

Нет автора

Журнал Холодильная техника 1966 года №10

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.3
ББК 31.352
Н57

Н57 **Нет автора**
Журнал Холодильная техника 1966 года №10 / Нет автора – М.: Книга по Требованию, 2021. – 63 с.

ISBN 978-5-458-64605-5

ISBN 978-5-458-64605-5

© 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.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Канд. техн. наук В. Б. ЯКОБСОН — Всесоюзный научно-исследовательский институт холодильной промышленности

В Советском Союзе проектируются и изготавливаются малые холодильные компрессоры различных типов — герметичные, открытые, бессальниковые, экранированные, поршневые, ротационные, электродинамические, работающие на фреоне-12, фреоне-22 и т.д. Такое же разнообразие компрессоров наблюдается и за рубежом. Для оценки изготавливаемых машин и выбора наиболее перспективных путей развития следует определить их технический уровень и сравнить с уровнем лучших зарубежных образцов.

Для этого необходимо установить основные показатели качества и правильно выбрать образцы для сравнения.

Наиболее представительными зарубежными образцами являются компрессоры фирмы «Текумсе» (США), изготавливаемые также фирмами «Стерн» (Англия), «Юните Герметик» (Франция), «Аспера Фриго» (Италия) и др. Общий выпуск компрессоров конструкции «Текумсе» составляет более 75% мирового производства холодильных компрессоров. Фирма ежегодно осваивает 10—12 новых моделей компрессоров (не считая модификаций), поэтому конструкции «Текумсе» отражают современное состояние малых холодильных машин за рубежом.

Сравнение проведено по каталожным данным и результатам испытаний (выполненных в основном во ВНИХИ) нескольких десятков отечественных и зарубежных компрессоров.

Характеристики последних определены при номинальных режимах, предусмотренных стандартами на холодильные компрессоры [1]: среднетемпературном ($t_0 = -15^\circ\text{C}$, $t_k = 30^\circ\text{C}$), низкотемпературном ($t_0 = -35^\circ\text{C}$, $t_k = 30^\circ\text{C}$) и высокотемпературном, или плюсовом ($t_0 = 5^\circ\text{C}$, $t_k = 40^\circ\text{C}$). Это наиболее распространенные условия работы малых холодильных компрессоров.

Основной характеристикой холодильного компрессора как энергетической машины является электрическая удельная холодопроизводительность $K_э$, т. е. отношение холодопроизводительности к мощ-

ности, потребляемой электродвигателем при номинальном режиме [2].

На рис. 1 представлена зависимость электрической удельной холодопроизводительности $K_э$ малых холодильных компрессоров (по ГОСТу 9666—61 и по результатам испытаний) от их номинальной холодопроизводительности.

В соответствии с ГОСТом 9666—61 энергетические показатели различаются для герметичных компрессоров с однофазными и трехфазными электродвигателями, так как однофазные двигатели общего применения имеют более низкие к.п.д., чем трехфазные [3, 4]. Как видно из графиков, отечественные герметичные компрессоры, как трехфазные, так и однофазные, имеют энергетические показатели на 10—25% выше, чем почти все аналогичные зарубежные машины.

Следующей важной характеристикой компрессоров является их вес. Для большей общности в качестве весового показателя принимается удельная металлоемкость $\frac{G}{Q_0}$ кг на 1000 ккал/ч. Отметим, что вес малых

компрессоров имеет наиболее важное значение для транспортных установок и определения транспортных расходов. Но вместе с тем весовые показатели характеризуют компрессор и в других отношениях: для однотипных изделий стоимость изготовления [5] и габаритные размеры изменяются в соответствии с весом.

Отметим, что при монтаже компрессора рядом с охлаждаемым объектом важны горизонтальные размеры, соответствующие занимаемой площади пола, а для встроенного агрегата, расположенного под холодильным шкафом или прилавком, важна высота. Наиболее характерной величиной является объем, определенный как произведение габаритных размеров.

На рис. 2 представлена зависимость удельной металлоемкости малых компрессоров (по ГОСТу 9666—61) от холодопроизводительности. Там же показаны кривые, характеризующие компрессоры «Текумсе» с синхронной скоростью вращения 1800 и 3600 об/мин (при частоте 60 гц), и металло-

