

Нет автора

Журнал Холодильная техника 1969 года №7

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.3
ББК 31.352
Н57

Н57 **Нет автора**
Журнал Холодильная техника 1969 года №7 / Нет автора – М.: Книга по Требованию, 2021. – 64 с.

ISBN 978-5-458-64669-7

ISBN 978-5-458-64669-7

© 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.

Эта страница оригинала содержит
исключительно социалистическую
пропаганду, которая на сегодняшний
день не представляет никакой
научно-практической ценности

Автономные рефрижераторные вагоны

В. В. СКРИПКИН

Главное управление вагонного хозяйства МПС СССР,

Л. Д. ШТЕЙНБЕРГ

Институт комплексных транспортных проблем
при Госплане СССР

625.244

Значительная часть скоропортящихся грузов (до 70%) предъявляется к перевозке по железной дороге партиями весом 25—30 т. В связи с этим, начиная с 1961 г., приступили к созданию автономных рефрижераторных вагонов с автоматизированным дизельно-холодильным оборудованием.

Опытные образцы автономных рефрижераторных вагонов были построены по техническому заданию Министерства путей сообщения СССР заводом в Дессау (ГДР). С 1966 г. после проведенных в СССР испытаний и конструктивной отработки началось массовое производство таких вагонов.

В настоящее время эксплуатационный парк состоит из автономных вагонов с кузовом длиной 19 м. Конструируются вагоны с кузовом длиной 21 м, что позволит максимально унифицировать автономный вагон с грузовым вагоном 5-вагонной рефрижераторной секции.

При создании автономных вагонов учитывались достижения в области холодильной техники и энергетики, а также предусматривалась возможность перевозки всех видов скоропортящихся грузов летом и зимой.

Техническая характеристика автономных вагонов

	Вагон с кузовом длиной 19 м	Вагон с кузовом длиной 21 м (опытный образец)
Длина по осям автосцепки, мм	20080	22200
Размеры, мм		
кузова (наружные)		
длина	19000	21000
ширина		3100
грузового помещения (полезные)		
длина	15400	17520
ширина	2600	2615
высота (посередине)		2545
Размеры (полезные) грузового помещения		
площадь, м ²	40,3	45,5
объем, м ³	89	100
Грузоподъемность, т	40	39
Толщина теплоизоляции (полистирол) кузова, мм		
пол	106	135
стены		200
крыша		200—250

Расчетная температура, °C		
в грузовом помещении	от +14 до —18	
наружного воздуха	от —45 до +40	
Мощность (общая) дизель-генераторных установок, кВт	26,4	
Число установок		
дизель-генераторных	2	
холодильных	2	
Холодопроизводительность (общая) холодильных установок при температуре кипения —15°C и конденсации 40°C, ккал/ч	16000	
Холодильный агент	Фреон-12	
Резерв холодопроизводительности в режиме перевозки мороженных грузов, %	20	—
Коэффициент рабочего времени холодильных установок в режиме перевозки мороженных грузов	0,9	1,0
Мощность электрических печей, кВт		6
Коэффициент теплопередачи кузова, отнесенный к средней поверхности ограждения, ккал/(м ² ·ч·град)	0,236	0,282

Оборудование автономных вагонов рассчитано на поддержание в грузовом помещении температуры от —18 до +14°C при температуре наружного воздуха от +40 до —45°C и охлаждение плодов и овощей с 30 до 4°C за 60 ч.

Оборудование подобрано с учетом повышения в процессе эксплуатации коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций кузова вагона до 0,4 ккал/(м²·ч·град).

Кузов несущий, цельнометаллический, пол покрыт листовой резиной. Ходовые части, автосцепное и тормозное оборудование позволяют составу, сформированному из таких вагонов, следовать со скоростью до 120 км/ч.

Размещение оборудования показано на рис. 1.

Холодильная установка расположена на общей выдвижной раме, что позволяет легко демонтировать холодильный агрегат.

Для обеспечения циркуляции и равномерного распределения температуры воздуха в грузовом помещении со стороны испарителей установлены вентиляторы с электрическим при-

