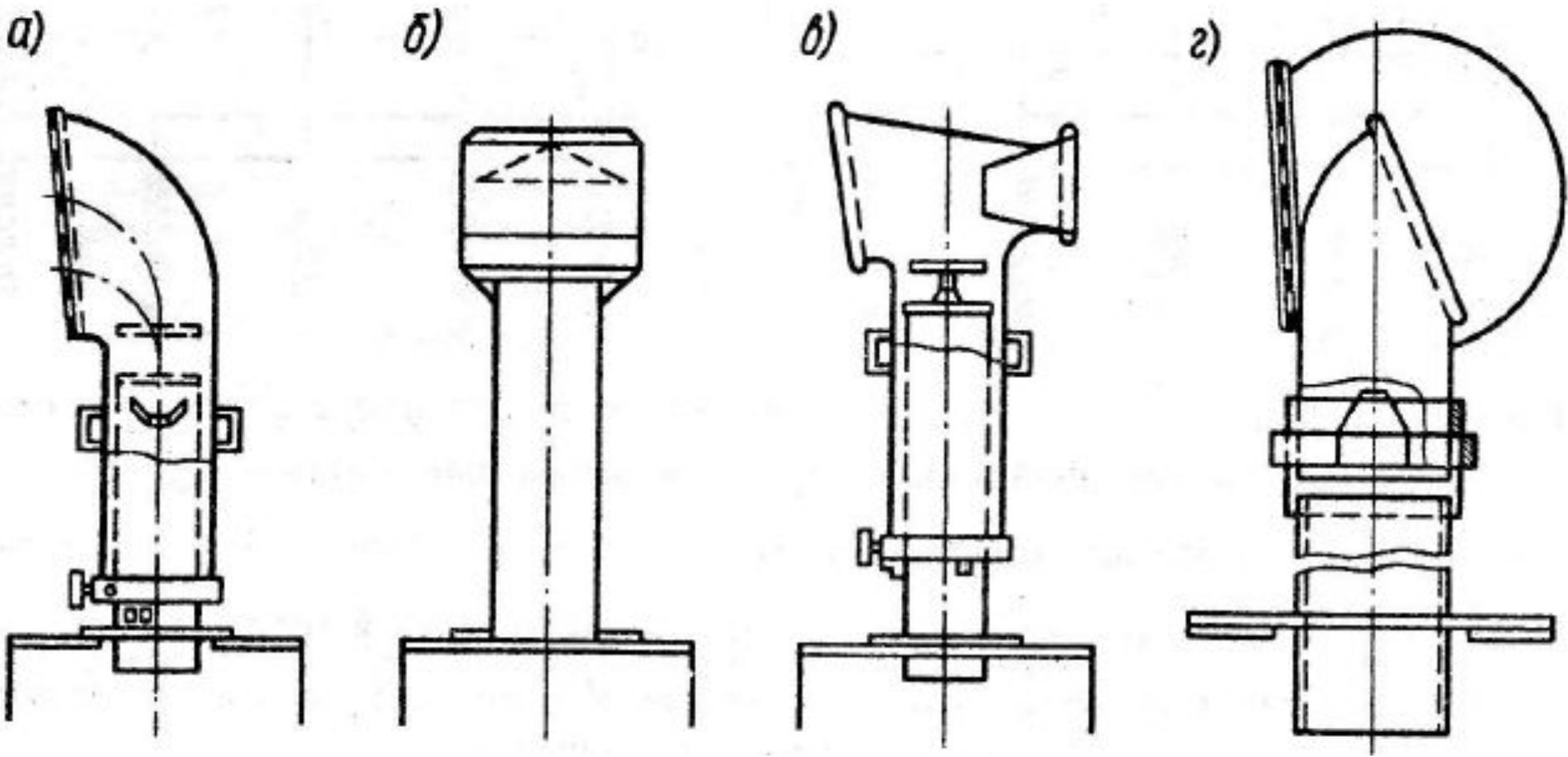
Вследствие колебаний температуры в танках происходит улетучивание нефтепродукта через систему естественной вентиляции. Днем при повышении температуры газовой смеси возрастает ее давление и газ выходит наружу, вынося и пары нефтепродуктов. Ночью в танк втягивается воздух, который насыщается парами нефтепродукта.

Технические средства регулирования микроклимата трюмов позволяют обогревать или охлаждать грузовые помещения и грузы, повышать или понижать влажность воздуха до уровня, предусмотренного условиями хранения того или иного продукта. Они позволяют удалять из трюмов и танков скопления газов, выделяемых отдельными грузами.

Вентиляция трюмов, изменение температуры и влажности трюмного воздуха и грузов производятся средствами естественной-принудительной вентиляции, механической вентиляции и трюмными кондиционерами.

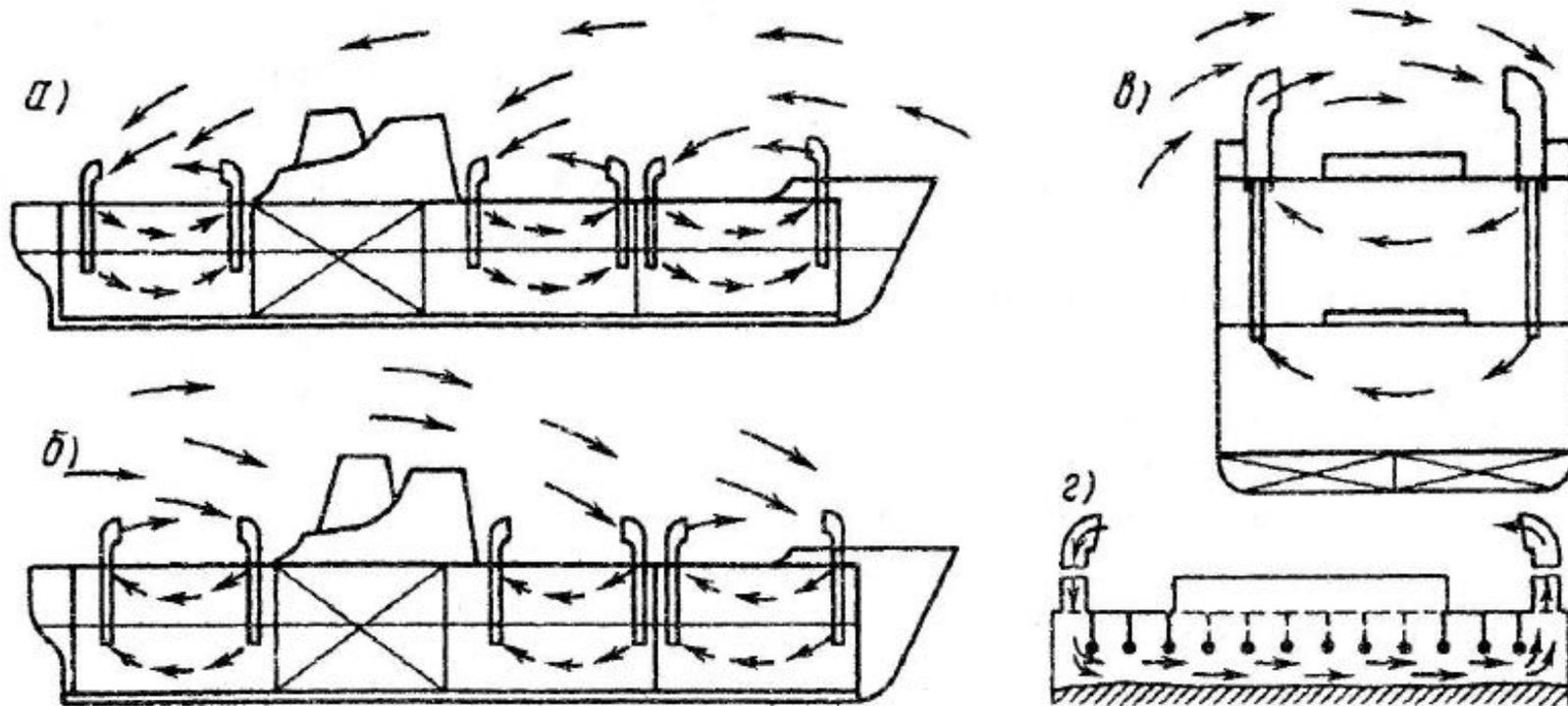
Естественная вентиляция трюмов осуществляется путем регулирования температуры и влажности трюмного воздуха с помощью естественных колебаний температуры и влажности атмосферы. Для естественной вентиляции открывают люки грузовых трюмов или опускают в трюмы нагнетающие и вытяжные виндзейли^[1], поворачивают раструбы дефлекторов так, чтобы одни из них нагнетали, а другие вытягивали воздух, обеспечивая поверхностную или сквозную вентиляцию по всей толще грузов.