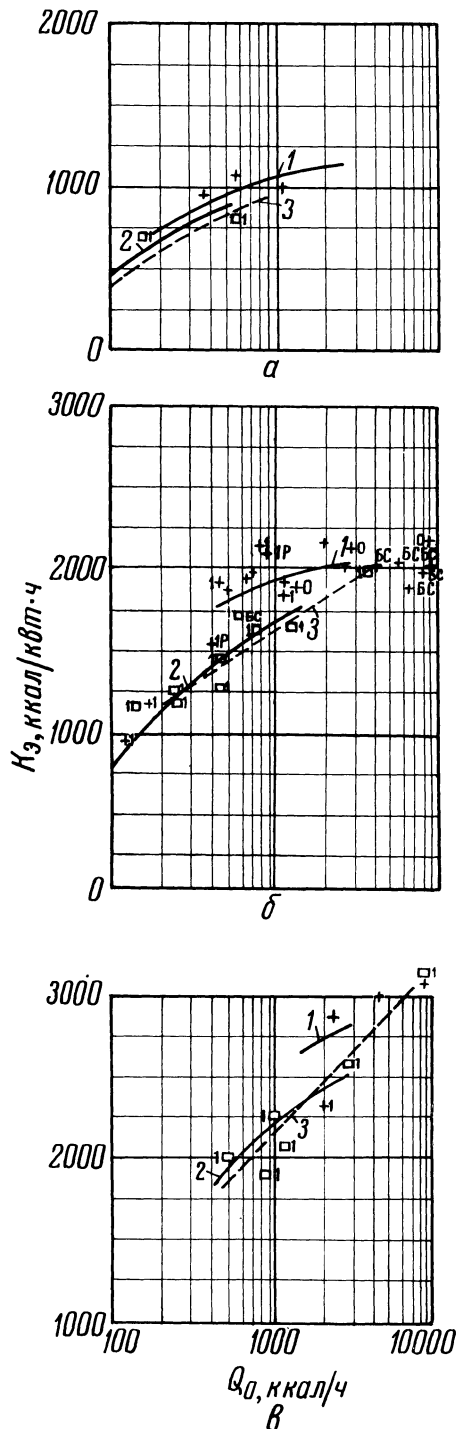


Рис. 1. Зависимость электрической удельной холодопроизводительности малых холодильных компрессоров от их номинальной холодопроизводительности:
 а — низкотемпературных; б — среднетемпературных; в — высокотемпературных; 1 — компрессоры с трехфазным электродвигателем по ГОСТу 9666-61; 2 — компрессоры с однофазным электродвигателем по ГОСТу 9666-61; 3 — компрессоры с однофазным электродвигателем «Текумсе»; отечественные: + — трехфазные; + 1 — однофазные; + 0 — открытые; + БС — бессальниковые; + Р — ротационные; зарубежные: □ — трехфазные; □ 1 — однофазные; □ БС — бессальниковые.

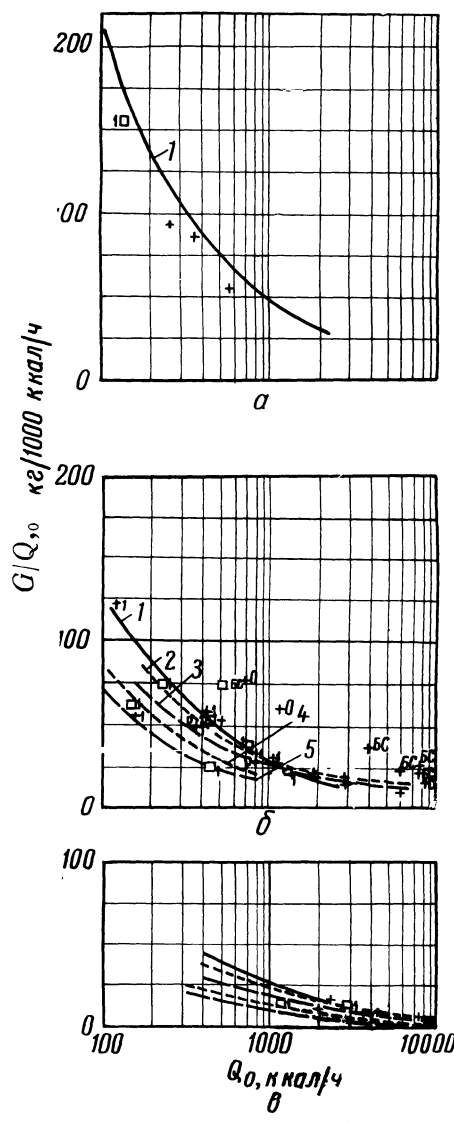


Рис. 2. Зависимость удельной металлоемкости малых холодильных компрессоров от холодопроизводительности
 а — низкотемпературных; б — среднетемпературных; в — высокотемпературных.
 — по ГОСТу 9666-61; — по каталогам «Текумсе»; 1 — по ГОСТу 9666-61; 2 — по каталогам «Текумсе» при 1500 об/мин.; 3 — то же, при 1800 об/мин.; 4 — то же, при 3000 об/мин.; 5 — то же, при 3600 об/мин.
 (условные обозначения см. на рис. 1).

емкость тех же компрессоров, приведенная к $n=1500$ и 3000 об/мин (при частоте 50 гц). Из графиков видно, что весовые показатели отечественных и зарубежных компрессоров с $n=1500$ об/мин близки между собой. Но за последние годы ведущие зарубежные фирмы освоили производство компрессоров со скоростью вращения 3000 и 3600 об/мин, имею-

щих весовые показатели на 10—25% выше, чем отечественные компрессоры.

На рис. 3 показано отношение цены 1 кг веса к соответствующей цене для компрессора в 1 л. с. по данным крупной зарубежной фирмы, а на рис. 4 приведена зависимость отношения объема к весу от холодопроизводительности. Графики иллюстрируют приведенное выше положение о пропорциональности стоимости и веса, а также объема и веса малых холодильных компрессоров.

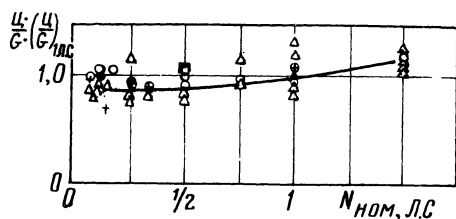


Рис. 3. Отношение цены 1 кг веса герметичных компрессоров к соответствующей цене для компрессора в 1 л. с.

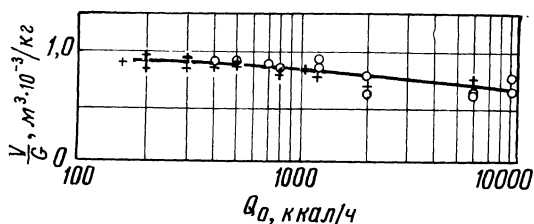


Рис. 4. Зависимость отношения объема к весу герметичных компрессоров от холодопроизводительности.