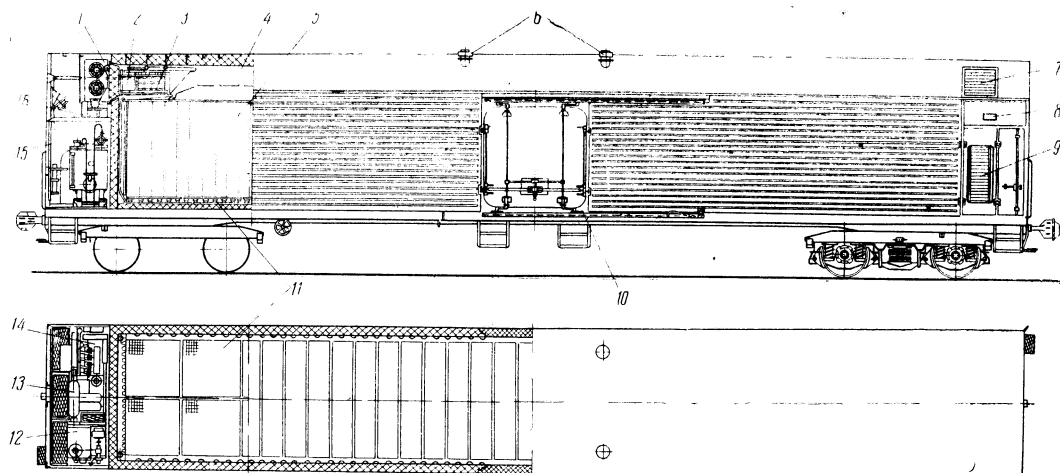


Рис. 1. Размещение оборудования в автономном рефрижераторном вагоне:
 1 — холодильный агрегат; 2 — вентиляторы; 3 — испаритель; 4 — полость промежуточного потолка; 5 — металлическая обшивка грузового помещения; 6 — дефлекторы; 7 — жалюзи канала охлаждающего воздуха конденсатора; 8 — сигнальные лампы; 9 — жалюзи канала охлаждающего воздуха дизеля; 10 — дверь грузового помещения; 11 — напольные решетки; 12 — топливный бак; 13 — котел для обогрева дизеля в зимнее время; 14 — дизель-генераторный агрегат; 15 — машинное отделение; 16 — распределительный щит.

водом, а боковые стены выполнены из стальных гофрированных листов.

Свежий воздух подается в грузовое помещение по воздушному каналу через жалюзи в торцовых стенах. Для удаления воздуха предусмотрены два дефлектора.

Схема холодильной установки приведена на рис. 2. Бессальниковый двухступенчатый компрессор имеет четыре V-образно расположенных цилиндра. Мощность электродвигателя 7 квт. Корпуса компрессора и электродвигателя, изготовленные из легкого сплава, снабжены ребрами жесткости, покрыты эпоксидной смолой, предохраняющей от коррозии и создающей уплотнение от утечек фреона.

Конденсатор трехсекционный, воздушного охлаждения, пластинчатого типа, общей поверхностью 72 м². Испаритель четырехсекционный, поверхностью 64 м².

Привод холодильных установок и других потребителей осуществляется двумя дизель-генераторными установками трехфазного тока напряжением 380 в. Дизель-генератор, топливный бак и другое оборудование смонтированы на фундаментной раме в виде закрытого блока, который при необходимости можно извлечь через отверстие в боковой стене вагона. Дизель четырехтактный, с воздушным охлаждением, мощностью 27,5 л. с. при 1500 об/мин. Дизель-генераторные установки защищены от превышения температуры охлаждающего воздуха, перегрузки генератора и падения давления в системе смазки.

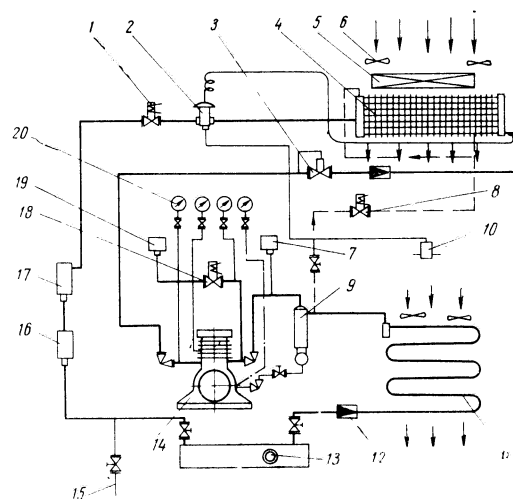


Рис. 2. Схема холодильной установки:
 1 — жидкостный магнитный вентиль; 2 — терморегулирующий вентиль; 3 — регулятор давления всасывания; 4 — испаритель; 5 — электронагреватель; 6 — вентиляторы; 7 — реле максимального давления; 8 — магнитный вентиль на трубопроводе для оттаивания испарителя; 9 — маслоотделитель; 10 — прессостат для оттаивания испарителя; 11 — конденсатор; 12 — обратный клапан; 13 — ресивер со смотровым стеклом; 14 — компрессор; 15 — трубопровод для заправки фреоном; 16 — фильтр-осушитель; 17 — фильтр; 18 — байпасный магнитный вентиль; 19 — реле минимального давления; 20 — манометры.

При длительных стоянках питание может осуществляться от внешней сети, для чего на горцовой стене вагона установлена розетка.

К электрическому оборудованию вагона относятся также электродвигатели вентиляторов конденсаторов, испарителей и машинных отделений, электрические печи для обогрева грузового помещения и поддонов, электрическая аппаратура для автоматического управления работой холодильных и дизель-генераторных установок, переключатели температурного режима, приборы сигнализации, защиты и др.

Схема цепей управления и сигнализации дизель-генераторных установок работает в двух режимах: непрерывном и временном (обычно в начале перевозки) — с автоматическим выключением одного или двух дизель-генераторов при достижении заданной температуры в грузовом помещении. Пуск дизеля может осуществляться и вручную.

Работа холодильной и отопительной установок управляется переключателем, к которому подсоединены три термостата и три дуостата.

Температуры, на которые отрегулированы эти приборы, приведены в таблице.

