

**Нет автора**

**Журнал Холодильная техника 1965 года №6**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 621.3  
ББК 31.352  
Н57

Н57 **Нет автора**  
Журнал Холодильная техника 1965 года №6 / Нет автора – М.: Книга по Требованию, 2021. – 76 с.

**ISBN 978-5-458-64595-9**

**ISBN 978-5-458-64595-9**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2021  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



ных ресурсов в пищевую и холодильную промышленность.

С целью ускорения темпов строительства холодильников работникам, занятым на этом строительстве, будут предоставляться дополнительные льготы. Так, повышен размер премий за окончание строительства этих объектов в срок и еще в большей степени за досрочную

сдачу производственных мощностей. Увеличены размеры премий также работникам строительно-монтажных организаций.

Всемерное внимание холодильному хозяйству позволит в короткие сроки создать необходимые условия для круглогодичного обеспечения населения высококачественными продуктами.

УДК 628.83 : 629.12

## СУДОВОЙ АВТОНОМНЫЙ КОНДИЦИОНЕР «КЛИМАТ-4»

Е. Д. КРИЦКИЙ, В. И. СЛЮСАРЕНКО, Д. А. КУЗНЕЦОВ, А. И. ГЕТМАНЕЦ

В связи со значительным расширением районов плавания все большее внимание уделяется вопросу комфортного кондиционирования воздуха на морских судах. Кроме центральных и местных систем кондиционирования воздуха, в последнее время применяют автономные кондиционеры, имеющие ряд преимуществ по сравнению с другими судовыми системами кондиционирования.

При серийном производстве стоимость изготовления и монтажа автономных кондиционеров значительно ниже, чем центральных установок кондиционирования воздуха той же холодопроизводительности.

Автономные кондиционеры рекомендуются использовать для модернизируемых судов, которые ранее не были оборудованы системами кондиционирования воздуха. На вновь строящихся судах их целесообразно применять для медицинских и пищевых блоков, салонов и кают-компаний.

К судовым автономным кондиционерам предъявляются повышенные требования, что усложняет их проектирование и изготовление. Они должны иметь минимальные габаритные размеры и вес, низкий уровень собственных вибраций и шума, надежно и устойчиво работать в условиях крена, дифферента, качки и вибрации. Холодильные машины, обслуживающие кондиционеры, должны быть герметичными. Работа кондиционеров должна быть полностью автоматизирована.

Кроме того, необходимо учитывать следующее. Для судовых автономных кондиционеров характерен широкий диапазон изменения тепловых нагрузок, в связи с чем воз-

можно обмерзание испарителя, уменьшение надежности работы герметичного компрессора в режиме максимальных нагрузок, а также загрязнение водяных полостей конденсаторов и трубопроводов охлаждающей воды.

В октябре 1964 г. междуведомственной комиссией был принят головной образец судового автономного кондиционера «Климат-4», предназначенного для круглогодичного комфортного кондиционирования воздуха.

### Основные расчетные характеристики кондиционера „Климат-4“

Рабочая холодопроизводительность, ккал/ч . . . . .	4000
Параметры наружного воздуха:	
температура, °С	
летом . . . . .	32
зимой . . . . .	—25
относительная влажность, %	
летом . . . . .	80
зимой . . . . .	85
Параметры воздуха в помещении:	
температура, °С	
летом . . . . .	27
зимой . . . . .	21
относительная влажность, %	
летом . . . . .	60
зимой . . . . .	50
Производительность по воздуху, м <sup>3</sup> /ч . . . . .	1500
в том числе свежего воздуха . . . . .	300
Температура охлаждающей (заборной) воды, °С . . . . .	30

Проектирование кондиционера «Климат-4» затруднялось тем, что на отечественных судах автономные кондиционеры до последнего времени не применялись. Поэтому не было опыта проектирования, изготовления и

эксплуатации судовых автономных кондиционеров.

Компрессоры и приборы автоматики в судовом исполнении для кондиционеров нашей промышленностью не выпускаются, поэтому их пришлось разработать заново.

Автономный кондиционер «Климат-4» (рис. 1) состоит из встроенной герметичной холодильной машины, электрического нагревателя воздуха, увлажнительного устройства, электровентилятора и системы автоматики.

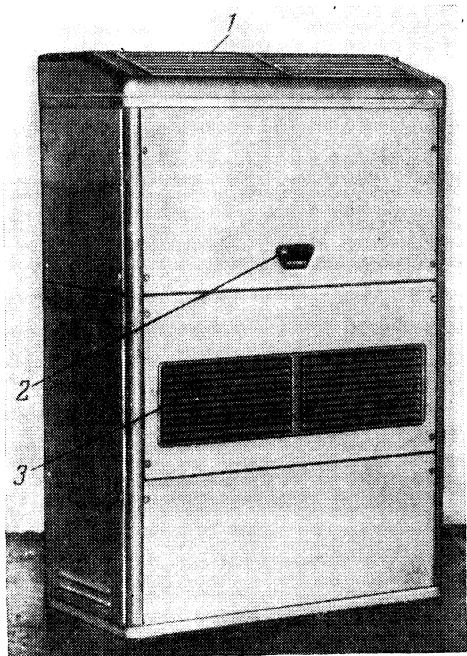


Рис. 1. Общий вид кондиционера «Климат-4»: 1 — решетки для выхода воздуха; 2 — пульт управления; 3 — решетка для входа рециркуляционного воздуха.