Отметим, что такие показатели, как скорость вращения и коэффициент подачи, хотя и являются основными конструктивными параметрами, но важны для потребителя лишь в той мере, в какой влияют на указанные выше показатели. Так, если при сравнении двух различных по конструкции компрессоров одинаковой холодопроизводительности будут известны их удельные металлоемкость и холодопроизводительность, то значение коэффициента подачи уже ничего не добавит к оценке совершенства компрессоров.

Долговечность холодильного компрессора определяется его физическим или моральным износом. Примером морального износа может служить замена (из соображений безопасности) малых аммиачных холодильных компрессоров фреоновыми.

Опыт отечественного и мирового холодильного машиностроения показывает, что основной тип малых холодильных компрессоров изменяется примерно каждые 15 лет (аммиачные открытые — фреоновые открытые — фрео-

новые герметичные со скоростью вращения 1500 об/мин — то же, с 3000 об/мин). До физического износа нормально изготовленных малых холодильных компрессоров (с учетом ремонта) проходит также не менее 15 лет.

Долговечность малых холодильных компрессоров характеризуется суммарным ресурсом, т. е. продолжительностью их работы до конца эксплуатации (с учетом ремонта). Суммарный ресурс должен составить не менее 50 000 ч, что соответствует сроку службы $T_{общ} = 15$ лет при коэффициенте рабочего времени 0,4. Долговечность определяется в основном моральным износом. Это относится как к отечественным, так и к зарубежным малым холодильным компрессорам и агрегатам.

Надежность малых холодильных компрессоров и агрегатов — важнейший показатель их технического уровня.

Помимо прямых убытков, вызванных затратами на ремонт и транспортировку, недостаточная надежность машин приводит к еще большим косвенным убыткам, связанным с потерями охлаждаемых продуктов.

Следует отметить, что надежность малых холодильных компрессоров, в особенности герметичных, несравненно выше, чем компрессоров большой производительности. Отсутствие поршневых колец, сальника и клиновых ремней сократило почти вдвое число изнашиваемых деталей и резко повысило надежность машины. Ресурс клапанов малых компрессоров в десятки раз больше, чем лучших компрессоров большой производительности. По данным некоторых зарубежных фирм, выход из строя компрессоров в течение пятилетнего гарантийного срока компрессоров для домашних холодильников составляет около 0,2—0,4% в год, компрессоров для прилавков, витрин и небольших камер — 1—4% в год, кондиционеров и тепловых насосов — 5—12% в год (при монтаже на месте — больше).

В Советском Союзе за время гарантийного срока (2—2,5 года) компрессоры домашних холодильников выходят из строя примерно так же, как за границей, а компрессоры торгового холодильного оборудования и кондиционеров — во много раз быстрее, т. е. их надежность значительно ниже. Это зависит в первую очередь от неритмичной работы и нарушений технологии на заводах встроенных электродвигателей, агрегатов и торгового холодильного оборудования.

Большое значение имеет надежность комплектующих изделий. Так, выход из строя электродвигателей открытых компрессоров составляет от 10 до 30% в год [6]. В целом по Советскому Союзу в ремонте находится около

20% асинхронных электродвигателей общего назначения [7].

В качестве основных показателей надежности могут быть приняты процент ремонтируемых компрессоров в течение гарантийного срока, длительность среднего периода между двумя ремонтами (в условиях комбинации компрессоров и электродвигателей (для открытых компрессоров), а также длительность среднего периода между двумя посещениями обслуживающего механика.

Эта длительность зависит в основном от надежности узлов агрегата, которые можно заменять на месте эксплуатации (ремни и клапаны открытых компрессоров, вентиляторы герметичных агрегатов, автоматические приборы).

Стоимость компрессора — одна из основных величин, определяющих целесообразность внедрения новых конструкций. За рубежом более дорогие в изготовлении малые холодильные компрессоры и агрегаты вытесняются более дешевыми: открытые — герметичными, компрессоры с 1500 об/мин — компрессорами с 3000 об/мин, которые на 15—20% дешевле, и т. д. Более дорогие машины применяют только там, где они имеют безусловное преимущество. В отличие от этого стоимость отечественных компрессоров и агрегатов новой конструкции часто оказывается более высокой. Например, малый бессальниковый компрессор стоит в 6 раз дороже открытого компрессора той же холодопроизводительности. Это может быть связано с меньшим объемом производства в первые годы освоения и др., поэтому необходим анализ, учитывающий металлоемкость, трудоемкость и стоимость комплектующих изделий. Стоимость новой машины может быть выше при условии, что она обладает существенными преимуществами. В противном случае высокая стоимость указывает на несовершенство конструкции или технологии.

Стоимость монтажа меньше, чем стоимость изготовления, но это также важный показатель, характеризующий экономичность компрессоров.

Эксплуатационные расходы — важнейшая величина, определяющая эффективность применения малых холодильных компрессоров.

Эти расходы зависят от суммы амортизации, расхода и стоимости электроэнергии, а в агрегатах с водяным охлаждением — также и воды, от стоимости технического обслуживания и стоимости ремонта (включая стоимость монтажа после ремонта).

Наряду с показателями, непосредственно характеризующими экономическую эффективность компрессоров и агрегатов, необходимо учитывать их внешний вид, величину шума и вибраций, соответствие требованиям техники безопасности, токсичность и взрывоопасность холодильного агента, удобство обслуживания и ремонта, т. е. группу требований, которые относят к требованиям технической эстетики.