Приборы	Температура, °С	
	вагон с кузовом длиной 14 м	вагон с кузовом длиной 21 м
Термостат	—12	—12
	—20	—20
	—	+11
Дуостат	+12	+11
	+ 4	+ 3
	—	— 2

После запуска дизель-генераторных установок, независимо от режима работы (охлаждение или отопление), включается вентилятор испарителя. Если при перевозке грузовое помещение охлаждается до температуры выше требуемой, включается магнитный байпасный клапан и через 6 мин электродвигатель компрессора. Затем через 60—90 сек клапан вы-

ключается и компрессор переходит на режим с полной нагрузкой. При достижении давления в конденсаторе 8 *ати* с помощью прессостата включаются электродвигатели вентиляторов конденсатора.

Если в грузовом помещении температура окажется ниже установленной, контакты термостата размыкаются, электродвигатели компрессора и одного вентилятора испарителя останавливаются. Вентиляторы конденсатора работают до тех пор, пока давление конденсации не снизится до 6 *ати*. Холодильная установка может выключаться также при срабатывании прессостата, отрегулированного на давление 16 *ати*.

Кроме автоматической, предусмотрена работа холодильной установки в режиме непрерывного охлаждения, а также автоматического оттаивания инея на воздухоохладителе. В последнем случае с помощью прессостата и магнитного клапана открывается доступ горячих паров фреона в испаритель и включается электроотопление поддона испарителя. Вентиляторы испарителя и конденсатора выключаются, что сокращает время оттаивания до 60 мин.

Температура в вагоне измеряется термометрами сопротивления, которые установлены в местах входа воздуха в грузовое помещение и выхода из него.

В настоящее время автономные вагоны эксплуатируются на кавказском направлении для перевозки скоропортящихся грузов в Москву и Ленинград.

Для обеспечения обслуживания и технического содержания автономных вагонов на этом направлении создана соответствующая техническая база: рефрижераторное депо, к которому приписаны вагоны для плановых ремонтов и укрупненных технических осмотров оборудования, а также линейные пункты технического осмотра и обслуживания (оборудование проверяют через каждые 12—24 ч его работы).

Внедрение на железнодорожном транспорте автономных рефрижераторных вагонов позволит полнее удовлетворить потребности народного хозяйства в средствах для перевозки скоропортящихся грузов.

Эксплуатация на судах холодильных машин с бессальниковыми компрессорами

Л. П. ГРИШУТКИНА, И. К. САВИЦКИЙ
ВНИИХолодмаш

621.574:629.123.44

В 1963 г. ВНИИХолодмашем для малых рыболовных траулеров-рефрижераторов (МРТР) типа «Карелия» была разработана холодильная установка непосредственного охлаждения, состоящая из двух холодильных машин с бессальниковыми компрессорами, агрегатированными с конденсаторами.

Холодильные машины работают независимо друг от друга. Одна из них предназначена для поддержания в трюме (емкостью 100 м³), где в бочках хранится пересыпанная льдом выловленная рыба, температуры воздуха —2÷—4°C, а вторая — для приготовления в льдогенераторе чешуйчатого льда (130 кг/ч) из морской воды.

Выбор в качестве холодильного агента фреона-12 позволил разместить холодильное оборудование в общем машинном отделении судна (рис. 1). Для малотоннажных судов это имеет большое значение, так как увеличивает объем грузовых помещений.

На рис. 2 показана схема холодильной установки.

Агрегат типа МАКБ12 системы охлаждения трюма состоит из бессальникового четырехцилиндрового компрессора 2 типа ФУБС12 холодопроизводительностью 12 тыс. ккал/ч (при 1440 об/мин) и кожухотрубного конденсатора 1, четырехходового по воде, с ресиверной частью емкостью 45 л. Для увеличения надежности и коррозионной стойкости в конденсаторе применены накатные трубки из сплава МНЖМц-30-1-1, развальцованные в латунных трубных досках.

Воздух в трюме охлаждается двумя воздухоохладителями 8 поверхностью по 40 м². В верхней части каждого воздухоохладителя находится паровой коллектор. Жидкий фреон подается через распределитель в нижний ряд медных трубок с латунными ребрами (толщина ребра 0,5 мм; шаг ребер переменный, от 16 до 8 мм по направлению движения воздуха). Фреон дросселируется через терморегулирующий вентиль 10 типа ТРВК-10. Охлажденный воздух распределяется в трюме по каналам.

Регенеративный теплообменник 5 — с двухзаходным змеевиком из гладких медных труб.

Фильтр-осушитель 7 с силикагелевым патроном включен в систему последовательно.

Агрегат типа МАКБ25 системы льдогенератора состоит из бессальникового восьмицилиндрового компрессора 18 типа ФУУБС25 холодопроизводительностью 25 тыс. ккал/ч (при 1440 об/мин) и кожухотрубного конденсатора 19 с ресиверной частью емкостью 70 л. Конструкции компрессора, конденсатора, а также теплообменника 16 и фильтра-осушителя 13 аналогичны соответствующим конструкциям системы охлаждения трюма. Перед всасывающим вентилем компрессора ФУУБС25 находится газовый фильтр 17. Холодильный агент подается в льдогенератор 11 двумя терморегулирующими вентилями 12 и 15 типа ТРВК-20, включенными параллельно.