^[1] Виндзейль - простейший вентиляционный прибор, состоящий из вертикальной трубы, оканчивающейся раструбом, который поворачивается в ту сторону, откуда дует ветер.



Виды дефлекторов: *а* - типа "раструб"; *б* - вытяжной;
в - эжекционная головка; *г* - шаровой

Искусственная, или механическая, вентиляция производится различными установками и позволяет намного по сравнению с естественной повысить эффективность воздухообмена трюма с наружным воздухом независимо от силы и направлений ветра.



Аэродинамические зоны: а - при встречном ветре;
б - при нагоне ветра; в - при бортовом ветре; г - движение воздушных масс в
загруженном трюме

Механическая вентиляция состоит из системы воздушных каналов, идущих от электровентиляторов к грузовым помещениям. Воздуховоды обеспечивают подачу воздуха во все части грузовых трюмов и снабжены заслонками, позволяющими регулировать интенсивность воздушного потока. Мощность вентиляторов позволяет производить многократный обмен воздуха в трюмах. Например, для ряда грузов (овощи, фрукты) требуется 10÷15-кратный обмен воздуха в 1 ч, а для других грузов может быть достаточным 5-кратный обмен. Чтобы обеспечить более полную аэрацию груза в трюме, система снабжена устройством для реверсирования, т.е. изменения направления воздушного потока.

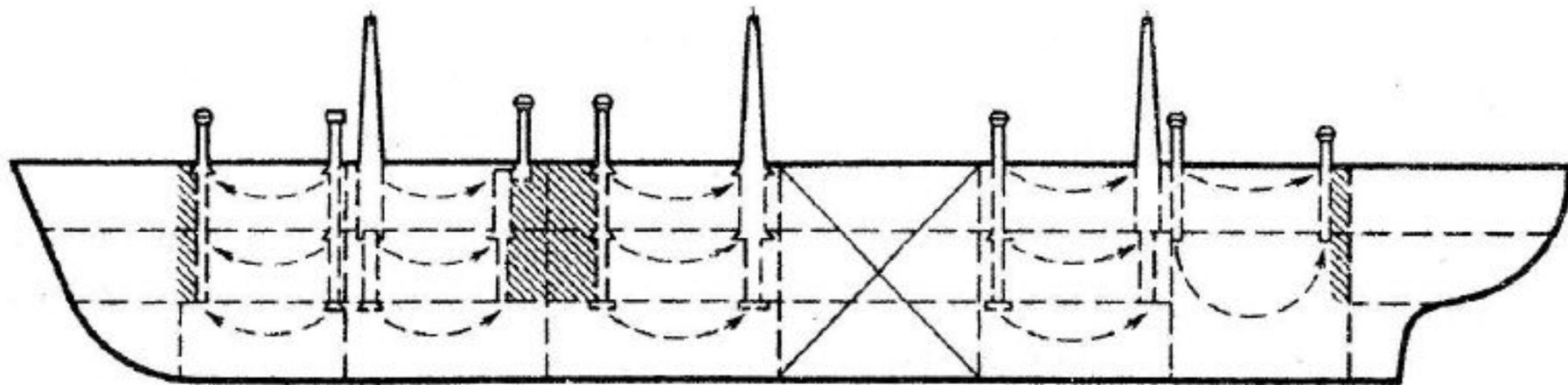


Схема механической вентиляции грузовых трюмов

Трюмные кондиционеры позволяют создать в трюмах желаемую температуру и влажность воздуха и непрерывно поддерживать их на заданном уровне независимо от состояния погоды. Трюмные кондиционеры могут быть двух типов: автономные и стационарные.

Автономные трюмные кондиционеры передвижного типа устанавливаются в случае перевозки режимных грузов на судах, не оборудованных стационарными кондиционерами.

Стационарные, или центральные, кондиционеры могут осуществлять четыре режима трюмного кондиционирования: вентиляцию наружным воздухом; вентиляцию сухим воздухом; рециркуляцию - смешанную вентиляцию и рециркуляцию с добавлением наружного или сухого воздуха; вентиляцию смешанным наружным и сухим воздухом.

Температура воздуха поддерживается на заданном уровне при помощи воздухонагревательной или воздухоохладительной установки. **Осушение воздуха** производится при помощи адсорберов с твердым или жидким влагопоглотителем или установок, использующих холод для отбирания влаги из воздуха. Циркуляция воздуха в системе осуществляется посредством центробежных вентиляторов.

Управление работой трюмных кондиционеров производится при помощи приборов ручного или автоматического управления. Контроль осуществляется при помощи автоматов, самописцы которых расположены в рулевой рубке. Температура наружного воздуха и воды, точка росы сухого, наружного и трюмного воздуха наносятся на ленте записывающего прибора.

Вахтенная служба на мостике обязана контролировать работу автоматов, регулирующих микроклимат в трюмах и вести журнал, в котором ежедневно должны быть сделаны записи параметров наружного и трюмного воздуха, погодные условия, режимы работы автоматической установки и другие данные, имеющие значение в случае разбора причин несохранной перевозки груза.

Рекомендации по регулированию микроклимата в трюмах помещены в инструкциях завода-строителя, изготовивших кондиционеры и приборы управления системой. В основном эти рекомендации сводятся к контролю за работой системы кондиционирования и регулированию ее работы в зависимости от температуры и влажности атмосферного воздуха:

- если влажность наружного воздуха равна или ниже влажности трюмного воздуха, следует вентилировать трюм наружным воздухом;

- если при этих же условиях влажности температура наружного воздуха быстро понижается, следует в принимаемый наружный воздух добавлять сухой воздух. Когда влажность наружного воздуха выше влажности трюмного воздуха, вентиляцию трюмов следует производить только методом рециркуляции с подсушиванием воздуха.