Все узлы размещены в жестком каркасе, который закрывается съемными крышками. Крышки оклеены изнутри эластичным полиуретановым поропластом, выполняющим роль изоляции, а снаружи покрыты эмалью МЛ-25.

На передней стенке находятся пульт управления и решетка для входа рециркуляционного воздуха, на боковой стороне — ручка заслонки наружного воздуха, на задней стенке — штуцера трубопроводов для подвода и отвода воды, сальники для ввода питающего кабеля и кабеля от пульта датчиков, а также

патрубок свежего воздуха. На верхней крышке размещены решетки для выхода обработанного воздуха. Передняя решетка имеет поворотные жалюзи, что позволяет изменять направление потока воздуха.

По высоте кондиционер разделен на три отсека — машинный, воздухообрабатывающий и вентиляторный.

В машинном отсеке расположены компрессор и конденсатор, в воздухообрабатывающем — испаритель и электрический нагреватель воздуха, в вентиляторном — электровентилятор, электрический нагреватель увлажнительного устройства и щит управления с приборами автоматики.

В верхней части кондиционера предусмотрен увлажнитель воздуха.

Холодильная машина состоит из компрессора, конденсатора, испарителя, фильтра-осушителя, терморегулирующего вентиля, системы водяных и фреоновых трубопроводов. Холодильный агент — фреон-22 (по ГОСТу 8502 — 57).

Компрессор двухцилиндровый поршневой герметичный непрямоточный с вертикальным расположением вала. Диаметр цилиндра 42, ход поршня 26 мм.

Привод осуществляется асинхронным трехфазным электродвигателем напряжением 380 или 220 в, короткозамкнутый ротор которого смонтирован непосредственно на эксцентриковом вале компрессора. Число оборотов вала компрессора 1410 в минуту.

Конденсатор водяной кожухотрубный многоходовой. Трубки диаметром  $20 \times 3$  мм мельхиоровые с накатным оребрением. Полная поверхность охлаждения  $2,07 \text{ м}^2$ . Съемные крышки позволяют проводить механическую чистку трубок. На передней крышке расположены протекторы и штуцера ( $D_y = 20 \text{ мм}$ ) подвода и отвода охлаждающей воды. Конденсатор рассчитан на охлаждение морской водой.

Испаритель четырехрядный с шахматным расположением медных трубок диаметром  $10 \times 1 \text{ мм}$  и плоскостинчатый оребрением из штампованных медных пластин. Полная наружная поверхность охлаждения  $15,8 \text{ м}^2$ . Теплообменная поверхность луженая. Фреон подается через распределитель в 15 параллельных горизонтальных змеевиков, а отводится через всасывающий коллектор.

В качестве дросселирующего органа применен терморегулирующий вентиль ТРВ-7 Тартуского приборостроительного завода. Для возможности работы на плюсовых тем-

пературах кипения фреона-22 вентиль модернизирован.

Водяные и фреоновые трубопроводы изготовлены из медных труб. Все соединения фреоновой системы холодильной машины, кроме подсоединений к ТРВ и реле давления, спаяны припоем ПСр45.

Автоматическая защита компрессора от чрезмерного повышения или понижения давления осуществляется реле давления РД-6. Реле низкого давления выключает компрессор при давлении всасывания меньше 3 *ати*, реле высокого давления — при давлении нагнетания больше 17 *ати*.

Электрический нагреватель воздуха представляет собой блок из 18 прямых трубчатых нагревательных элементов общей мощностью 7,2 *квт*, закрепленных в двух трубных досках круглыми гайками со шлицами. Питание подается через сальник в левой клеммной коробке.

Увлажнительное устройство состоит из соленоидного вентиля, электрического нагревателя воды, форсунок, каплеотделителя и соединительного трубопровода. Воздух увлажняется пресной водой.

Соленоидный вентиль — мембранного типа.

Электрический нагреватель воды состоит из цилиндрического корпуса с трубчатым электронагревательным элементом мощностью 3 *квт*, питание к которому подается через сальник в клеммной коробке.

Каплеотделитель представляет собой V-образный желоб со специальными влагоотбойниками, предотвращающими вылет крупных капель влаги из кондиционера.

Электровентилятор кондиционера центробежный двустороннего всасывания, со встроенным электродвигателем. Электродвигатель асинхронного типа с короткозамкнутым наружным ротором. Полный напор вентилятора 30 *мм вод. ст.* Производительность 1500 *м³/ч*. Число оборотов 940 в минуту. Рабочее колесо имеет загнутые вперед лопатки.

Электровентилятор кондиционера всасывает наружный воздух, как показано на рис. 2, через воздуховод, подсоединенный к патрубку свежего воздуха, рециркуляционный — через решетку для входа воздуха. Перед фильтром воздух смешивается и проходит последовательно через фильтр, испаритель, электрический нагреватель и увлажнитель. В зависимости от того, какой агрегат

кондиционера работает, воздух охлаждается, нагревается или увлажняется.