Показатели шума и вибраций холодильных компрессоров впервые были предусмотрены в ГОСТе 9666—61. Опытные данные, полученные с тех пор [8], позволяют уточнить величину уровня шума на расстоянии 1 м от компрессора в зависимости от холодопроизводительности компрессора:

Номинальная холодопроизводительность, ккал/ч	Уровень шума, дБ А (не более)
110—180	35
220—350	45
450—700	55
900—1100	60
1400 и более	65

Величина вибрации для всех компрессоров должна быть не более 60 дБ. Для малых холодильных машин в отличие от машин большой холодопроизводительности обязательны нетоксичность и невзрывоопасность холодильных агентов (аммиак, хлорметил и др. недопустимы).

Для оценки технического уровня отрасли машиностроения нужно знать не только показатели качества отдельных машин, но и данные, характеризующие отрасль в целом. К этим данным относятся номенклатура и степень унификации компрессоров. Слишком широкая номенклатура приводит к излишним затратам на изготовление, ремонт и обслуживание, а при недостаточной номенклатуре часто нельзя получить удовлетворительных показателей холодильного оборудования, несмотря на высокое качество изготавливаемых компрессоров и агрегатов.

Отсутствие унификации увеличивает стоимость и затрудняет организацию изготовления, обслуживания и ремонта компрессоров.

Градация герметичных компрессоров, принятая в Советском Союзе, основаны на применении ряда предпочтительных чисел [9]. Был выбран 20-й ряд, представляющий собой геометрическую прогрессию со знаменателем 1,25. В дальнейшем этот ряд выбрала также фирма «Данфос» (Дания). Номенклатура серийно изготавливаемых зарубежных компрессоров (рис. 5) значительно шире, а сте-

пень унификации выше, чем отечественных машин.

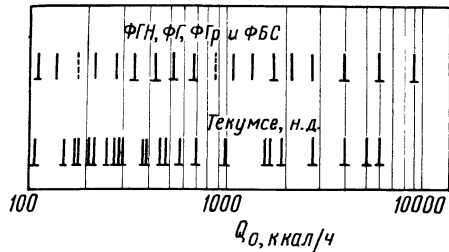


Рис. 5. Номенклатура малых холодильных компрессоров: $\underline{\quad}$ — изготавливаются серийно; --- — опытные образцы; ▨ — не изготавливаются.

При сравнении номенклатур компрессоров следует учитывать также рабочий диапазон температур. Если компрессоры имеют малую допустимую степень сжатия, круто падающие характеристики и т. д., то номенклатура их должна быть шире, чем машин, допускающих работу при более низких температурах кипения и высоких — конденсации. В этом отношении среднетемпературные открытые и бессальниковые малые компрессоры, предназначенные для работы со степенью сжатия не выше 9, уступают зарубежным, а герметичные отвечают весьма высоким требованиям. В связи с этим установлена возможность использовать те же компрессоры для тропических условий [10].

Выше был рассмотрен ряд показателей, определяющих качество малых холодильных компрессоров. При сопоставлении двух или нескольких компрессоров близкой холодопроизводительности, но различных конструкций обычно оказывается, что у каждой из машин одни показатели лучше, другие хуже, например выше удельная холодопроизводительность, но больше вес, выше стоимость изготовления, но ниже стоимость ремонта и т. д. Выбор наилучшей конструкции должен быть технико-экономически обоснован, в противном случае неизбежны неправильные решения.

Сравнение двух вариантов малых холодильных компрессоров может быть проведено в соответствии с «Методикой определения экономической эффективности внедрения новой техники, механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности», разработанной Госпланом СССР и Академией наук СССР [5], и «Отраслевой методикой по определению экономической эффективности внедрения новой техники в холодильной промышленности», разработанной отделом экономических исследований ВНИХИ [11].

Годовой экономический эффект от примене-

ния компрессора 1 (более совершенной конструкции) по сравнению с компрессором 2 (менее совершенной конструкции) определяется сравнением эксплуатационных расходов и капитальных затрат (с учетом нормативного срока окупаемости):

$$\Delta = (C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2), \quad (1)$$

где C — эксплуатационные расходы, руб/г;
 E_n — нормативный отраслевой коэффициент экономической эффективности (для малых холодильных машин $E_n = 0,15$);

K — капитальные затраты, руб.;

$$K = K_{\text{км}} + K_{\text{м}} + K_{\text{т}}; \quad (2)$$

$K_{\text{км}}$ — стоимость компрессора, руб.;

$K_{\text{м}}$ — стоимость монтажа, руб.;

$K_{\text{т}}$ — транспортные расходы, руб.;

$$K_{\text{т}} = aG; \quad (3)$$

a — коэффициент пропорциональности;

G — вес компрессора, кг;

$$C = C_a + C_э + C_{\text{вд}} + C_{\text{т.об}} + C_{\text{р}}; \quad (4)$$

C_a — сумма амортизации, руб/г;

$$C_a = \frac{K}{T_{\text{общ}}}; \quad (5)$$

$T_{\text{общ}}$ — общий срок службы, лет;

$C_э$ — стоимость электроэнергии, руб/г,

$$C_э = \frac{Q_0}{K_э} i C_{1э}; \quad (6)$$

Q_0 — номинальная холодопроизводительность, ккал/ч;

$K_э$ — электрическая удельная холодопроизводительность при номинальном режиме, ккал/квт · ч;

i — число часов работы в год; при среднегодовом коэффициенте рабочего времени, равном 0,4,

$$i \approx 3,5 \text{ тыс. ч/г};$$

$C_{1э}$ — стоимость 1 квт · ч;