В случае выхода из строя агрегата МАКБ12 агрегат МАКБ25 может быть подключен к системе охлаждения трюма. Для этой цели на линиях всасывания и подачи жидкого холодильного агента имеются мосты переключения.

Холодильная машина, работающая на трюм, автоматизирована. Первоначальный пуск производится вручную. Регулирование холодопроизводительности в целях поддержания в трюме требуемой температуры воздуха (—2÷—4°C) достигается цикличной работой компрессора с помощью термореле 9 типа ТРДК-3, чувствительный патрон которого находится непосредственно в трюме. Одновременно термореле управляет соленоидным вентилем 6, предотвращающим перетекание фреона в воздухоохладители при остановке компрессора. Для автоматической защиты системы от чрезмерного повышения или понижения давления служат реле давлений 3 и 4 типа РД-2К-03 и РД-1К-01.

Снеговая шуба с оребренной поверхности воздухоохладителей удаляется автоматически. Периодическим включением электронагревательных элементов, равномерно размещенных по всей поверхности воздухоохладителей, управляет двухпрограммное реле времени 2РВМ. Снеговая шуба снимается за 26—28 мин (на первых судах МРТР снеговую

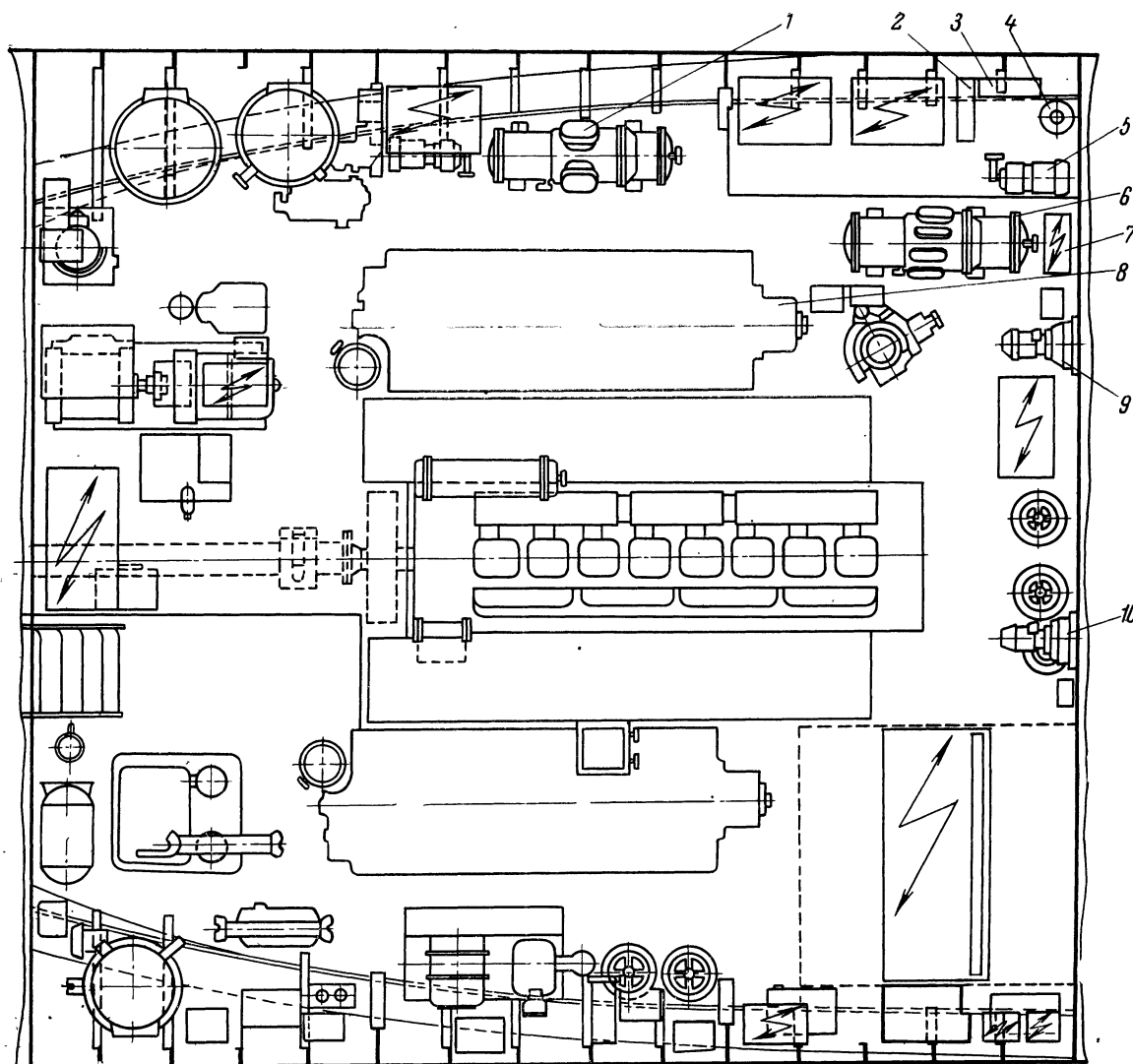


Рис. 1. Размещение холодильного оборудования в машинном отделении судна:
1 — агрегат МАКБ12; 2, 3 — щит фреоновый аппаратурный; 4 — баллон с фреоном; 5 — электронасос подачи воды на конденсатор; 6 — агрегат МАКБ25; 7 — щит освещения; 8 — дизель-генератор; 9, 10 — электровентиляторы воздухоохладителей.