Воздушный тракт кондиционера выполнен таким образом, что при сопротивлении тру-

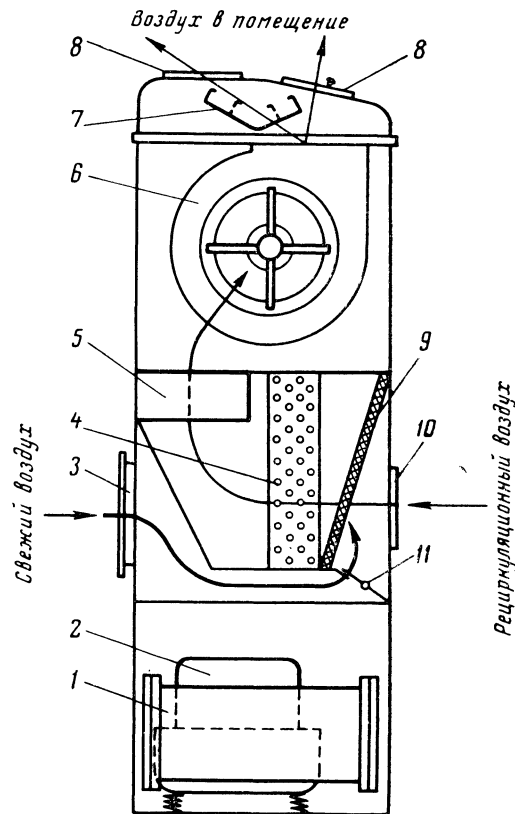


Рис. 2. Схема компоновки кондиционера «Климат-4»:

- 1 — конденсатор; 2 — компрессор; 3 — патрубок свежего воздуха; 4 — испаритель; 5 — электрический нагреватель воздуха; 6 — электровентилятор; 7 — увлажнитель; 8 — решетки для выхода воздуха; 9 — фильтр; 10 — решетка для входа рециркуляционного воздуха; 11 — заслонка наружного воздуха.

бпровода наружного воздуха, равном 8 *мм вод. ст.*, обеспечивается заданное соотношение между количествами свежего и рециркуляционного воздуха.

Система автоматики. Работа кондиционера полностью автоматизирована. Кондиционер включается кнопочным переключателем, который имеет шесть положений: «Автоматическая работа» — циклическая работа с автоматическим поддержанием заданных параметров воздуха в помещении; «Охлажде-

ние», «Нагрев», «Увлажнение» — непрерывная работа в соответствующем режиме; «Вентиляция» — непрерывная вентиляция помещения; «Выключено».

Пульт автоматического управления установлен в обслуживаемом помещении, вне кондиционера.

С помощью ручки настройки терморегулятора можно изменять температуру в диапазоне 20—30°C.

Регулятор влажности имеет постоянную настройку, позволяющую поддерживать в помещении влажность в пределах 40—60%.

В качестве датчика регулятора температуры применено полупроводниковое термосопротивление, а регулятор влажности содержит элемент, электропроводимость которого зависит от относительной влажности воздуха.

Электродвигатели компрессора и вентилятора и водоподогреватель увлажнительного устройства имеют защиту от перегрева. Датчиками служат термосопротивления.

При междуведомственных испытаниях го-

ловного образца кондиционера были получены следующие характеристики:

Холодопроизводительность при $t_0 = 7^\circ\text{C}$ , $t_k = 40^\circ\text{C}$ , ккал/ч . . .	4700
Производительность по воздуху, $\text{м}^3/\text{ч}$ . . . . .	1500
в том числе свежего воздуха . .	300
Расход охлаждающей воды при $t_w = 30^\circ\text{C}$ , л/ч . . . . .	1000
Мощность (квт), потребляемая из сети кондиционером в режимах:	
охлаждения . . . . .	1,9
нагрева . . . . .	8,0
нагрева с увлажнением . . . .	11,0
осушения (охлаждение и нагрев)	9,5
Вес, кг . . . . .	280
Уровень шума, замеренный на расстоянии 0,5 м от кондиционера в плоскости выходных решеток, дБ . . . . .	70

Междуведомственная комиссия рекомендовала кондиционер к производству и установке на судах. Для проведения опытной эксплуатации один кондиционер «Климат-4» установлен на тунцеловном судне проекта 502А и три — на научно-промысловом судне «Академик Книпович».

Кондиционеры «Климат-4» могут также с успехом применяться в больницах, приемных, детских садах, кафе, ресторанах.

УДК 681.1/4 : 621.646

## ПРИБОР ДЛЯ ЗАПИСИ ДВИЖЕНИЯ КЛАПАНОВ КОМПРЕССОРА

Е. М. АГАРЕВ, А. И. БОРИСОГЛЕБСКИЙ, Э. А. КУДРЯШОВ, Р. В. КУЗЬМИН, Б. В. ЛЕБЕДЕВ

В настоящее время методика и приборы для записи движения самодействующих клапанов все больше привлекают внимание исследователей [1—3].

Большинство известных конструкций датчиков перемещения клапана оказывает нежелательное влияние на клапан, так как к подвижной его части присоединяется дополнительная масса или жесткость. Это изменяет форму диаграммы движения клапана и понижает достоверность измерений. Особенно заметны погрешности при исследовании малогабаритных поршневых компрессоров с самодействующими клапанами, вес которых не превышает 2 г.

Появившиеся в последнее время малогабаритные индуктивные датчики [2, 3] пригодны только для регистрации траекторий движения клапанов, выполненных из ферромагнитных материалов. При исследовании кла-

панов из других материалов следует применять датчики иного типа.

Для записи диаграмм движения пластин из неферромагнитных материалов авторами применялись измерительные приборы с индукционными и резонансными датчиками.

Чувствительным элементом индукционного датчика служит катушка на ферритовой основе. Внутри катушки перемещается алюминиевый сердечник, прикрепленный к клапану.

Настройка приборов с индукционным датчиком требует сложной регулировки измерительного моста.