В грузовые
помещения

Прием
воздуха

В атмосферу

Прием
воздуха

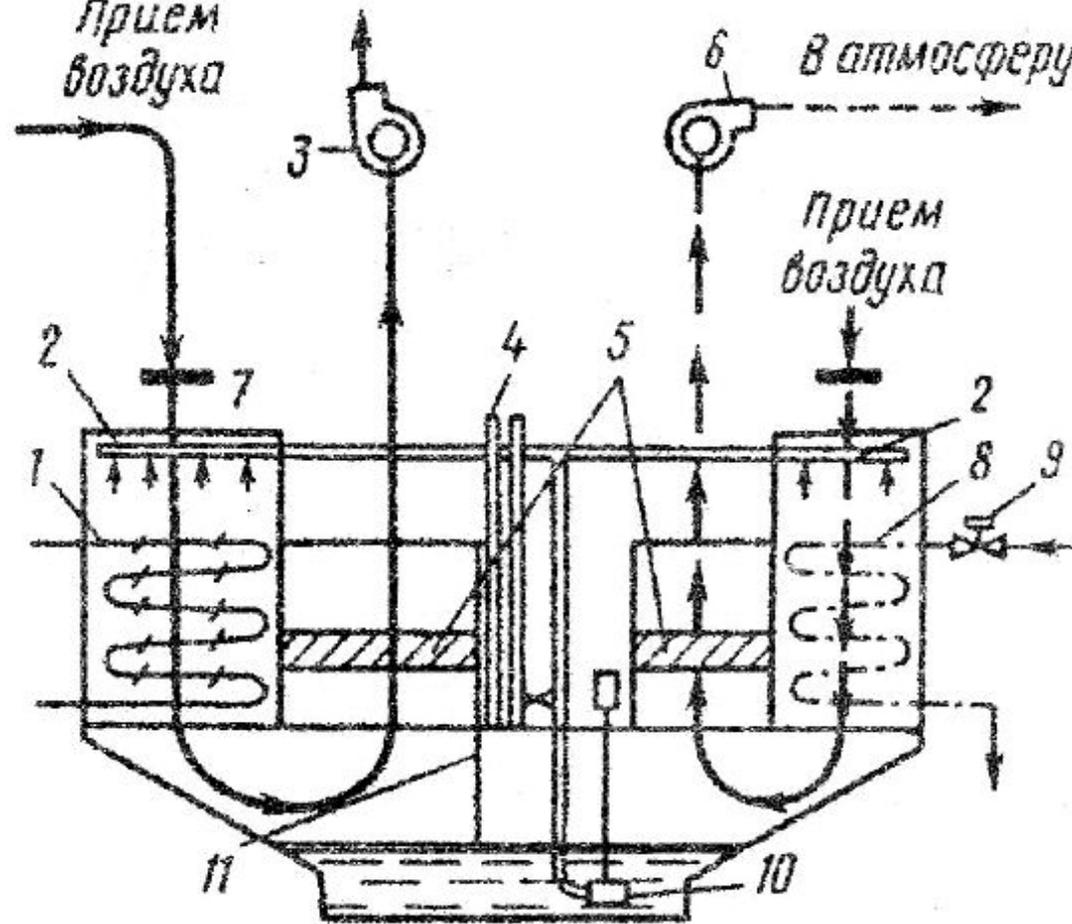


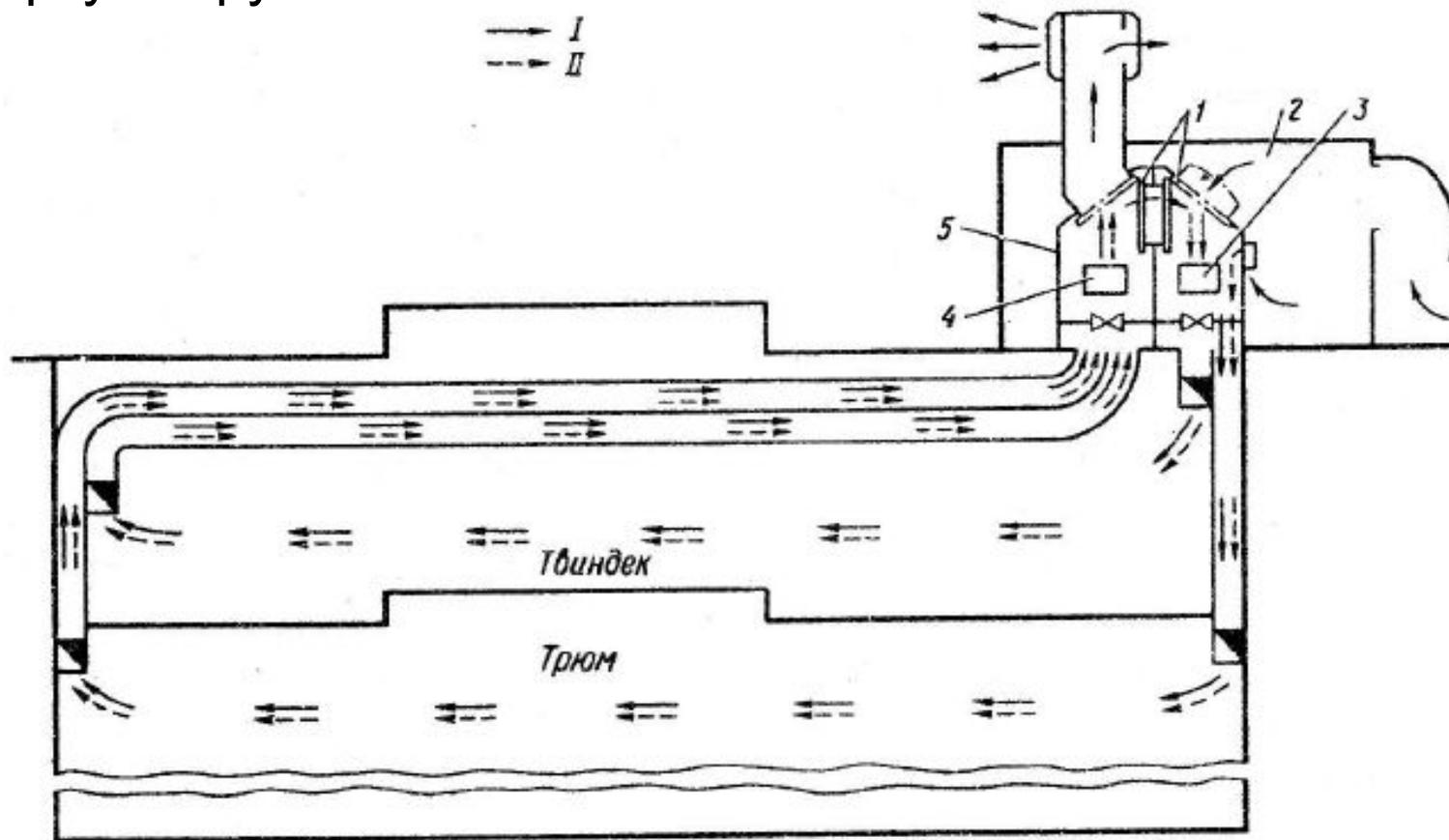
Схема воздухоосушительной
установки "Катабар" с жидким
сорбентом:

- 1 - охлаждающий раствор;
- 2 - труба орошения;
- 3 - вентилятор подачи осушенного
воздуха; 4 - регулятор плотности
раствора;
- 5 - отделитель раствора;
- 6 - вентилятор десорбции;
- 7 - воздушный фильтр;
- 8 - подогреватель раствора;
- 9 - автоматический клапан подачи
свежего пара; 10 - насос для
подачи раствора;
- 11 - перегородка; — осушенный
воздух; - - - воздух десорбции^[1]

^[1] Десорбция (от лат. de — приставка, означающая удаление, и sorbeo — поглощаю) - удаление адсорбированного вещества с поверхности адсорбента; процесс, обратный адсорбции.

Адсорбция (лат. ad — на, при; sorbeo — поглощаю) - поглощение газов или паров из газовых или паровых смесей жидкими поглотителями, называемыми абсорбентами.

Нагнетательная и вытяжная вентиляция трюмов должна работать с момента закрытия люков в порту погрузки до открытия их в порту выгрузки.



Система вентиляции воздухораспределения: 1 - заслонка;

2 - проводка сухого воздуха; 3 - подающий (нагнетательный) вентилятор;

4 - вытяжной вентилятор; 5 - кожух вентилятора; 6 - подача свежего воздуха;

7 - работа вентиляторов в режиме циркуляции

При плавании из теплой зоны в холодную необходимо постоянно вентилировать трюм наружным воздухом, добавляя в него сухой воздух в случаях резкого падения температуры наружного воздуха. Если судно грузилось в порту с холодным климатом и следует в теплую зону, вентиляционная система должна работать в режиме рециркуляции с подсушиванием воздуха в случае повышения его влажности.



Выход вентиляционной шахты трюма на верхнюю палубу

Методы расчета вентиляционных режимов грузовых помещений

Конденсация влаги на грузе или ограждениях трюма происходит, когда точка росы воздуха в трюме будет выше температуры груза. Поэтому для предупреждения выпадения влаги на груз, боящийся увлажнения, необходимо соблюдать условие, при котором точка росы трюмного воздуха t_B будет меньше температуры груза t_r :

$$t_B < t_r \quad (4.4)$$

Имеется ряд теоретических разработок по расчету режимов вентилирования трюма.

Решение задач по определению целесообразности вентиляции трюма наружным воздухом может быть выполнено в соответствии с методикой, предложенной Л.П. Андроновым, в которой используется « $t - t$ диаграмма влажного воздуха». Диаграмма позволяет определять параметры трюмного воздуха при различных вариантах его состояния и показывает границы зон, в которых можно или нельзя вентилировать трюм при соответствующих значениях параметров трюмного и вентиляционного наружного воздуха.

Варианты возможности и целесообразности вентиляции трюмов приведены ниже.

Если температура наружного воздуха выше температуры груза ($t_B > t_{\Gamma}$) *вентилировать* трюм *нельзя*, когда точка росы вентиляционного воздуха равна или больше температуры груза:

$$t_B \geq t_{\Gamma} \quad (4.5)$$

либо когда точка росы вентиляционного воздуха выше температуры груза, уменьшенной на величину минимального температурного запаса,

$$t_B > t_{\Gamma} - \Theta_{\min} \quad (4.6)$$

Температурным запасом Θ называется разность между температурой t и точкой росы t .

Здесь Θ_{\min} - минимальный температурный запас воздуха, предотвращающий отпотевание при резких понижениях температуры воздуха, который рекомендуется принимать равным 3°C .

При тех же условиях, когда температура наружного воздуха выше температуры груза ($t_B > t_{\Gamma}$), *вентилировать* трюм *можно*, если точка росы воздуха ниже температуры груза, уменьшенной на величину минимального температурного запаса,

$$t_B < t_{\Gamma} - \Theta_{\min} \quad (4.7)$$

Вентиляция осуществляется сухим воздухом (при $t_B < t_r$), если точка росы трюмного воздуха равна или выше температуры груза

$$t_B \geq t_r \quad (4.8)$$

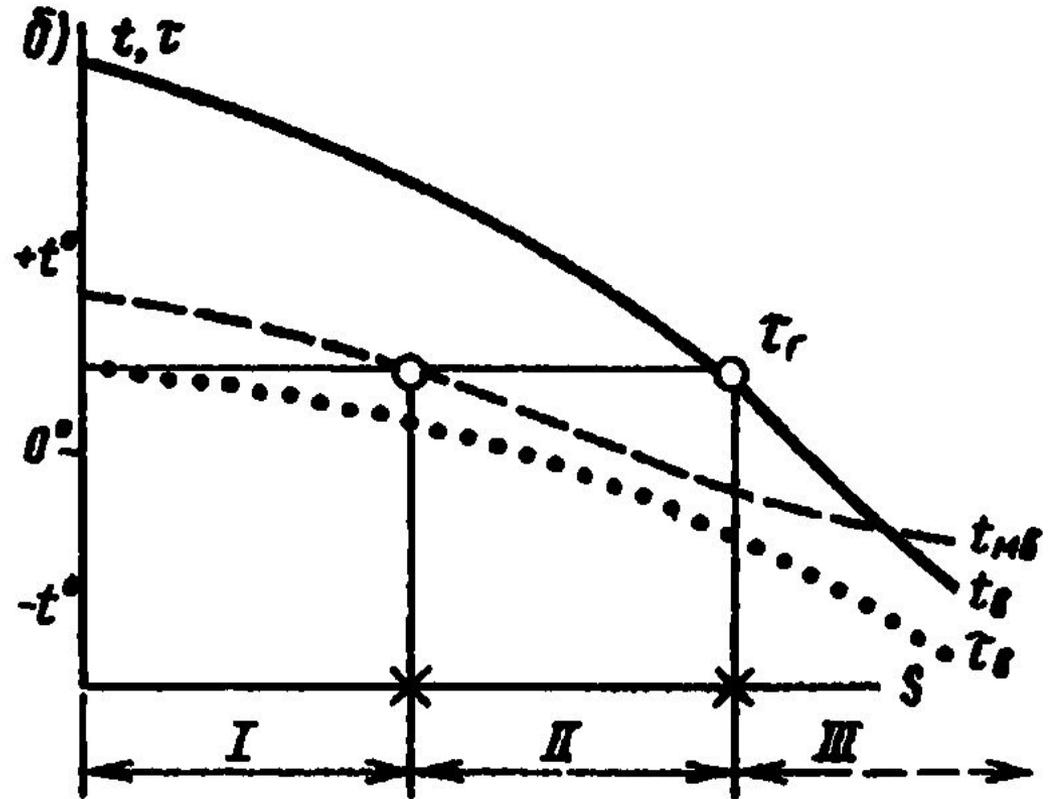
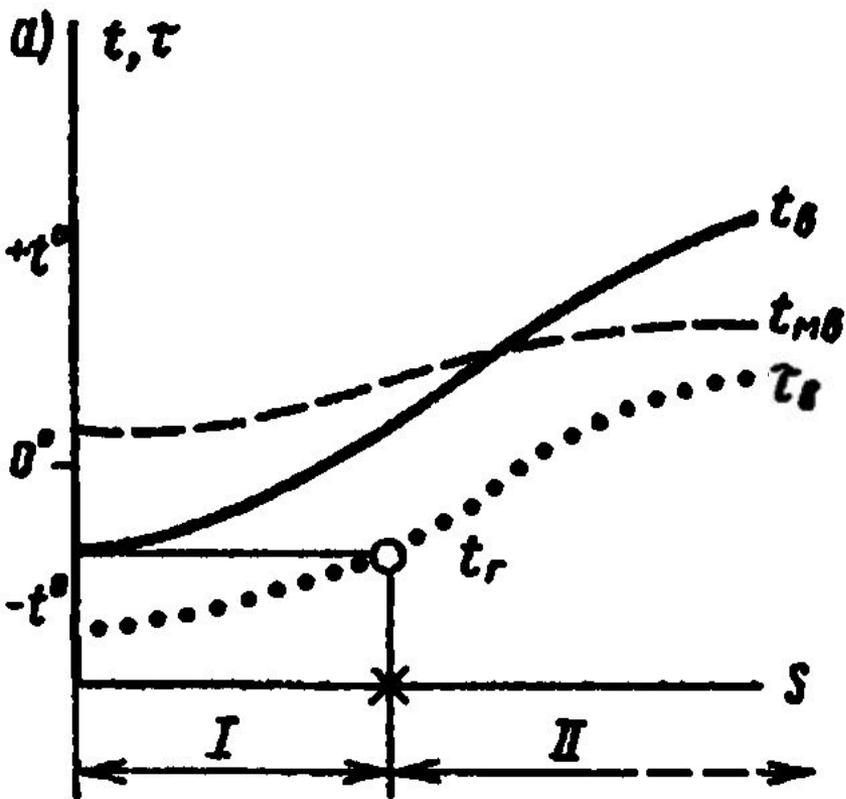
При иных условиях температуры наружного воздуха и груза, т.е. когда воздух холоднее груза ($t_B < t_r$), целесообразность вентиляции трюма определяют в зависимости от соотношений температур и точек росы наружного воздуха, груза и трюмного воздуха. Например, когда температура вентиляционного воздуха ниже точки росы этого воздуха, увеличенной на значение температурного запаса Θ_{\min} , т.е.