шубу оттаивали горячими парами фреона; процесс длился 4—6 ч).

Холодильная машина льдогенератора пускается и останавливается вручную. Автоматизировано отключение соленоидного вентиля 14 при остановке компрессора. Кроме того, предусмотрена автоматическая защита системы от чрезмерного повышения или понижения давления с помощью реле давлений РД-2К-03 и РД-1К-01.

Характеристики бессальниковых компрессоров при работе на фреоне-12 были получены в результате испытаний их на калориметрическом стенде Мелитопольского завода холо-

дильного машиностроения им. 30-летия ВЛКСМ¹.

Применение бессальниковых компрессоров позволило повысить надежность судовой холодильной установки.

С 1965 г. (ввод в эксплуатацию) до середины 1968 г. на головном судне «Карелия» компрессор ФУБС12 проработал 9300, а компрессор ФУУБС25 — 4500 ч; на траулере МРТР-3, вступившем в эксплуатацию на год

¹ Мельников А. Я. Фреоновые компрессоры Мелитопольского завода. холодильного машиностроения, «Холодильная техника», 1965, № 1.

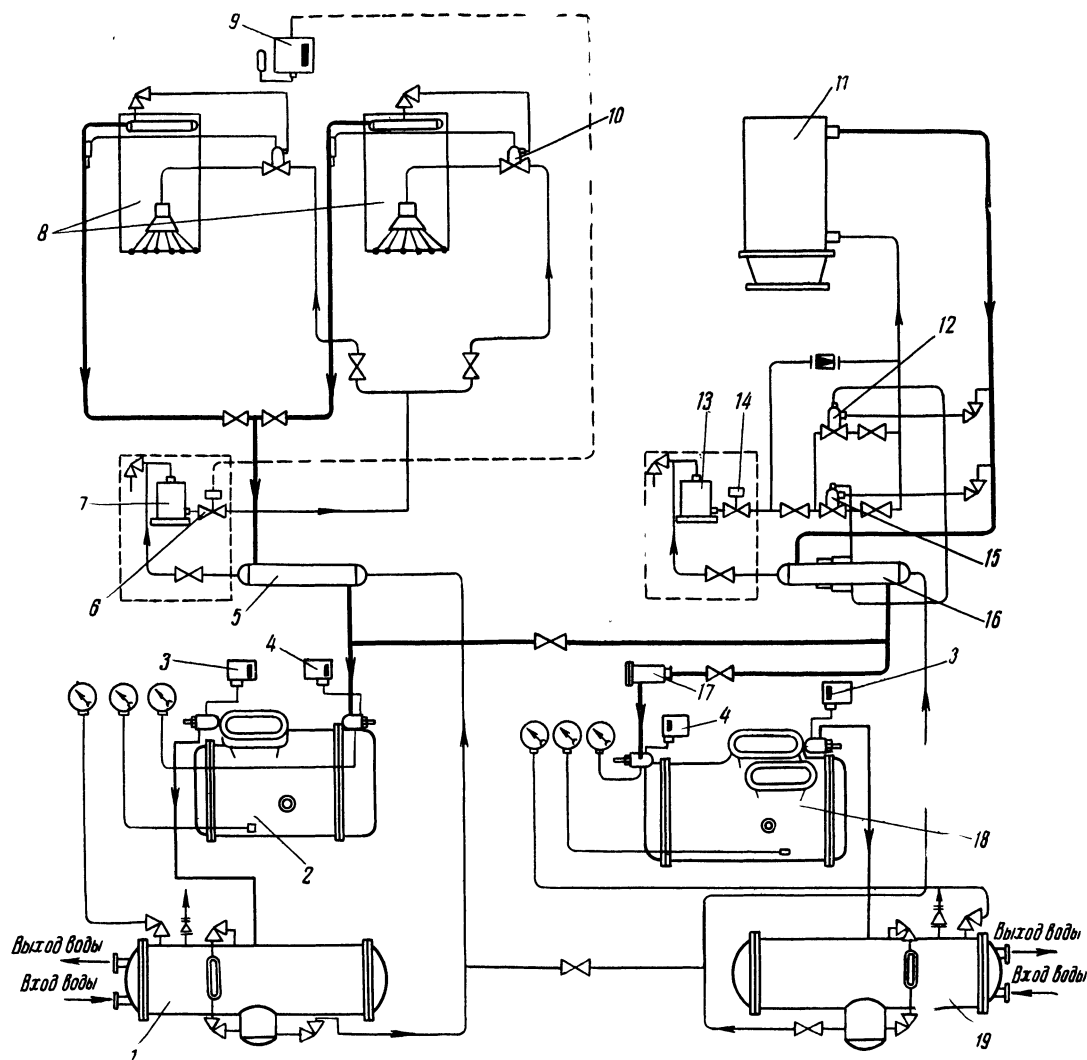


Рис. 2. Схема холодильной установки.