В схеме используются электронные устройства высокой чувствительности, что вызывает значительные трудности при устранении помех и достижении стабильной градуировочной характеристики.

Впервые градуированную запись движения малогабаритных клапанов из неферромаг-



нитных материалов удалось получить прибором с резонансным датчиком.

На рис. 1 показан резонансный датчик для записи траектории движения тарелочки 1 клапана, установленный в корпусе ограничителя 2 клапана.

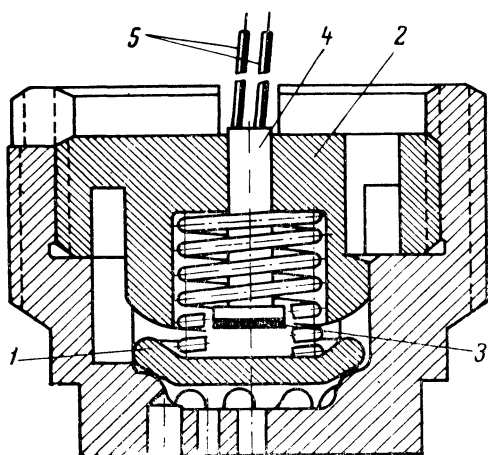


Рис. 1. Резонансный датчик для записи траектории движения клапана.

Чувствительным элементом датчика является плоская катушка 3 (число витков 200, провод ПЭВ-2 диаметром 0,06 мм, диаметр катушки 5 мм, высота 0,5 мм). Катушка приклеивается высокотемпературной пластмассой к стержню 4 из электротехнического текстолита. Стержень датчика можно изготовить из высокотемпературной пластмассы, причем катушка вместе с выводными проводниками 5 заливается той же пластмассой (клей БОВ-1 и т. п.).

Отличительным свойством резонансного датчика является отсутствие какой-либо механической связи с исследуемым клапаном. Конструкция датчика полностью исключает влияние измерительного прибора на работу исследуемого клапана и повышает надежность и достоверность измерений. Клапан можно изготовить из любого неферромагнитного металла с малым удельным сопротивлением (алюминий, медь, латунь, титан и их сплавы).

Работа измерительного прибора, упрощенная схема которого показана на рис. 2, основана на явлении резонанса. Катушка 1 резонансного датчика, устанавливаемая вблизи пластины клапана, соединяется с выходным трансформатором Тр-1 генератора высокой частоты ГСС-6 и входом балансного каскада усилителя 2 экранированным кабелем 3. Ча-

стога питающего напряжения от ГСС-6 подбирается близкой к частоте резонанса (2—3 мГц) контура, образуемого датчиком и входной емкостью балансного каскада усилителя (на рис. 2 эта емкость обозначена пунктиром).

При движении пластины клапана относительно неподвижной катушки меняются условия резонанса этой цепи, так как вследствие уменьшения расстояния от тарелочки клапана до катушки увеличиваются индуктированные в тарелочке вихревые токи. Это вызывает различный отбор энергии из колебательного контура. В результате на выходе контура изменяется напряжение, которое подается через усилитель на вход магнитоэлектрического осциллографа 4.

На экране осциллографа 4 появляется изображение траектории движения клапана. Первый каскад усилителя собран по балансной схеме на лампе  $L_1$  (6Н1П). Сигнал от датчика усиливается правым триодом лампы  $L_1$ . Компенсирующее напряжение, снимаемое с движка потенциометра, усиливается левым триодом. Усиленные напряжения складываются на общей анодной нагрузке  $R_8$ . Фазовые и амплитудные соотношения, необходимые для компенсации начального сигнала, достигаются изменением  $R_1$  и  $R_4$ .

Выходное напряжение балансного каскада усиливается по напряжению, детектируется и усиливается по мощности. Выходной ток усилителя 5 может достигать 150 мА, что достаточно для питания вибраторов магнитоэлектрических осциллографов. Питание схемы осуществляется от специального блока питания 6.

Для установления связи между фазами движения поршня 7 и перемещением клапана 8 схема снабжена отметчиком 9 положения поршня. Сигнал от отметчика через специальный усилитель 10 подается на отдельный вибратор магнитоэлектрического осциллографа 4 и позволяет устанавливать указанную выше связь. Описанный прибор позволяет проводить дистанционную регистрацию сигналов датчика.

Статическую градуировку прибора проводят перед началом измерений. Датчик, встроенный в клапан, проверяют на специальном устройстве. Микрометрическим винтом перемещают пластину клапана и наблюдают за отклонением луча на экране осциллографа. Перемещение контролируют с помощью механического индикатора. Таким образом находят градуировочную зависимость величины отклонения луча осциллографа от величины перемещения пластины клапана.

