

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №4, Том 10 / 2018, No 4, Vol 10 <https://esj.today/issue-4-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/08MMVN418.pdf>

Статья поступила в редакцию 03.07.2018; опубликована 21.08.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Деменев А.В. Технология оценки технического состояния герметичного хладного компрессора // Вестник Евразийской науки, 2018 №4, <https://esj.today/PDF/08MMVN418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Demenev A.V. (2018). Technology for assessing the technical state of a hermetic chilled compressor. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(10). Available at: <https://esj.today/PDF/08MMVN418.pdf> (in Russian)

УДК 641.546.4

ГРНТИ 90.27.36.

**Деменев Алексей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Москва, Россия

Доцент высшей школы сервиса

Кандидат технических наук

E-mail: [saprmgus@mail.ru](mailto:saprmgus@mail.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1573-6665>

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=237257](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=237257)

## Технология оценки технического состояния герметичного хладного компрессора

**Аннотация.** Приведённая методика инструментального контроля технического состояния герметичного хладного компрессора позволяет выполнять качественный и количественный анализ звукового излучения компрессора и устанавливать зависимости параметров звукового излучения от конструктивного фактора устройства, не разбирая его. Акустическое исследование бытового компрессора обычно оценивается с использованием математико-механических моделей, и многие решения принимаются на основе моделирования. Однако такое исследование обычно выполняется в детерминированной структуре, которая не может рассматривать эпистемические неопределенности формируемые, например, процессами соударяющихся элементов газораспределительного механизма. Известные методы исследования процесса звукового излучения газораспределительного механизма, как источника шума, не учитывают фактор взаимодействия сопряженных источников шума. В статье сравнивается, метод инструментального контроля, позволяющий определить акустические параметры на открытом кожухе и методом неразрушающего контроля компрессора. Полученные результаты демонстрируют воспроизводимость и точность исследования.

**Ключевые слова:** технический контроль состояния; герметичный поршневой компрессор; герметичный хладоновый компрессор; неразрушающий контроль; акустическое излучение; газораспределительный механизм

## Введение

Надежная и безопасная работа холодильного оборудования в значительной степени связана с анализом данных параметров надежности рабочих свойств и параметров герметичного компрессора или его отдельных узлов [1]. При этом контроль должен осуществляться без выведения из работоспособного состояния, т. е. без демонтажа деталей кожуха, обеспечивающего герметичность изделия, так называемый неразрушающий контроль, относят [2, 3]: средняя наработка на отказ, безотказная наработка, установленный срок службы компрессора. Перечисленные параметры компрессора, объективно определяют его основные показатели качества.

Контроль уровня технической эксплуатации герметичного компрессора на основе показателей фактического состояния оборудования требует точных и надёжных результатов измерений этих показателей [4].

Целью данного исследования является проведение анализа методов оценки технического состояния герметичного хладного компрессора на примере применения акустического метода [2]. Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Провести аналитическое (на основе литературных источников) сравнение методов оценки технического состояния герметичного хладного компрессора, в частности акустического метода [2].
2. Провести анализ акустического метода [2] оценки технического состояния герметичного хладного компрессора и определить подходы к решению задачи идентификации акустического сигнала генерируемый процессами соударяющихся элементов газораспределительного механизма.

Исходя из положений ГОСТ 20911-89, понятие "техническое состояние" можно трактовать как характеристику соответствия требованиям технической документации. Эта характеристика может быть выражена либо в качественной форме – назначенными фиксированными видами технического состояния (исправное, неисправное и т. д. ГОСТ 27.002-89), либо в количественной форме – численным значением располагаемого ресурса работоспособности. Характеристику можно дать, составить, узнать, изучить, проверить. На первом этапе – обследовать объект, (дать характеристику его техническому состоянию). Технология этого процесса, достаточно полно представленного в следующих работах [5, 6, 9, 10].

Основными показателями ГХК, определяемый технический уровень являются [6]:

Коэффициент эффективности $K_e$ (COP), Вт/Вт	1,3÷1,65
Уровень звуковой мощности, $L_a$ , дБА	32÷36
Масса ГХК, $m$ кг не более	8

В настоящее время акустический метод [2] является высокотехнологичным для оценки технического состояния различных механических узлов, в том числе узлов герметичного хладного компрессора. При этом метод является сложным, что обусловлено кинематической сложностью объектов изучения и факторами акустического взаимодействия колебаний от различных источников шума и вибрации и сложностью технического оснащения проведения и анализа исследования.

Акустическое исследование компрессора обычно оценивается с использованием математико-механических моделей, и многие решения принимаются на основе моделирования [6, 7]. Такое исследование обычно выполняется в детерминированной структуре, которая не может рассматривать эпистемические неопределенности формируемые, например, процессами

соударяющихся элементов газораспределительного механизма. Известные методы исследования процесса звукового излучения не учитывают фактор взаимодействия сопряженных деталей газораспределительного механизма.

Основными методами акустического определения технического состояния, которые используются при решении задач мониторинга и функциональной диагностики холодильных машин, являются:

- измерение параметров вибрации;
- спектральный анализ акустического сигнала
- анализ характеристик вращательного движения компонентов компрессорного агрегата;
- пиковые нагрузки;
- контурная характеристика;
- метод ударных импульсов (SPM-метод Shock Pulse Method).