позже, компрессор ФУБС12 проработал 6800, а компрессор ФУУБС25 — 3800 ч. За это время дефектов, связанных с применением встроенных электродвигателей, характерных для конструкций бессальниковых компрессоров, не наблюдалось. Дефекты, которые были обнаружены в работе компрессоров (например поломки пластин клапанов при заливе компрессора, в основном из-за неправильного режима работы установки), присущи также и сальниковым компрессорам.

При эксплуатации выявился недостаток конструкции бессальниковых компрессоров: размещение люковых крышек снизу картера компрессора затрудняло ремонт шатунно-

поршневой группы. В последних конструкциях бессальниковых компрессоров ФУБС12 и ФУУБС25 люковые крышки стали располагать с боковых сторон, что позволяет производить ремонт, не снимая компрессор с агрегата.

В некоторых судовых холодильных установках используются также компрессоры бессальниковой конструкции типа ФВБС4, двухцилиндровые, вертикальные, которые служат для охлаждения провизионных камер.

Опыт эксплуатации холодильных машин с бессальниковыми компрессорами показал перспективность их широкого применения в судовых холодильных установках.

Система автоматического регулирования судового кондиционера

Г. С. ЯКИМЕНКО
Проектное бюро «Теплотехник»

621.56—52

Исследования и практика работы с системами автоматического регулирования (САР) центральных судовых кондиционеров, построенными на приборах, не учитывающих особенностей кондиционеров как объектов регулирования, показывают, что они неработоспособны в диапазоне нагрузок 0—30% (примерно 40% времени работы в течение года) из-за нарушения устойчивости или ухудшения точности регулирования.

Особенности центральных кондиционеров состоят в быстроедействии, большом различии динамических характеристик входной и выходной емкостей, необходимости поддержания параметров воздуха на выходе в диапазоне нагрузок 0—100% при резко выраженной нелинейной зависимости коэффициента усиления объекта регулирования (кондиционера) от нагрузки и других возмущений. Это приводит к тому, что применяемые в настоящее время электромеханические и пневматические системы автоматики не обеспечивают нужных показателей качества САР кондиционеров.

Кроме того, САР на общепромышленных приборах не удовлетворяют современным требованиям: частые ремонты, необходимость квалифицированного обслуживания, высокая стоимость, низкое качество регулирования при малых нагрузках.

Между тем для систем кондиционирования могут быть созданы простые, надежные и недорогие эффективные регулирующие приборы, которые не нуждаются в обслуживании и имеют требуемые динамические характеристики.

К современным приборам, которые могут применяться для автоматизации кондиционеров, следует отнести в первую очередь пропорциональные регуляторы температуры ряда зарубежных фирм. Однако они не обеспечивают соответствующих показателей качества регулирования во всем диапазоне нагрузок (0—100%), поскольку не удастся получить требуемую зону пропорциональности. Получение нужной зоны пропорциональности в обычных системах по отклонениям тоже не решает вопроса, так как при нагрузках <30% САР с таким регулятором теряет устойчивость.

В связи с этим предлагается комбинированный регулятор с использованием энергии

регулируемой среды, сущность которого состоит в совмещении в одном приборе нелинейной части регулятора НР по возмущению, компенсирующей основное возмущение (нагрузка, изменяющаяся в пределах 0—100%), с линейной частью регулятора ЛР по отклонению регулируемого параметра, компенсирующей влияние остальных возмущений (G_p , θ_1 , V), незначительных по величине (3—12% нагрузки) и имеющих случайный характер воздействия.

Блок-схема нелинейной инвариантной САР кондиционера с комбинированным регулятором приведена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, основное возмущение по нагрузке t_1 компенсируется нелинейной частью регулятора по возмущению, характер которого и пределы изменения примерно известны.

Возмущения G_p , θ_1 , V компенсируются линейным регулятором по отклонению. Поскольку общая величина этих возмущений составляет примерно 15% от нагрузки, т. е. от основного возмущения, можно увеличить зону пропорциональности ЛР и таким образом сохранить устойчивость САР. Нелинейная часть регулятора не влияет на устойчивость, так как работает по разомкнутому циклу.

Таким образом, комбинированный регулятор позволяет получить высокую точность и быстроедействие системы при сохранении устойчивости САР.

Уравнение регулятора определяли путем исследования системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамику центрального кондиционера КЦ.

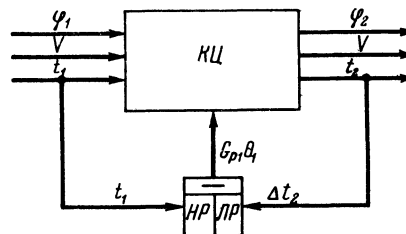


Рис. 1. Блок-схема нелинейной инвариантной САР кондиционера с комбинированным регулятором.