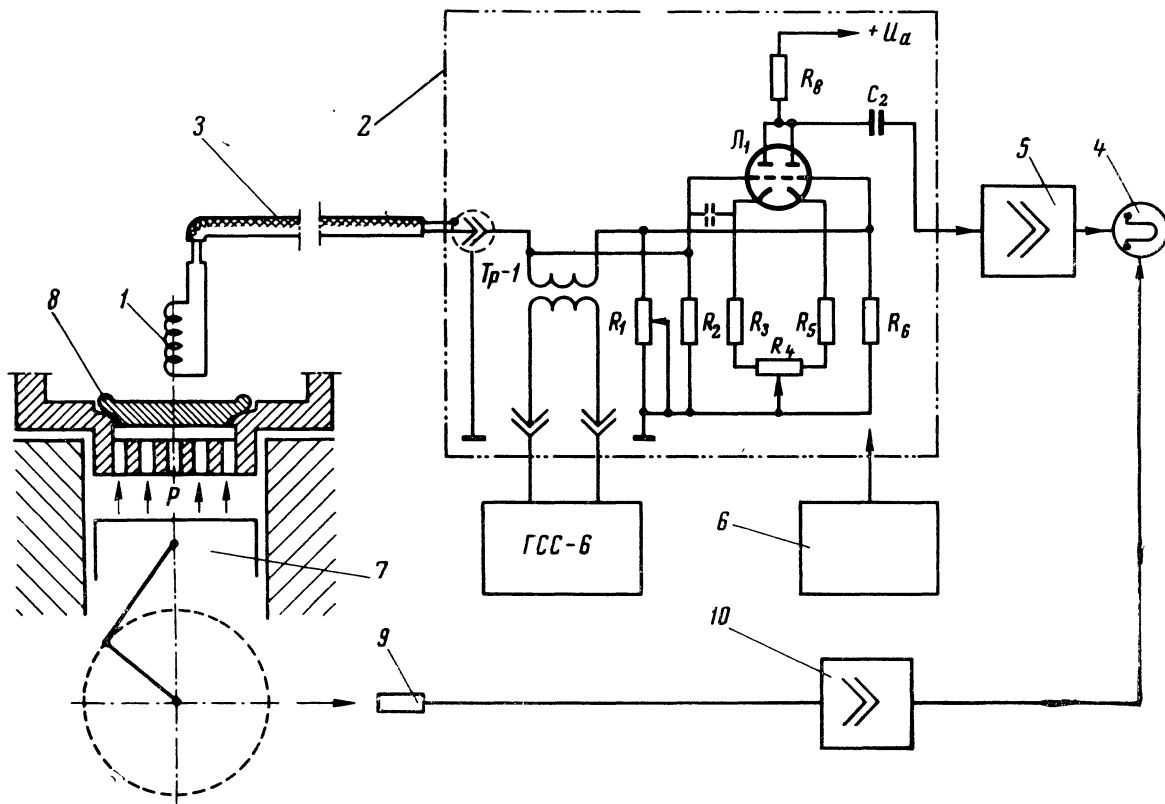


Рис. 2. Упрощенная схема измерительного прибора с резонансным датчиком.

Приборы с индукционным и резонансным датчиками испытывали на высокооборотном четырехступенчатом поршневом компрессоре ЭК-10-1 ( $n = 1330$  об/мин). Были записаны траектории движения всасывающего клапана первой ступени и нагнетательного клапана четвертой ступени. Последний работает при давлении  $400$  кгс/см<sup>2</sup>.

Испытания показали, что резонансные датчики стабильны и сохраняют первоначальную градуировку. Градуировочная зависимость датчика нелинейна, причем степень нелинейности возрастает при расположении металлических масс в непосредственной близости к тыльной стороне катушки.

Температура клапана практически не влияет на показания прибора с резонансным датчиком, так как величина полного сопротивления датчика ( $300-500$  ом) мало зависит от нее. При изменении температуры меняется лишь активное сопротивление в пределах  $5-10$  ом.

На рис. 3, а, б приведены диаграммы движения всасывающих клапанов, снятые с помощью резонансного датчика. Видны моменты начала и конца движения, а также ха-

рактер колебаний клапана. Многократные измерения показали, что диаграммы движения для одного и того же режима компрессора стабильно повторяются.

Для сравнения на рис. 3, в, г, д, е представлены соответствующие диаграммы, снятые индукционными датчиками с алюминиевыми сердечниками.

Как видно из рис. 3, в, д, формы диаграммы движения одного и того же клапана, снятые индукционным датчиком, резко различаются. Это может быть объяснено в первую очередь трением сердечника о направляющую и другими факторами (загрязнение, перекосы и т. п.), к которым особенно чувствителен всасывающий клапан первой ступени, работающий под действием небольших перепадов давлений ( $0,05-0,2$  кгс/см<sup>2</sup>). В связи с этим появляется дополнительное запаздывание клапана при посадке.

На характер записи диаграмм движения нагнетательных клапанов индукционными датчиками при больших перепадах давлений (до  $7-9$  кгс/см<sup>2</sup>) влияют уже не механические помехи, а другие факторы. Основ-

ные из них — температура клапана (до 250°C) и наличие водомасляной эмульсии в рабочей полости, которые могут изменить чувствительность настроенного датчика почти в два раза.

резонансными вносят значительные искажения в запись диаграмм движения клапанов из ферромагнитных материалов.