$$t_B < t_B + \Theta_{\min} \quad (4.9)$$

трюм следует вентилировать.

Но когда температура вентиляционного воздуха выше значения ($t_B + \Theta_{\min}$), трюм *можно вентилировать.*

При плавании в разных климатических зонах, когда переход совершается из холодной зоны в теплую или наоборот, можно использовать предварительно построенный график для определения возможности и целесообразности вентиляции трюмов наружным воздухом. На горизонтальной оси графика нужно построить шкалу расстояний перехода, на вертикальной - температурную шкалу (t и T).



Схемы предварительного определения возможности вентиляции грузовых помещений при переходе: а - из холодной зоны в теплую: I - проветривать можно; II - проветривать нельзя; б - из теплой зоны в холодную: I - можно не проветривать; II - проветривать можно; III - проветривать нужно

Для построения кривых температуры наружного воздуха и воды (t_B и t_{MB}) по пути следования от начального до конечного пунктов нужно использовать морские пособия, из которых выбираются значения относительной влажности воздуха для построения кривой точек росы наружного воздуха t_B .

При переходе из холодной зоны в теплую (рис. а) от точки температуры воздуха в порту отправления (она же температура груза) проводят горизонтальную линию до пересечения с кривой точек росы наружного воздуха. Предполагается, что температура груза t_r продолжительное время не изменяется. Опустив перпендикуляр из точки пересечения на шкалу расстояний, получим точку на пути следования, где проходит граница возможности и целесообразности вентиляции трюмов наружным воздухом.

На участке пути, где $t_B < t_r$, вентиляция трюмов возможна. Там, где $t_B \geq t_r$, вентиляция наружным воздухом приведет к увлажнению груза.

При переходе из теплой зоны в холодную (рис. б) нужно сравнивать точку росы трюмного воздуха $t_{\text{р}}$ с температурой наружной среды (она же температура трюмного охлаждения). Теперь горизонтальную линию проводят от точки росы воздуха в порту отправления до пересечения с кривой температур воздуха и воды. Пересечение горизонтали $t_{\text{р}}$ с температурой воды $t_{\text{МВ}}$ покажет момент начала конденсации влаги на внутренних поверхностях ограждения трюма, а пересечение кривой, обозначающей температуру наружного воздуха $t_{\text{В}}$, покажет момент начала конденсации влаги на внутренних поверхностях грузовых помещений выше действующей ватерлинии.

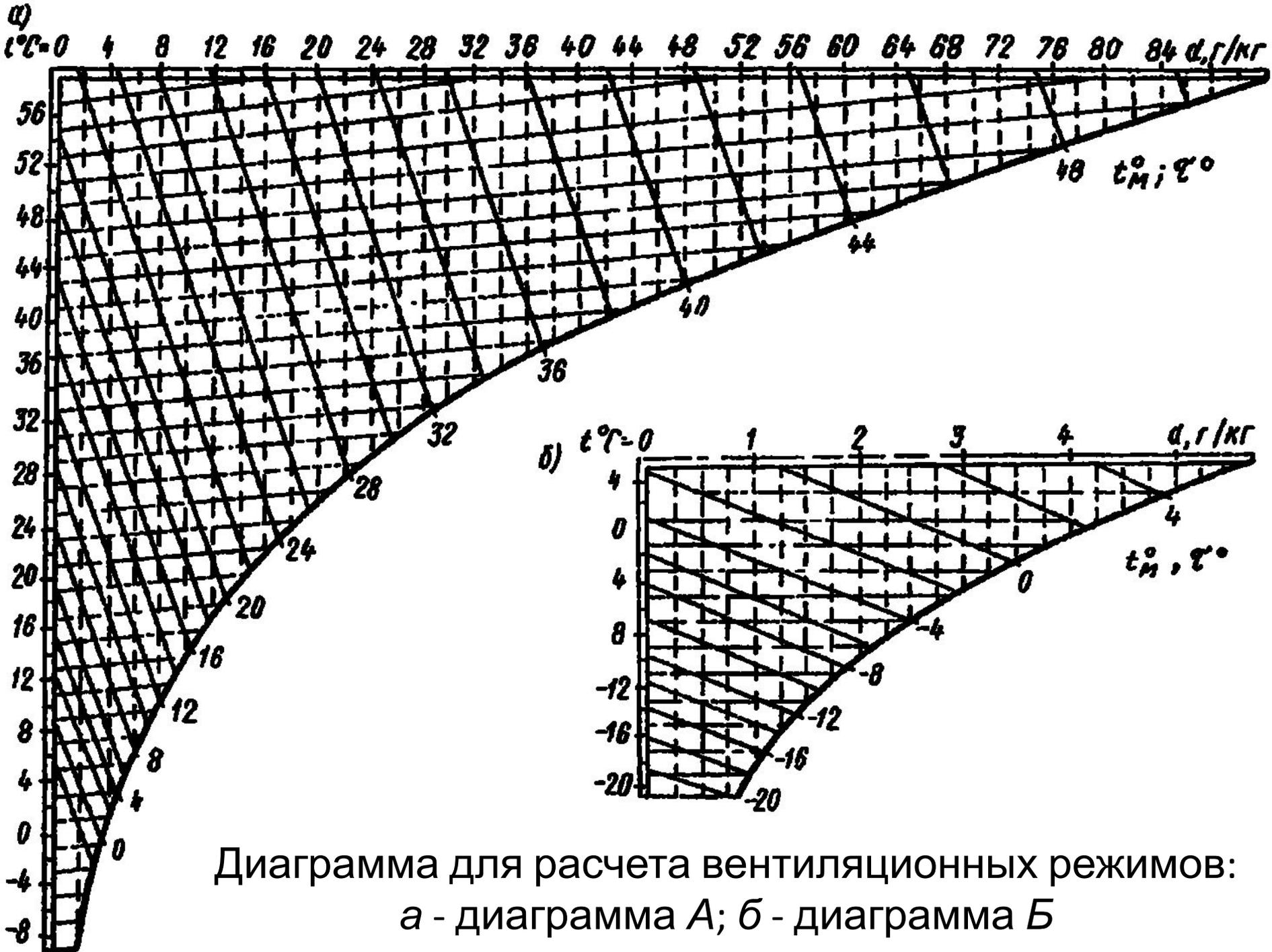
До прихода судна в район начала конденсации влаги в трюме (положение /) грузовые помещения можно не вентилировать, на дальнейшем переходе вентиляция трюмов становится обязательной.