$C_{\text{вд}}$ — стоимость воды, руб/г (в агрегатах с водяным охлаждением),

$$C_{\text{вд}} = G_{\text{вд}} i C_{1\text{вд}}; \quad (7)$$

$G_{\text{вд}}$ — расход воды, м³/ч;

$C_{1\text{вд}}$ — стоимость 1 м³ воды,

$C_{\text{т.об}}$ — стоимость технического обслуживания, руб/г;

$C_{\text{р}}$ — стоимость ремонта, руб/г;

$$C_{\text{р}} = \frac{1}{T_{\text{р}}} C_{1\text{р}}; \quad (8)$$

$T_{\text{р}}$ — время между двумя последовательными ремонтами, лет;

$C_{1\text{р}}$ — стоимость 1 ремонта, руб.

Из сравниваемых конструкций наилучшей является та, которая отвечает условию:

$$C + E_n K = (K_{км} + K_m + aG) \left(\frac{1}{T_{общ}} + E \right) + \left(\frac{Q_0}{K_э} C_{1э} + G_{вд} C_{1вд} \right) i + C_{т.об} + \frac{C_{1р.км}}{T_{р.км}} + \frac{C_{1р.эд}}{T_{р.эд}} = \text{минимум. (9)}$$

Сравнение по приведенным формулам упомянутых выше открытого и бессальникового компрессоров показывает, что, несмотря на повышение надежности (увеличение межремонтных сроков, уменьшение стоимости технического обслуживания), применение нового компрессора даст более 100 руб/г убытка. Очевидно, этот компрессор можно рекомендовать только для специальных случаев.

Если конструкция бессальникового компрессора будет улучшена, объем производства увеличен, технология изготовления усовершенствована, в результате стоимость снизится и будет выше стоимости открытого компрессора не более чем на 20—30%. При этом внедрение одной новой, более совершенной и надежной машины даст экономию более 20 руб/г и станет вполне целесообразным.

Таким же способом можно оценить влияние дальнейшего повышения надежности, энергетических показателей, уменьшения стоимости изготовления и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТы 6492—61, 9666—61, 10612—63, 10613—63.
2. Я ко б с о н В. Б. Энергетические потери в герметичном компрессоре. «Холодильная техника», 1965, № 2.
3. Каталог электрооборудования. МЭП, 1958.
4. Л о п у х и н а Е. М., С о м и х и н а Г. С. Расчет асинхронных микродвигателей однофазного и трехфазного тока, М., ГЭИ, 1961.
5. Методика определения экономической эффективности внедрения новой техники, механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности. Госплан СССР, АН СССР, 1962.
6. А н д р а ч н и к о в Е. И. Вопросы организации ремонта и обслуживания холодильных агрегатов. «Холодильная техника», 1966, № 6.
7. С о р и н Я. М., Л е б е д е в А. В. Главное мерило качества. Изд-во «Знание», 1963.
8. Т и х о м и р о в В. А. Определение шума и вибраций малых холодильных компрессоров. Отчеты ВНИХИ, 1964—1966.
9. Я ко б с о н В. Б. Герметичные фреоновые компрессоры. «Холодильная техника», 1961, № 5.
10. Я ко б с о н В. Б. Герметичные холодильные агрегаты для тропических стран и южных районов Советского Союза. «Холодильная техника», 1966, № 2.
11. П о з и н М. М., В а с и л ь е в а Н. Г. Разработка отраслевой методики по определению экономической эффективности внедрения новой техники в холодильной промышленности. Отчет ВНИХИ, 1961.

УДК 621.572:62—19

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Е. И. АНДРАЧНИКОВ, В. И. КАНТОРОВИЧ, А. И. НЕФЕДКИНА — Московский специализированный комбинат холодильного оборудования

Под надежностью понимают способность системы безотказно работать в течение определенного отрезка времени [1]. Количественной оценкой этой характеристики служит вероятность безотказной работы в течение заданного времени

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{m_n}{N}, \quad (1)$$

где N — общее число систем (или элементов);

m_n — число систем, оставшихся исправными.

Если отрезок времени t разбить на равные интервалы (Δt_1 , Δt_2 и т. д.) и регистрировать число отказов в течение каждого интервала (Δm_1 , Δm_2 и т. д.), то общее число отказов $m_{от} = \sum \Delta m_i$ и при достаточно большом N

$$P \approx \frac{N - m_{от}}{N}. \quad (1,а)$$

В системах однократного действия (вышедшие из строя новыми не заменяются) во время испытаний удобнее определять другие характеристики надежности: частоту и интенсивность отказов.

Частота отказов — это скорость появления отказов в данном интервале времени, отнесенная к числу систем, поставленных на испытание:

$$f_i = \frac{1}{N} \cdot \frac{\Delta m_i}{\Delta t_i}. \quad (2)$$

Эта статистическая характеристика в пределе стремится к вероятностной характеристике частоты отказов:

$$f = \frac{1}{N} \cdot \frac{dm_{от}}{dt}. \quad (2,а)$$

Частота отказов, или плотность вероятности, представляет собой производную от функции надежности:

$$f = - \frac{dP}{dt}. \quad (3)$$

Интенсивность отказов, как и частота отказов, — это скорость появления отказов в данном интервале времени, но отнесенная к числу систем, оставшихся исправными к началу данного периода, т. е.

$$\lambda_i = \frac{1}{N - m_{от}} \cdot \frac{\Delta m_i}{\Delta t_i}. \quad (4)$$