Результаты испытаний позволяют рекомендовать резонансные датчики для исследова-

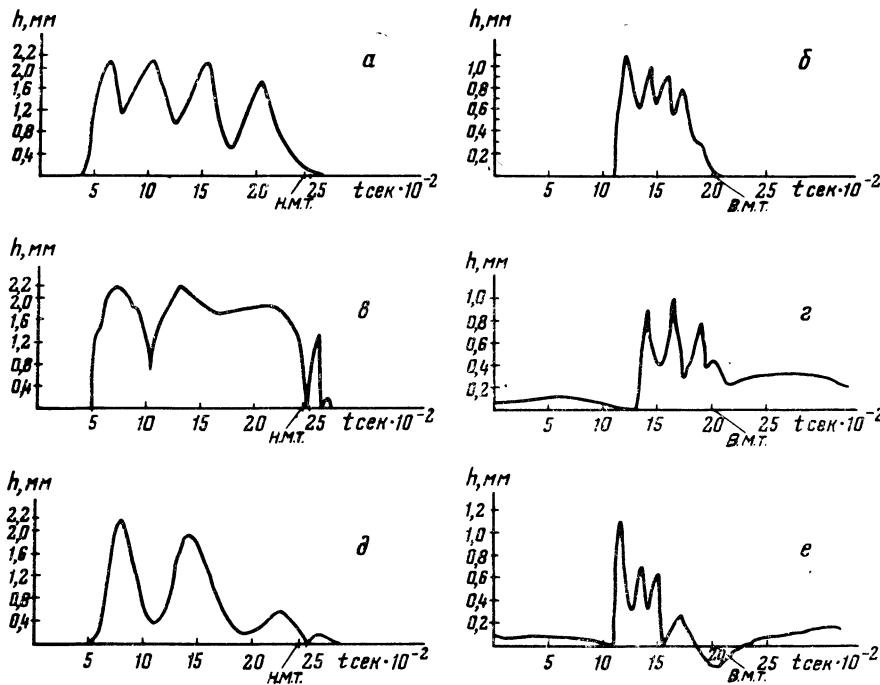


Рис. 3. Диаграммы движения клапанов.

Действие этих факторов меняется в течение цикла, что вызывает на диаграммах (рис. 3 г, е) искривление нулевых линий, особенно интенсивно в период нагнетания.

Датчики указанного типа изменяют первоначальную тарировку также под действием расположенных рядом магнитных масс металла и нестабильны во времени.

Таким образом, индукционные датчики с алюминиевыми сердечниками по сравнению с

ной и контрольных испытаний клапанов поршневых компрессоров различных типов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Френкель М. И. Поршневые компрессоры. Машгиз, 1960.
2. Шварц И. Н. Индикаторы перемещения клапанов холодильных компрессоров. «Холодильная техника», 1961, № 1.
3. Шмыгля А. А., Водяницкая Н. И. Экспериментальное исследование движения пластин клапанов компрессора. «Холодильная техника», 1965, № 4.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ СМЕСИ С АЗОТОМ НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОДИНОЧНОЙ ТРУБЕ

Т. Ф. ПИМЕНОВА — Всесоюзный научно-исследовательский институт холодильной промышленности

При промышленном производстве жидкой и твердой двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) все в большей степени используют дешевое сырье — бросовые газы с высоким содержанием  $\text{CO}_2$ . Так, на 1 января 1965 г. мощности цехов сухого льда, работающих на базе отходов химических и нефтеперерабатывающих производств, составили 18%, а к 1 января 1966 г. они увеличатся до 40% общей мощности заводов сухого льда.

Бросовые промышленные газы, используемые для получения чистой двуокиси углерода, содержат, как правило, кроме  $\text{CO}_2$ , до 15% неконденсирующихся газов.

Процесс конденсации пара из парогазовой смеси протекает при непрерывно меняющихся параметрах по сечению потока и по поверхности конденсации.

По сечению парогазового потока температура пара изменяется от  $t_{см}$  в середине ядра потока до  $t_{гр}$  на поверхности пленки конденсата. Соответственно парциальное давление пара снижается от максимума  $p_{п}$  в середине потока до минимума  $p_{гр}$  на поверхности пленки конденсата. Следовательно, концентрация пара по сечению меняется от  $\epsilon_{п}$  до  $\epsilon_{п,гр}$ .

Разность парциальных давлений пара по сечению потока  $\Delta p = p_{п} - p_{гр}$  является движущей силой процесса массообмена. Благодаря разности парциальных давлений происходит диффузия пара, эффективность которой зависит от характера гидродинамического режима движения парогазовой смеси.

Разность температур  $t_{см} - t_{гр}$  является движущей силой переноса тепла от ядра потока к пленке конденсата, а разность температур  $t_{гр} - t_{ст}$  — через пленку конденсата.

Если при конденсации чистого пара разность температур  $t_{см} - t_{гр}$  представляет собой ничтожно малую величину, в связи с чем термическим сопротивлением пара можно пренебречь, то при конденсации парогазовой смеси эта величина оказывается существенной.

Величины  $t_{см}$ ,  $t_{гр}$ ,  $t_{ст}$  изменяются и по поверхности конденсации, так как по мере продвижения смеси вдоль поверхности пар конденсируется и соответственно меняются концентрации пара и газа, а также их парциальные давления.

Вследствие большого количества влияющих

факторов аналитический расчет процесса тепло- и массообмена при конденсации пара из парогазовой смеси весьма затруднителен. Его можно выполнить на основе экспериментальных исследований конкретных смесей и конструкций конденсаторов.

Например, Всесоюзным теплотехническим институтом (ВТИ) разработана методика расчета аппаратов для конденсации водяного пара из паровоздушной смеси на пучке горизонтальных труб при их поперечном обтекании нисходящим потоком смеси [1].

Методика основана на результатах многолетних экспериментально-аналитических исследований, выполненных в ВТИ доктором техн. наук Л. Д. Берманом и его сотрудниками. Эксперименты с паровоздушной смесью велись параллельно опытам с чистым паром. Это позволило в опытах с паровоздушной смесью точно рассчитывать температуру  $t_{гр}$ .