Построенный график предварительного определения возможности вентиляции грузовых помещений требует, разумеется, постоянного контроля за фактическими параметрами наружного и трюмного воздуха и температурой груза с тем, чтобы своевременно решать вопрос о целесообразности вентиляции трюмов.

Суда, предназначенные для перевозки режимных грузов (рефрижераторы, фруктово­зы и др.) оборудованы системой контроля и регулирования микроклимата трюмов для создания благоприятных условий грузу. Они снабжены инструкциями по использованию системы кондиционирования трюмного воздуха в автоматическом режиме, которые учитывают требования по соблюдению температурно-влажностных условий в трюме в зависимости от свойств груза и условий внешней среды.

На судах же, не оборудованных системой кондиционирования грузовых помещений, вентиляция наружным воздухом является основным средством создания оптимальных тепло-влажностных режимов. Средства контроля исходных параметров наружного, трюмного воздуха и груза весьма ограничены и сводятся в основном к измерению температуры воздуха и груза.

Приведенная диаграмма Л.К. Рамзина позволяет по измеренным температурам воздуха определить необходимость вентилирования трюма наружным воздухом. В дополнение к графику для предварительного определения возможности вентиляции в соответствующем месте по пути следования судна эта диаграмма дает возможность решать ту же задачу с учетом конкретных погодных условий.



При пользовании диаграммой следует руководствоваться следующими положениями.

Вентиляция наружным воздухом должна обеспечивать предотвращение конденсации влаги на поверхности груза и на металлических поверхностях обшивки трюма и набора корпуса.

Чтобы снизить влажность трюмного воздуха или подсушить поверхность груза вентиляционным воздухом, его влагосодержание d_B должно быть меньше влагосодержания воздуха в трюме d_T ,

$$d_B < d_T \quad (4.10)$$

Для увлажнения груза влагосодержание вентиляционного воздуха должно быть больше влагосодержания трюмного воздуха ($d_B > d_T$).

Если вентиляция необходима, например, для удаления из трюма вредных и опасных газов при условии сохранения прежней влажности груза, то в этом случае влагосодержание вентиляционного воздуха должно быть одинаково или почти одинаково с влагосодержанием трюмного воздуха

$$d_B \approx d_T \quad (4.11)$$

Для предотвращения конденсации влаги на грузе при переходе судна из теплой зоны в холодную температура вентиляционного воздуха t_B должна быть выше точки росы трюмного воздуха t_T не менее чем на 5°C

$$t_B < t_T + 5^\circ\text{C} \quad (4.12)$$

Критерий безопасности, равный 5°C , принят по данным натуральных наблюдений.

При переходе из холодной зоны в теплую температура поверхностного слоя груза t_T должна быть не менее чем на 5°C выше точки росы вентиляционного воздуха t_B :

$$t_T < t_B + 5^\circ\text{C} \quad (4.13)$$

$$t_T < t_B + 5^\circ\text{C} \quad (4.14)$$

Диаграмма выражает графическую зависимость между температурами сухого t_0 и мокрого t_M термометров, влажностью d и точкой росы t .

При диапазоне температур от -6 до 60°C нужно пользоваться диаграммой А, при температурах от -20 до $+8^\circ\text{C}$ - диаграммой Б.

Характер изменения температуры и влажности показан на схеме расположения определяющих точек трюмного T и вентиляционного B воздуха. Взаимное расположение этих точек в восьми возможных вариантах показывает, как будут изменяться температура и влажность воздуха в трюме.