Или, переходя от статистической к вероятностной форме:

$$\lambda = \frac{1}{N - m_{от}} \cdot \frac{dm_{от}}{dt}. \quad (4,а)$$

Если правую часть равенства умножить и разделить на N , то, принимая во внимание (1а) и (2а), получим

$$\lambda = - \frac{f}{P}. \quad (5)$$

Подставив значение f из уравнения (3) и проинтегрировав полученное дифференциальное уравнение, получим основное уравнение теории надежности:

$$P = e^{-\int_0^t \lambda dt}. \quad (6)$$

В частном случае, когда интенсивность отказов λ постоянна,

$$P = e^{-\lambda t}. \quad (6,а)$$

Таким образом, зная одну из характеристик надежности (λ , f или P), по уравнениям (3), (5) и (6) можно определить две другие характеристики как функции времени.

В системах многократного действия (ремонтимруемых) вышедшие из строя элементы заменяют новыми, т. е. первоначально установленное число систем N не уменьшается. За основную характеристику надежности в этих системах принимают число отказов в единицу времени, отнесенное к общему числу систем, и называют ее интенсивностью потока отказов (или интенсивностью возобновлений):

$$\psi = \frac{\Delta m_{от}}{N \Delta t}. \quad (7)$$

В отличие от частоты и интенсивности отказов систем однократного действия интенсив-

ность потока отказов характеризует системы различных возрастов, так как срок службы систем, вступивших в строй после замены вышедших из строя, меньше первоначально установленного. Поэтому интенсивность потока отказов ψ зависит от характеристик надежности (f и λ) отдельных возрастных групп, из которых состоит выборка в данный отрезок времени.

Математически, используя преобразования Лапласа, можно вывести [2] зависимость между частотой отказов f и интенсивностью потока отказов ψ :

$$L\psi(z) = \frac{Lf(z)}{1 - Lf(z)}. \quad (8)$$

Зная функцию частоты $f(t)$, по таблицам преобразований Лапласа [3] находим изображение этой функции $Lf(z)$, а затем по изображению $L\psi(z)$, полученному из уравнения (8) при помощи тех же таблиц, — первообразную функцию (оригинал) $\psi(z)$. Аналогично, имея $\psi(t)$, можно определить $f(t)$. В частности, при экспоненциальном законе распределения

$$f = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (9)$$

который имеет место при $\lambda = \text{const}$, изображение по Лапласу

$$Lf(z) = \frac{\lambda}{\lambda + z}. \quad (10)$$

Решая уравнение (8), найдем

$$L\psi(z) = \frac{\lambda}{z}$$

и, переходя к оригиналу, получим

$$\psi = \lambda = \text{const}.$$

При обработке большого статистического материала данных эксплуатации малых холодильных машин (если не проводятся специальные эксплуатационные наблюдения) время работы машины до наступления отказа обычно не регистрируется. Поэтому удобнее всего определять интенсивность потока отказов ψ .

Общая интенсивность отказов машины складывается из интенсивности отказов отдельных элементов. Но значения интенсивности отказов элементов настолько малы, что при определении их надежности практически можно пользоваться любой характеристикой (λ , f , ψ), так как разница между ними значительно меньше погрешности, связанной с малой величиной объема выборки.

Для связи надежности машин со стоимостью их эксплуатации вводится показатель ремонтпригодности. Для этого, кроме общего числа отказов, при анализе будем рассматривать число крупных отказов, т. е. требующих ремон-

та машины в мастерских. Тогда, зная средние затраты на один ремонт и на один вызов (устранение отказа на объекте), легко перейти к экономическим показателям.

В табл. 1 приведена интенсивность потока отказов основных типов малых холодильных машин, обслуживаемых Московским специализированным комбинатом холодильного обслуживания (по данным за 1965 г.).

Как видно из табл. 1, общая интенсивность потока отказов отдельных моделей меняется в довольно широких пределах.

Так, например, герметичные машины типа ФГК дают 72 отказа в год на каждые 100 машин, ФАК-0,7—130 отказов, а ИФ-56 — 314 отказов.

Интересно сравнить по этому основному показателю надежность отечественных и зарубежных машин. Версажи [4] приводит средние данные эксплуатации 16 000 компрессоров преимущественно с электродвигателями 1 л. с. и более, из которых следует, что средняя за 5 лет интенсивность потока отказов по герметичным машинам составляет 95—100, т. е.

Таблица 1

Узел машины	Количество отказов за год на 100 машин										
	ФАК-0,7	ФАК-1,1	ФАК-1,5	ИФ-50	ИФ-56	ИФ-49	АК2ФВ-5/3 и АК2ФВ-8/4	БРРКФ-0,9	МРФ-0,7 и МРФ-1,1	ФГК-0,45 и ФГК-0,7	импортные
Компрессор	33,9	33,1	75,4	46,4	68,7	39,1	40	86	44,9	6,5	10,1
Электродвигатель	10,8	8,2	14,7	9,6	25,9	7,5	7,5	9,3	11,3	9,0	6,1
Конденсатор	4,3	4,3	7,4	4,2	21,1	2,6	3,5	4,9	4,7	2,9	1,0
Испаритель	0,6	0,3	1,0	0,7	1,3	1,1	2,4	0,4	0,3	0,6	0,4
Система	31,0	27,4	49,3	44,7	76,1	36,2	44,0	31,4	32,0	20,4	9,5
Приборы автоматики	49,8	36,6	71,8	55,2	121,0	56,0	54,0	39,4	44,0	32,3	13,8
Всего	130	110	220	161	314	143	151	171	137	72	41
В том числе крупные отказы (ремонты)	2	3	5,9	12	5,7	3,2	12,1	48	9,3	11,5	3
Объем выборки	20760	2180	715	1370	230	3630	740	985	834	3840	1010
Средний возраст машин, лет	5,9	5,5	3,8	7,6	3,3	5,6	4,7	7,8	1,7	1,7	1,9

один отказ в год на каждую машину, а по машинам открытого типа — 130—140 отказов.