Для чистого пара была найдена зависимость процесса конденсации от скорости смеси и небольших примесей воздуха; для паровоздушной смеси — зависимость коэффициента массоотдачи от скорости смеси, концентрации и интенсивности поперечного потока пара. Расчет рекомендуется производить последовательно для отдельных небольших участков, для каждого из которых основные параметры процесса и опытные коэффициенты могут приниматься постоянными.

Для расчета процесса тепло- и массообмена при конденсации  $\text{CO}_2$  из парогазовой смеси также необходим конкретный экспериментальный материал. С этой целью в лаборатории сухого льда ВНИИХИ была проведена данная работа.

В первой серии опытов был экспериментально исследован процесс конденсации условно чистой  $\text{CO}_2$ . Эта часть работы опубликована ранее [2].

Ниже излагаются результаты исследований процесса конденсации двуокиси углерода из смеси ее с азотом.

Исследования проводили на той же установке, на которой были выполнены опыты с условно чистой  $\text{CO}_2$ .

Всего было проведено 58 опытов. Ниже приведены условия опытов:

Начальное объемное содержание азота, %	0,4—10,4
Скорость входа смеси:	
$w$ , м/сек	0,09—0,27
$w \gamma$ , кг/(м <sup>2</sup> · сек)	8—43
Re <sub>вх</sub>	7600—36700
Скорость выхода смеси:	
$w$ , м/сек	0,05—0,19
$w \gamma$ , кг/(м <sup>2</sup> · сек)	1,8—29
Re <sub>вых</sub>	1800—29000
Удельная тепловая нагрузка, ккал/(м <sup>2</sup> · ч)	1500—11500
Температурный напор, °С	4,8—13,8
Общее давление, кг/см <sup>2</sup>	51,87

Объектом испытания был выбран первый вариант конденсатора, состоящий из двух вертикальных стальных коаксиально расположенных труб  $D_{вн}=24,9/19$  мм,  $D_{нар}=42/32$  мм.

По внутренней трубе протекала охлаждающая среда (жидкий дихлорметан), в кольцевом зазоре — парогазовая смесь. Движение потоков принято параллельным один другому и направленным сверху вниз. Высота рабочего участка внутренней трубы была 1000 мм. Схема установки и чертеж конденсатора были описаны ранее [2]. Методика проведения опытов осталась почти неизменной.

Температуру парогазовой смеси в конденсаторе измеряли десятью термопарами, три из которых были расположены на подводящих и отводящих трубопроводах, непосредственно у конденсатора, а семь — на конденсаторе. Термопары вводили через термопатроны, в которых в качестве сальников был использован фторопласт-4.

Положение горячего спая термопары в рабочей среде фиксировалось на середине кольцевого зазора конденсатора ветеринарной иглой, укрепленной в термопатроне.

Количество сконденсированной CO<sub>2</sub>  $G_K$  определяли мерными бачками; общее количество циркулирующей парогазовой смеси  $G$  — расчетным путем, по расходу электроэнергии в грелке среднего из трех калориметров и нагреву смеси в этом калориметре.

Расход электроэнергии измерялся ваттметром ЭДВ, показания которого контролировались вольтметром ЭЛВ и амперметром ЭЛА (класс точности 0,2). Грелки и приборы включали через стабилизаторы напряжения СН и ЛАТР.

Общее давление смеси  $p$  измерялось образцовыми манометрами ОМ на 100 кг/см<sup>2</sup> (класс точности 0,35); содержание CO<sub>2</sub> в смеси  $\epsilon_{CO_2}$  — двумя химическими газоанализаторами на входе парогазовой смеси в конденсатор и на выходе из него одновременно.

Двуокись углерода загружалась в систему из газификатора сухого льда. Азот добавляли за несколько часов до снятия контрольных точек. Количество азота, необходимое для создания нужной концентрации смеси, определяли расчетным путем. Циркуляция парогазовой смеси осуществлялась мембранным компрессором.

В связи с большой металлоемкостью установки подготовка опыта и доведение режима до стационарного продолжались в течение нескольких часов (иногда 6—8 ч).

По полученным данным определялся общий средний «кажущийся» коэффициент теплоотдачи  $\bar{\alpha}_{каж}$

$$\bar{\alpha}_{каж} = \frac{\bar{q}_F}{\theta} \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град)},$$

где  $\bar{q}_F = \frac{\Sigma Q}{F}$  — общая средняя удельная тепловая нагрузка, ккал/(м<sup>2</sup> · ч);

$\Sigma Q = Q_1 + Q_2$  — общее количество тепла, переданное через поверхность конденсации, ккал/ч;

$Q_1 = G_K (i''_{CO_2} - i'_{CO_2})$  — количество тепла, воспринятого от CO<sub>2</sub> при ее охлаждении и конденсации, ккал/ч;

$Q_2 = (G - G_K) (i_{см.вх} - i_{см.вых})$  — количество тепла, воспринятого от несконденсировавшейся части CO<sub>2</sub> и азота, ккал/ч;

$G$  — общее количество парогазовой смеси, кг/ч;

$$G = \frac{Q_{кл}}{i_{см2} - i_{см1}} \text{ кг/ч},$$

при этом  $Q_{кл}$  — количество тепла, переданное смеси от электронагревателя калориметра, ккал/ч;