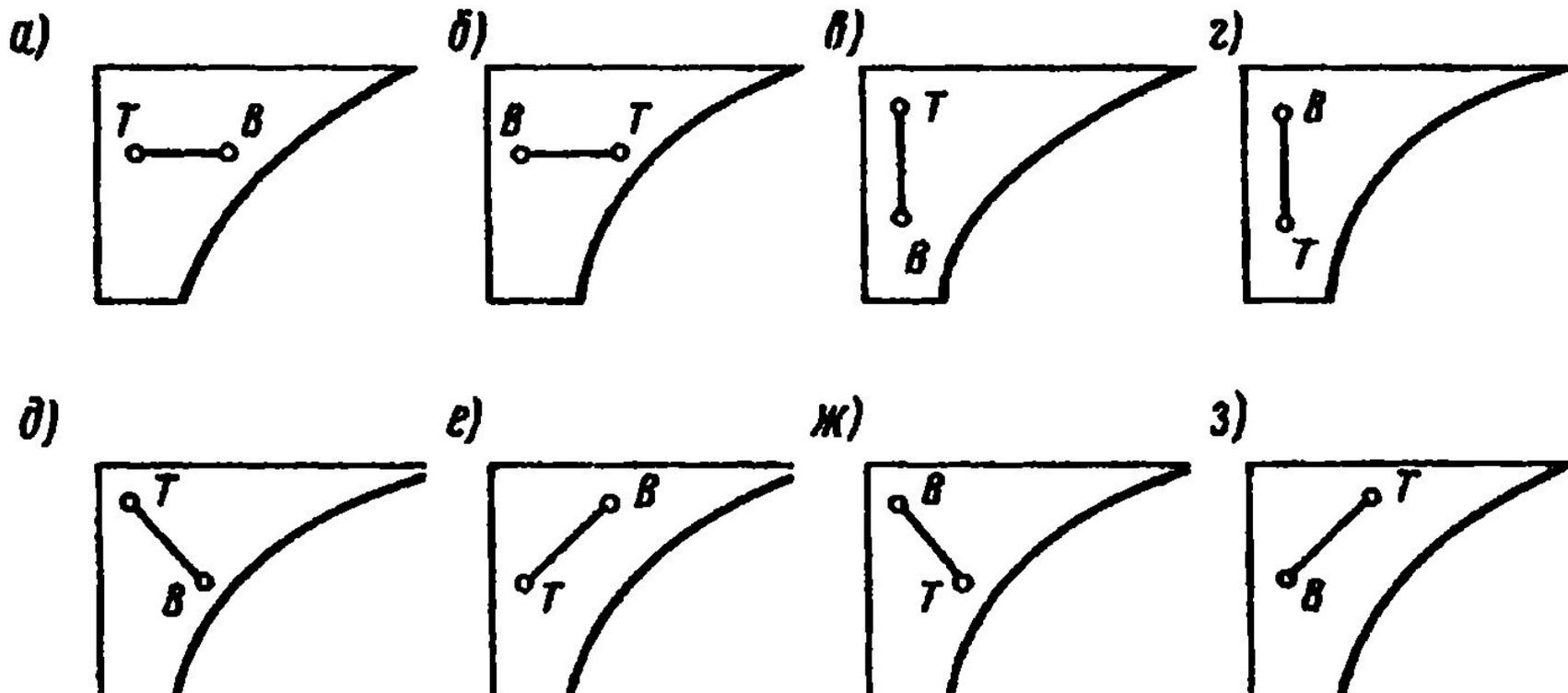
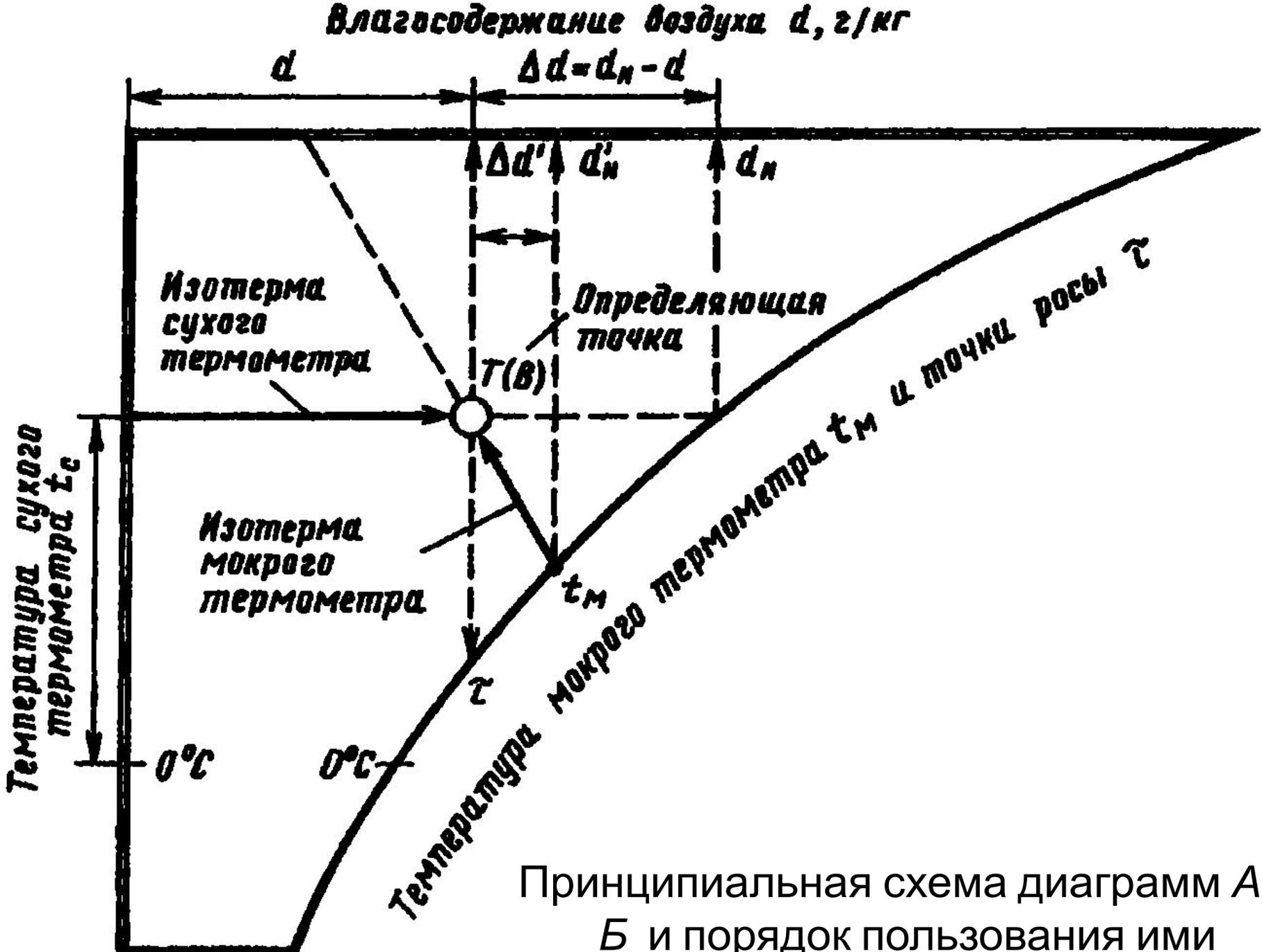


Схема расположения определяющих точек: а - повышение влажности; б - понижение влажности; в - понижение температуры; г - повышение температуры; д - понижение температуры, повышение влажности; е - повышение температуры и влажности; ж - повышение температуры, понижение влажности; з - понижение температуры и влажности



Принципиальная схема диаграмм А и Б и порядок пользования ими

Порядок пользования диаграммой и схемой следующий.

1. Определить параметры трюмного и атмосферного воздуха. По температуре воздуха в трюме, показанной на сухом термометре t_C и на мокром термометре психрометра t_M , нанести на диаграмму определяющую точку T . Аналогичным образом определить t_C и t_M наружного воздуха и нанести точку B .

Через определяющие точки T и B провести вертикальные прямые до пересечения оси абсцисс и кривой насыщения и на них найти для трюмного воздуха его влагосодержание d_T (на горизонтальной оси) и его точку росы t_T (на кривой насыщения). Таким же образом найти d_B и t_B для вентиляционного воздуха.

2. По взаимному положению точек T и B , нанесенных на диаграмму, определить с помощью схемы характер тепло-влажностного процесса в грузовых помещениях, если бы проводилось вентилирование наружным воздухом. С учетом требований к тепло-влажностным характеристикам трюмного воздуха решить вопрос о целесообразности вентилирования.

3. Если принято решение вентилировать трюм, необходимо проверить выполнимость условий, показанных в формулах (4.12) - (4.14), т.е. при следовании из теплой зоны в холодную или из холодной в теплую учесть критерий безопасности по предотвращению конденсации влаги на грузе.