Кондиционер, предназначенный для работы в летнем режиме, состоит из поверхностного рассольного воздухоохладителя с количественным регулированием и электроventилатора с постоянным числом оборотов.

Рассол из промежуточного бака подается насосом к воздухоохладителю кондиционера. Температура рассола в баке поддерживается постоянной; емкость бака достаточно велика, поэтому влиянием холодильного цикла на динамические свойства охладителя можно пренебречь.

Учитывая сказанное, динамику кондиционера можно рассматривать как динамику воздухоохладителя при условии пренебрежения тепловыми потерями в окружающую среду ($\sim 0,5\%$), тепловой емкостью воздуха в камере за воздухоохладителем (по ходу воздуха) и количеством тепла, аккумулируемого корпусом кондиционера.

Эти допущения можно считать обоснованными, поскольку корпус кондиционера хорошо изолирован (поролон толщиной 80 мм), камера небольшого размера ($0,94 \times 0,75 \times 0,5$ м) и, следовательно, имеет малую теплоемкость по воздуху, чувствительный элемент регулятора температуры установлен в потоке воздуха, выходящего из воздухоохладителя, в связи с чем незначительные изменения температуры воздуха по периметру потока датчиком не воспринимаются. Предполагается, что корпус кондиционера в переходном процессе системы автоматического регулирования не участвует, кроме того, тепловой поток в окружающую среду стационарен и зависит в основном от температуры окружающей среды, которая изменяется медленно и в незначительных пределах.

Динамика воздухоохладителя описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, которые получены путем теоретического анализа процессов тепло- и массообмена и установления закономерностей изменения входных и выходных координат.

Для упрощения анализа воздухоохладитель делится на три тепловые емкости: воздушного потока; металла трубок и оребрения; потока рассола.

При этом предполагается, что каждая емкость — это элемент с осредненными сосредоточенными параметрами; движение ее координат описывается дифференциальным уравнением первого порядка в полных производных.

При составлении уравнений принято, что значение параметра, характеризующего тепловую емкость воздуха, среднелогарифмическое (обусловлено перепадом температур входящего и выходящего воздуха $\sim 25^\circ\text{C}$), а температура поверхности теплообменника не меняется

по глубине и осреднена. Такое допущение принято с учетом того, что перепад температур по глубине теплообменника составляет всего $\sim 1,5^\circ\text{C}$.

Значение параметра, характеризующего тепловую емкость потока рассола, принято среднелогарифмическим. Погрешность такого допущения невелика, так как перепад температур по рассолу $\sim 4-5^\circ\text{C}$.

Принятые допущения можно считать обоснованными, поскольку длина секции охладителя не превышает 190 мм, а трубы омываются поперечным потоком воздуха.

Для этих допущений система уравнений имеет вид

$$\frac{dt_2}{d\tau} = \frac{V(i_1\gamma_1 - i_2\gamma_2) - \alpha_B F \Delta t \ln - V_0 \gamma_y \times}{V_0 \gamma_y \frac{\partial i_y}{\partial t_2}} \rightarrow \times \left(\frac{\partial i_y}{\partial t_1} \cdot \frac{dt_1}{d\tau} + \frac{\partial i_y}{\partial \varphi_1} \cdot \frac{d\varphi_1}{d\tau} + \frac{\partial i_y}{\partial \vartheta} \cdot \frac{d\vartheta}{d\tau} \right) \cdot \quad (1)$$

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = \frac{-\alpha_P F_P (2\vartheta - \theta_1 - \theta_2) + 2\alpha_B F \Delta t \ln}{2G_{cc} c_c} \quad (2)$$

$$\frac{d\theta_2}{d\tau} = \frac{\alpha_P F_P (2\vartheta - \theta_1 - \theta_2) - 2G_P c_P (\theta_2 - \theta_1)}{G_{P0} G_P} - \frac{d\theta_1}{d\tau} \quad (3)$$

В уравнениях (1—3)

t_2 — температура воздуха на выходе из кондиционера, $^\circ\text{C}$;

V — объемный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

i_1, i_2 — теплосодержание воздуха на входе и выходе, $\text{ккал}/\text{кг}$;

γ_1, γ_2 — плотность воздуха на входе и выходе, $\text{кг}/\text{м}^3$;

α_B — коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$;

F — поверхность теплообмена со стороны воздуха, м^2 ;

$\Delta t \ln$ — среднелогарифмический температурный напор между воздухом и теплообменной поверхностью, $^\circ\text{C}$;

V_0 — объем воздуха, заполняющего охладитель, м^3 ;

γ_y — плотность воздуха, соответствующая среднелогарифмической температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$;

i_y — теплосодержание воздуха в процессе теплообмена, соответствующее среднелогарифмической температуре, $\text{ккал}/\text{кг}$;

t_1 — температура воздуха на входе в кондиционер, $^\circ\text{C}$;

φ_1 — относительная влажность воздуха на входе, %;

ϑ — температура стенки, °C;

α_p — коэффициент теплоотдачи от рассола к стенке, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$;

F_p — поверхность теплообмена со стороны рассола, м^2 ;

θ_1, θ_2 — температура рассола на входе в теплообменник и выходе из него, °C;

G_c — вес теплообменной поверхности, кг ;

c_c — теплоемкость стенки, $\text{ккал}/(\text{кг} \times \text{град})$;

G_{p0} — количество рассола, заполняющего теплообменник, кг ;

G_p — расход рассола, $\text{кг}/\text{ч}$;

c_p — теплоемкость рассола, $\text{ккал}/(\text{кг} \times \text{град})$.