$i_{см1}, i_{см2}$  — энтальпии парогазовой смеси на входе и выходе из калориметра, ккал/кг;

$$i_{см} = x_{CO_2} i''_{CO_2} + x_{N_2} i''_{N_2} \text{ ккал/кг},$$

где  $x_{CO_2} = \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_{N_2}}{\epsilon_{CO_2}} \cdot \frac{M_{N_2}}{M_{CO_2}}}$ ,

$x_{N_2} = 1 - x_{CO_2}$  — весовая концентрация компонентов на входе и выходе из калориметра;

$i''_{CO_2}, i''_{N_2}$  — энтальпии компонентов на входе и выходе из калориметра (определяли по общему давлению и температуре смеси на входе и выходе из калориметра), ккал/кг;

$i_{см.вх}, i_{см.вых}$  — энтальпии смеси на входе и выходе из конденсатора (эти величины находили расчетным путем по общему давлению и температуре смеси на входе и выходе из конденсатора и по концентрации компонентов смеси на входе в конденсатор), *ккал/кг*;

$\theta = \bar{t}_{см} - \bar{t}_{ст}$  — средний температурный напор, °C;

где  $\bar{t}_{см}$  — средняя температура смеси в середине потока ( $\bar{t}_{см}$  определяли планиметрированием эюры, дающей изменение температуры смеси по высоте трубки);

$\bar{t}_{ст}$  — средняя температура наружной поверхности стенки трубки (находили планиметрированием эюры, построенной по измерениям температуры стенки трубки десятью термопарами с учетом поправки на глубину заложения термопар), °C.

Кроме того, определяли коэффициент массоотдачи по формуле

$$\bar{\beta} = \frac{G_K}{F \Delta \bar{p}_{CO_2}} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{атм} \cdot \text{ч}),$$

где  $\Delta \bar{p}_{CO_2} = \bar{p}_{CO_2} - (\bar{p}_{CO_2})_{гр}$  атм;

$\bar{p}_{CO_2}$  — давление пара  $CO_2$  в основной массе смеси определяли по формуле

$$\bar{p}_{CO_2} = \left( \frac{\bar{p} [\epsilon_{CO_2, вх} + \epsilon_{CO_2, вых}]}{2} \right), \text{ кг}/\text{см}^2;$$

$(\bar{p}_{CO_2})_{гр}$  — давление  $CO_2$  на поверхности пленки конденсата (эту величину определяли по графику зависимости  $p = f(\bar{t}_{гр})$  для насыщенного пара  $CO_2$ , соответственно  $\bar{t}_{гр} =$

$$= \bar{t}_{ст} + \frac{\bar{q}_F}{\alpha_{(CO_2)II}} \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ атм},$$

где  $\alpha_{(CO_2)II}$  — коэффициент теплоотдачи при конденсации условно чистой  $CO_2$  при данной  $\bar{q}_F$ , найденный во второй серии опытов на этом же экспериментальном конденсаторе [2].

Для сопоставления с выводами других авторов опытные данные были представлены в критериальном виде, для чего были вычислены:

$$Nu_D = \frac{\bar{\beta} H}{D_p};$$

$$Pr = \frac{\mu_{см.вх} g \cdot 3600}{D_p \gamma_{см.вх}};$$

$$\pi_g = \frac{\Delta \bar{p}_{CO_2}}{p};$$

$$Re = \frac{(\omega \gamma)_{см} d_{экв}}{g \mu_{см}}.$$

$$\text{Здесь } D_p = \frac{0,00155 T^{3/2}}{p (v_{CO_2}^{1/3} + v_{N_2}^{1/3})} \sqrt{\frac{1}{M_{CO_2}} + \frac{1}{M_{N_2}}} -$$

коэффициент диффузии  $CO_2$  в азоте [3],  $\text{м}^2/\text{ч}$ ;

$v_{CO_2}, v_{N_2}$  — молекулярные объемы;

$M_{CO_2}, M_{N_2}$  — молекулярные веса компонентов;

$$\mu_{см} = \frac{1}{\frac{\epsilon_{CO_2}}{\mu_{CO_2}} + \frac{\epsilon_{N_2}}{\mu_{N_2}}} \text{ — вязкость смеси, кг} \cdot \text{сек}/\text{м}^2;$$

$\epsilon_{CO_2}, \epsilon_{N_2}$  — объемная концентрация компонентов смеси, доли единицы;

$\mu_{CO_2}, \mu_{N_2}$  — вязкость  $CO_2$  [4] и  $N_2$  [5] при общем давлении смеси  $p$  и температуре на входе и выходе смеси.

### Результаты опытов

Во время визуальных наблюдений характер движения пленки конденсата был таким же, что и в первой серии опытов. Поверхность пленки была всегда покрыта рябью.

Жидкая  $CO_2$  стекала не только пленкой, но и струйками, которые вверху трубки были параллельны пленке. На разной высоте трубки струйки имели разную толщину. На верхнем участке они были очень тонкими, на нижнем становились толще, при этом число их увеличилось и течение становилось хаотичнее.

На некотором расстоянии от верха трубки, меняющемся в зависимости от режима, струйки отскакивали в виде больших капель.

На нижнем отрезке трубы отдельных струек не было видно, жидкая  $CO_2$  стекала в виде сплошной толстой бурлящей пленки.

В зависимости от режима опыта интенсивность образования струек была разной. При малых тепловых нагрузках и незначительных скоростях парогазовой смеси струйки были едва заметны.

По мере увеличения тепловой нагрузки и соответственно скорости газа толщина и хаотичность стекания струек увеличивались. Все вы-