Усиленное вентилирование влажных грузов сухим вентиляционным воздухом приводит к уменьшению их массы. Величина потери массы груза (τ) зависит в основном от интенсивности и времени вентилирования и может быть определена по формуле

$$\Delta P = \Delta d_B Q \gamma_B T_{\text{ВЕНТ}} / 10^6, \quad (4.15)$$

где: Δd_B - влагопоглотительная способность вентиляционного воздуха, г/кг.

Значение влагопоглотительной способности воздуха находится с помощью показанных выше диаграмм .

Вертикальная прямая, проведенная из точки пересечения изотермы сухого термометра с кривой насыщения дает на оси абсцисс величину влагосодержания насыщения d_H и влагопоглотительную способность воздуха (г/кг)

$$\Delta d = d_H - d. \quad (4.16)$$

Аналогичным образом с помощью вертикальной прямой, проведенной из точки пересечения изотермы мокрого термометра с кривой насыщения, определяется влагопоглотительная способность воздуха (г/кг) при интенсивном испарении влаги с поверхности груза

$$\Delta d' = d'_H - d. \quad (4.17)$$

В формуле (4.15) значение производительности вентиляционной системы Q (м³/ч) можно взять из паспортных данных судна.

Плотность вентиляционного воздуха γ_B (кг/м³) определяют расчетным путем или по таблицам.

Показанная в формуле (4.15) продолжительность вентилирования $T_{ВЕНТ}$ исчисляется в часах.

Для приближенных расчетов потерь массы влажного груза в результате интенсивного вентилирования допустимо принимать плотность вентиляционного стандартного воздуха γ_B , равной 1,2 кг/м³, а среднюю влагопоглотительную способность морского воздуха Δd_B , равной 2 г/кг. Тогда

$$\Delta P = 2,4QT_{ВЕНТ} / 10^6, \quad (4.18)$$

Кроме показанных выше методов определения параметров наружного и трюмного воздуха с помощью диаграмм Л.П. Андропова (« $t - \tau$ ») и универсальной диаграммы Л.К. Рамзина, можно воспользоваться диаграммой « $J - d$ » в которой в качестве исходных данных используются относительная влажность воздуха и температура воздуха. Относительная влажность воздуха (%) определяется по разности температур сухого и смоченного термометров психрометра и при помощи психрометрических таблиц или по формуле

$$\varphi = 100 - \frac{480(t_C - t_M)}{24 + t_C}, \quad (4.19)$$

где: t_C и t_M - температура соответственно сухого и смоченного термометров.

Т-д - диаграмма влажного воздуха (при давлении 160 мм рт.ст.)

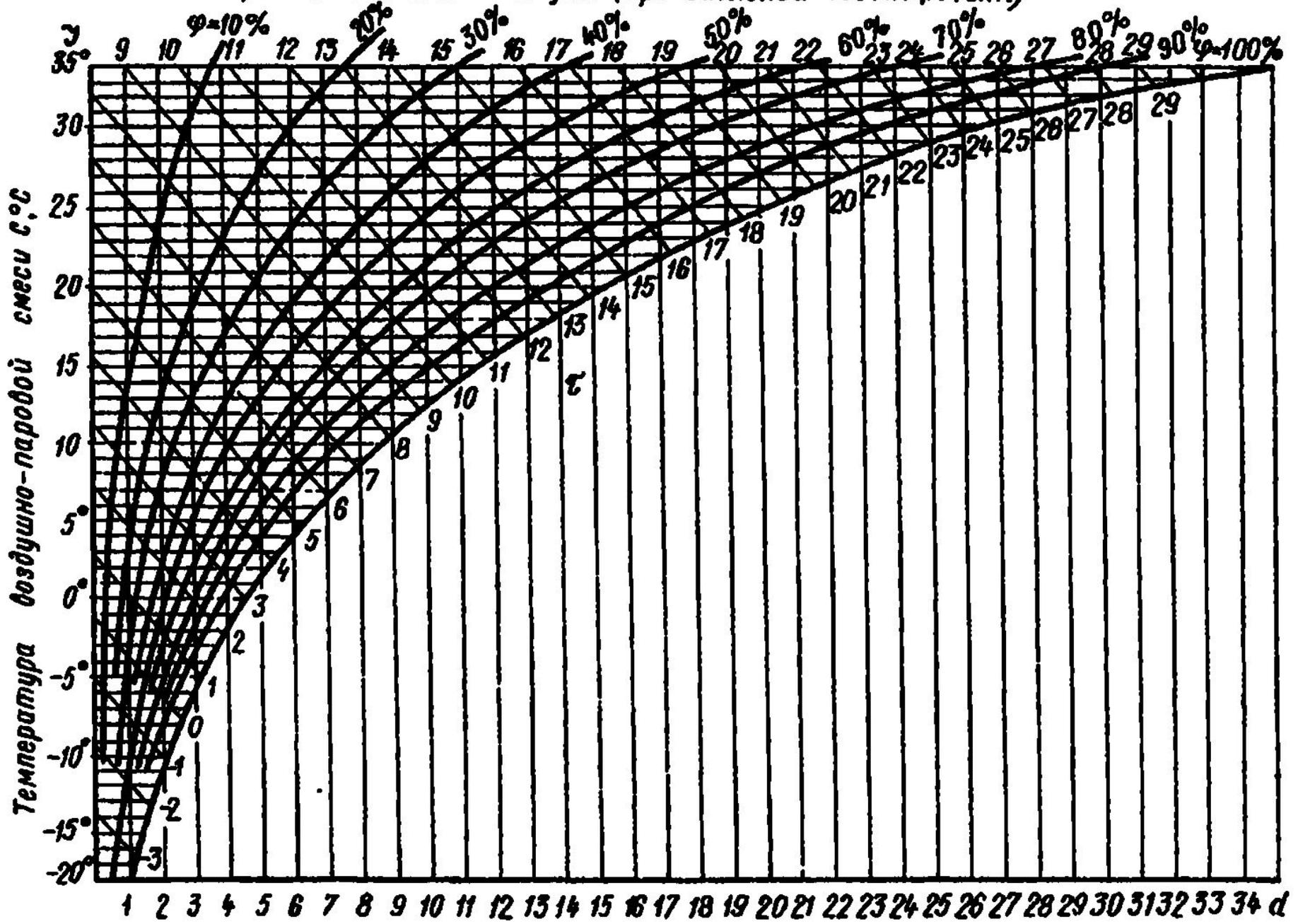


Диаграмма «Т - d»

На оси ординат J отложены параметры температуры сухого воздуха, на оси абсцисс - влагосодержание d (г/кг).

Чтобы определить температуру точки росы τ и влагосодержание воздуха d , необходимо показание сухого термометра нанести на шкалу J и из полученной точки провести прямую, параллельную шкале d , до пересечения с кривой, соответствующей относительной влажности φ_i . Из точки пересечения его с кривой $\varphi = 100\%$ снять значение искомой точки росы, а на оси d получить искомую величину влагосодержания воздуха d_i .