Машины Харьковского завода торгового машиностроения типа ФАК-0,7, ФАК-1,1 и герметичные типа ФГК, которые в Советском Союзе составляют примерно 60—70% общего парка, надежнее других. Уровень надежности таких моделей, как ИФ-56, ФАК-1,5, БРРКФ-0,9, очень низок.

От 30 до 50 ремонтов в год приходится на ротационные машины типа БРРКФ-0,9 Рижского завода «Компрессор», хотя по первому показателю (общее число отказов) надежность их не намного ниже, чем других машин.

Условный обобщенный показатель надежности, учитывающий, что расходы на ремонт одной машины при крупном отказе примерно в 10 раз больше средних расходов по устранению отказа на объекте, будет равен

$$\psi_y = \psi_m + 10 \psi_{кр},$$

где ψ_m и $\psi_{кр}$ — интенсивность потоков мелких и крупных отказов (ремонтов).

Так, например, для ФАК-0,7

$$\psi_y = 128 + 10 \cdot 2 = 148.$$

Для некоторых других машин значения ψ_y приведены ниже:

ФАК-1,1	137	АК2ФВ-5/3, АК2ФВ-8/4	260
ФАК-1,5	273	БРРКФ-0,9	603
ИФ-50	269	МРФ-0,7 и МРФ-1,1	221
ИФ-56	365	ФГК-0,45 и ФГК-0,7	175
ИФ-49	172	Импортные	68

Герметичные машины по надежности еще уступают машинам ФАК-0,7. Еще менее надежны ротационные машины. Так, по машинам БРРКФ-0,9 ($\psi_y=603$) эксплуатационные расходы из-за их низкой надежности в 4 раза выше, чем по ФАК-0,7 ($\psi_y=148$). Поэтому на Московском комбинате компрессоры машины БРРКФ-0,9 заменяют при ремонте компрессорами ФАК-0,7.

Однако за показателем средней интенсивности потока отказов, который отражает главным образом надежность конструкции, нельзя скрывать низкое качество изготовления машин отдельными заводами. Качество изготовления нагляднее всего проявляется в интенсивности отказов в первый месяц после монтажа, причем больше половины этих отказов возникают непосредственно при пуске машины (машину нельзя пустить из-за отсутствия в системе фреона, неисправного ТРВ, РД и т. д.), т. е. связаны с некачественной проверкой отдельных узлов машины на заводе, плохой транспортировкой или хранением.

В настоящей статье этот показатель качества (процент заводского брака, вскрываемый при монтаже) не рассматривается.

В табл. 2 указан средний возраст машин.

Таблица 2

Марка машины	Показатель	1959—1961 гг. (среднее)	1965 г.
ФАК-0,7	Возраст, лет . . .	3,5	5,9
	Ремонты, % . . .	1,8	2,0
ФАК-1,1	Возраст, лет . . .	3,3	5,5
	Ремонты, % . . .	3,8	3,0
ФАК-1,5	Возраст, лет . . .	1,1	3,8
	Ремонты, % . . .	5,2	5,9

Если сравнить надежность основных моделей в 1965 г. с 1959—1961 гг. [5], то можно заметить, что средняя интенсивность потока отказов не зависит от возраста машин, так как интенсивность некоторых отказов, связанных с

износом материала, увеличивается, а интенсивность отказов, связанных с низким качеством изготовления и монтажа, уменьшается.

До определенного возраста машины весьма стабильна интенсивность потока крупных отказов (ремонтов). Как видно из табл. 2, по машинам типа ФАК возраста до 6 лет отклонение от закона $\psi = \text{const}$ не превышает погрешности, связанной с величиной объема выборки. По машинам ИФ-50 резкое увеличение числа отказов падает на 7—8-й год их эксплуатации, а по ротационным машинам — уже на 2—3-м году службы интенсивность отказов возрастает до 25—30%.

На приборы автоматики приходится 30—40% общего числа отказов, 20—30% — на компрессор и примерно столько же на систему (негерметичность, засорение, замерзание влаги и др.). Интенсивность потока отказов по электродвигателям 6—15% в год (ИФ-56—21,1%). При этом сгорание обмоток по всем машинам равно 3—4% и только у машин типа ФГК выше 7% в год. Интенсивность выхода из строя испарителей 0,4—0,6% в год. У машин с двумя или четырьмя испарителями эта цифра соответственно увеличивается.

За уровень надежности конденсаторов можно принять интенсивность крупных отказов (обычно негерметичность) — 0,7—1,5% в год (ИФ-56 — 9,2%). Однако в общее число отказов по конденсаторам (см. табл. 1) входят также отказы вследствие задевания крыльчатки за диффузор (2—2,5%).

Для выявления основных путей повышения надежности малых холодильных машин рассмотрим подробнее структуру отказов по отдельным узлам.