Коэффициенты уравнения нелинейны, так как зависят от переменных системы.

Исследование системы уравнений (1—3) методами теории нелинейных инвариантных систем позволяет определить дифференциальное уравнение нелинейной части регулятора по возмущению.

Компенсация возмущений в нелинейных автоматических системах значительно более сложна, чем в линейных.

Можно выделить в основном три метода [1, 2], каждый из которых тем не менее не решает поставленной задачи компенсации возмущений в нелинейных автоматических системах.

Здесь наиболее приемлем первый метод — совместное решение уравнений и приравнивание нулю отклонений координаты t_2 динамической системы, обусловленных влиянием возмущений, t_1 .

Обычна следующая постановка задачи [3]: задана система нелинейных дифференциальных уравнений в форме Коши, описывающая движение динамической системы.

Перепишем систему уравнений (1—3), обозначив правые части функциями f_1, f_2, f_3 соответствующих переменных:

$$\frac{dt_2}{d\tau} = f_1(t_1, t_2, \varphi_1, \vartheta, \frac{dt_1}{d\tau}, \frac{d\vartheta}{d\tau}, \frac{d\varphi_1}{d\tau}), \quad (4)$$

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = f_2(t_1, t_2, \vartheta, \theta_1, \dot{\varphi}_1, \theta_2, G_p), \quad (5)$$

$$\frac{d\theta_2}{d\tau} = f_3(\theta_1, \theta_2, \vartheta, G_p). \quad (6)$$

Требуется определить уравнение нелинейного компенсирующего устройства, чтобы удовлетворялись условия инвариантности координаты

системы t_2 от внешнего возмущения t_1 , действующего на систему,

$$\frac{dG_{pн}}{d\tau} = \psi \left(t_1, G_{pн}, \frac{dt_1}{d\tau}, \frac{d^2 t_1}{d\tau^2}, \frac{d^3 t_1}{d\tau^3}, \frac{d\vartheta}{d\tau}, \frac{d^2 \vartheta}{d\tau^2}, \frac{d^3 \vartheta}{d\tau^3} \right), \quad (7)$$

где $G_{pн}$ — расход рассола, обусловленный воздействием нелинейной части регулятора, $\text{кг}/\text{ч}$.

Функции f_i и ψ непрерывны по всем аргументам в области их изменения и дифференцируемы достаточное число раз. Вид функции ψ определяют путем решения системы (4—7).

Для этого систему уравнений (4—7) записывают в вариациях, разложив правые части уравнений в ряд Тейлора и сохранив линейные члены [3, 4], при этом полагают $\varphi_1, \theta_1, V = \text{const}, \delta t_2 \equiv 0, \tau \geq 0$.

Уравнение нелинейного регулятора по возмущению представляется в виде (при нулевых начальных условиях)

$$\begin{aligned} \psi_{G_{pн}^{(1)}} \frac{dG_{pн}}{d\tau} + \psi_{G_{pн}} G_{pн} &= \psi_{t_1^{(1)}} \frac{dt_1}{d\tau} + \\ &+ \psi_{t_1} t_1 + \psi_{t_1^{(2)}} \frac{d^2 t_1}{d\tau^2} + \psi_{t_1^{(3)}} \frac{d^3 t_1}{d\tau^3} + \psi_{\vartheta^{(1)}} \frac{d\vartheta}{d\tau} + \\ &+ \psi_{\vartheta^{(2)}} \frac{d^2 \vartheta}{d\tau^2} + \psi_{\vartheta^{(3)}} \frac{d^3 \vartheta}{d\tau^3}. \end{aligned} \quad (8)$$

Коэффициенты уравнения являются функциями частных производных по переменным системы (4—7).

Из уравнения (8) видно, что для выполнения условий абсолютной инвариантности координаты относительно возмущения t_1 необходимо ввести в НР отклонение по первой, второй и третьей производным от возмущения t_1 и переменной ϑ .

Приняв более широкие допущения при составлении системы уравнений (1—3), а именно, что значения параметров, характеризующие тепловые емкости потока воздуха, металлической стенки теплообменника и потока рассола равны соответствующим значениям их на выходе, т. е. t_2, ϑ, θ_2 , и применив тот же метод исследования, получим следующее уравнение нелинейного регулятора по возмущению:

$$\begin{aligned} \psi_{G_{pн}^{(1)}} \frac{dG_{pн}}{d\tau} + \psi_{G_{pн}} G_{pн} &= \psi_{t_1^{(2)}} \frac{d^2 t_1}{d\tau^2} + \\ &+ \psi_{t_1^{(1)}} \frac{dt_1}{d\tau} + \psi_{t_1} t_1. \end{aligned} \quad (9)$$

В отличие от уравнения (9) в уравнение (8) входят динамические члены