В табл. 3 приведена интенсивность потока

Таблица 3

Причины отказов компрессора	Количество отказов в год на 100 машин										
	ФАК-0,7	ФАК-1,1	ФАК-1,5	ИФ-50	ИФ-56	ИФ-49	АК2ФВ-5/3 и АК2ФВ-8/4	БРРКФ-0,9	МРФ-0,7 и МРФ-1,1	ФГК-0,45 и ФГК-0,7	импортные
Стук или заклинивание	2,0	3,0	5,9	12,0	5,7	3,2	12,1	48,0	9,3	4,5	3,0
Поломка всасывающего клапана	7,4	9,5	24,1	13,3	26,7	18,3	11,0	—	—	—	1,1
Поломка нагнетательного клапана	0,5	0,2	2,1	0,7	1,8	1,1	0,8	0,4	1,6	—	—
Поломка пружины лопасти	—	—	—	—	—	—	—	17,3	12,0	—	—
Потеря холодопроизводительности	0,1	0,3	0,1	1,1	0,4	0,2	0,3	2,7	2,1	—	0,2
Негерметичность сальника вала	2,1	3,3	11,6	7,1	3,9	1,8	3,2	2,9	2,6	—	0,1
Негерметичность прокладки головки блока	0,2	0,1	1,0	0,3	0,4	0,3	0,3	—	0,3	—	0,1
Другие случаи негерметичности	1,8	0,3	—	0,1	—	0,5	0,3	0,1	—	—	—
Растяжение клиновых ремней	16,1	13,8	26,4	7,7	21,5	9,8	6,2	11,3	13,0	—	3,3
Прочие	3,7	2,6	4,2	4,1	8,3	3,9	5,8	3,3	4,0	2,0	2,3
Итого	33,9	33,1	75,4	46,4	68,7	39,1	40,0	86,0	44,9	6,5	10,1

отказов отдельных элементов различных моделей компрессоров.

Наиболее слабый узел всех компрессоров — всасывающий клапан: от 7,4 до 26,7% отказов в год (у импортных машин 1—1,5%). Большое число отказов (6,2—26,4% в год) дают клиновые ремни (у импортных машин 3,3%). Повысив надежность только этих двух элементов — клапанов и ремней — до нормального уровня, можно примерно в 3 раза повысить надежность всего компрессора.

Негерметичность сальника вала открытых компрессоров составляет 2—4% отказов в год (ИФ-50 — 7,1% и ФАК-1,5 — 11,6%).

В ротационных компрессорах наиболее слабый узел — пружина лопасти (12—17 отказов на 100 машин в год).

Для анализа структуры отказов по системе и приборам автоматики рассмотрим данные по машинам ФАК-0,7, ФГК-0,45 и ФГК-0,7 (табл. 4), поскольку они имеют наибольший объем выборки.

Таблица 4

Причины отказов	Число отказов в год на 100 машин	
	ФАК-0,7	ФГК-0,45, ФГК-0,7
Система		
Негерметичность соединений	10,4	3,6
Засорение жидкостного фильтра	3,8	1,0
Засорение фильтра ТРВ	8,5	3,1
Замерзание влаги в ТРВ	2,9	9,0
Загрязнение конденсатора	1,7	1,4
Снеговая шуба на испарителе	1,5	1,1
Прочие	2,2	1,2
Итого	31	20,4
Приборы автоматики		
Нарушение регулировки	21,3	14,2
Выход из строя ТРВ	4,5	2,1
Выход из строя РД или АРТ-2	1,9	1,8
Сгорание катушки МП	8,7	3,2
Подгорание контактов МП	2,3	2,3
Ослабление пружины МП	0,8	0,6
Срабатывание тепловой защиты	6,4	5,8
Прочие	3,1	2,6
Итого	49,0	32,6

Больше всего отказов приходится на негерметичность соединений (10,4% в год) и засорение фильтров (12,2% в год). Однако по герметичным машинам эти цифры значительно ниже (3,6 и 4,2%). Значит, при улучшении качества изготовления (лучшей очистке системы и более тщательном монтаже) отказы по этим показателям можно сократить более чем в 2 раза.

Частота замерзания влаги в дроссельном отверстии ТРВ у ФГК оказалась значительно выше, чем у открытых машин, хотя герметичные машины осушаются тщательнее, чем открытые. В машинах открытого типа механики в случае замерзания влаги добавляют в систему метиловый спирт, что почти устраняет случаи повторного замерзания. В герметичных машинах спирт в систему не добавляют, так как он может повредить обмотки.

С внедрением качественной осушки систем с помощью цеолитов интенсивность отказов

Таблица 5

Причины отказов	Число отказов в год на 100 машин	
	открытого типа	герметичных
Компрессор		
Стук или заклинивание	3	2
Поломка всасывающего клапана	2	1
Поломка нагнетательного клапана	1	0,5
Негерметичность сальника вала	3	0
Другие случаи негерметичности	1	—
Растяжение клиновых ремней	3	—
Прочие	1	0,5
Всего	14	4
Электродвигатель		
Сгорание обмоток	4	6
Выработка подшипников	3	—
Прочие	2	1
Конденсатор		
Негерметичность	0,5	0,5
Прочие	3	1
Испаритель		
Негерметичность	0,5	0,5
Система		
Негерметичность	10	5
Засорение	8	4
Замерзание влаги	3	3
Прочие	4	3
Приборы автоматики		
Выход из строя:		
ТРВ	3	2
РД, АРТ-2	2	2
ВРВ	3	—
Сгорание катушки МП	4	4
Прочие отказы в магнитном пускателе	3	3
Нарушение регулировки приборов	8	5
Срабатывание тепловой защиты	5	4
Прочие дефекты приборов	2	2
Всего	80	50