Стоит заметить, что значительная часть методов акустического мониторинга предназначена для конкретных видов исследования акустических характеристик тех или иных узлов и агрегатов машин.

Простейший из этих методов – измерение общего уровня шума и вибрации. В этом случае в широких частотных диапазонах измеряются среднеквадратичные или пиковые значения параметров механических колебаний.

Обследование спектральным анализом шума и вибрации заключается в обнаружении периодически повторяющихся, как правило, ударных, процессов в работе машины и сопоставлении им возможных источников ударных упругих колебаний.

Дефекты, оказывающие влияние на параметры вибрации, при работе неисправного клапанного механизма формируют вибро-акустический сигнал, состоящий из затухающих колебаний с разной частотой ударного происхождения и отличающихся значительным превышением амплитуды колебаний. В большинстве случаев, анализируя периодичность этих ударов, можно установить и неисправный элемент. Более подробный анализ представлен в работе [4, стр. 23-24]. Технический регламент, определения шума и вибрации по 17008-85, позволяет определить акустические параметры, например, скорректированный уровень звуковой мощности и уровень вибрации, суммарную звуковую мощность герметичного компрессора. Результат измерений позволяет оценить допустимый, нормированный диапазон акустических характеристик компрессора и выполнить сравнительный анализ компрессоров, как разных по величине шума источников. Предлагаемые методики не позволяют выявить составляющие шума компрессора, что в свою очередь не позволяет определять влияние конструктивного фактора на процесс формирования звуковых колебаний компрессора.

Структура предлагаемой методики построена на основе изучения процессов корпусного шума в компрессоре [9]: возбуждение корпусного шума (звуковое излучение ударного происхождения); передача корпусного шума (звуковых колебаний, распространяемые в твердом теле) от места возбуждения до места излучения; преобразование корпусного шума [10].

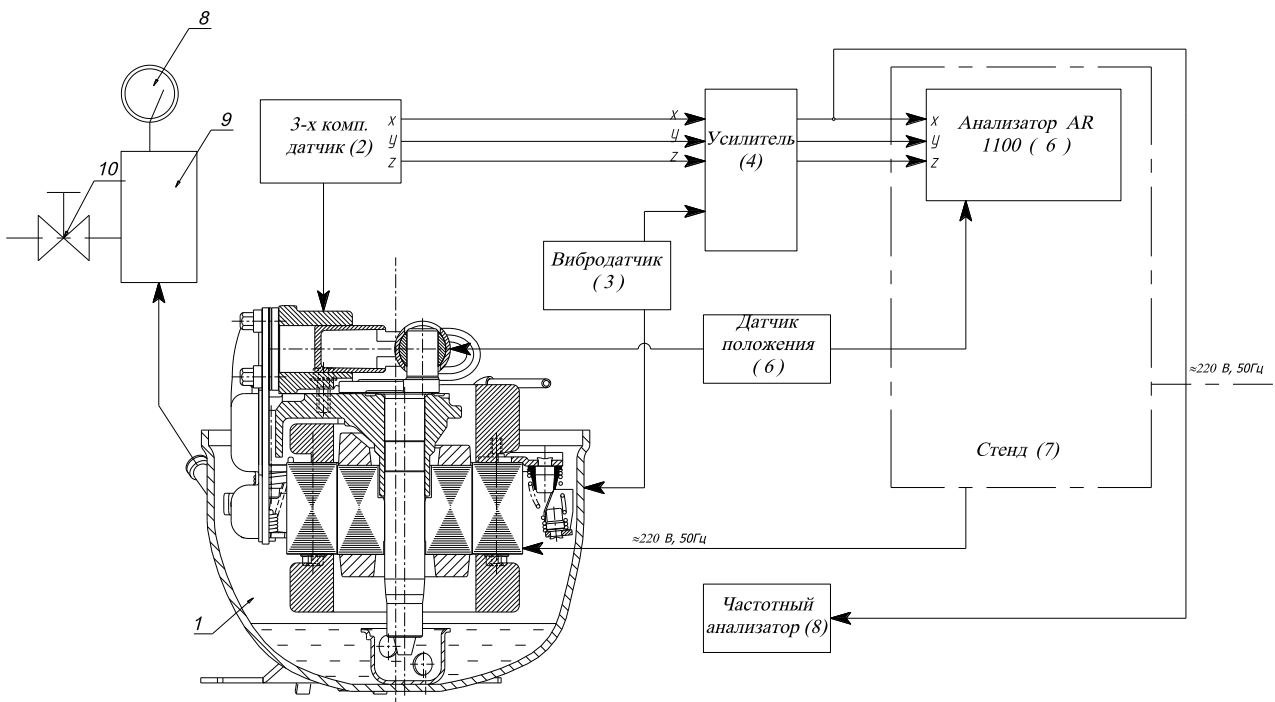
Чтобы определить техническое состояние газораспределительного механизма герметичного хладного компрессора по вибро-акустическому сигналу необходимо знать не только фактические, но и соответствующие им эталонные значения упругих колебаний в

механизме компрессора. Разность между фактическим  $\Theta_f$  и эталонным  $\Theta_{эт}$  значениями диагностических параметров называется диагностическим симптомом  $\Delta$ .

$$\Delta = \Theta_f - \Theta_{эт} \quad (1)$$

Таким образом, оценка технического состояния механизма определяется отклонением фактических вибро-акустических значений его параметров от их эталонных значений.

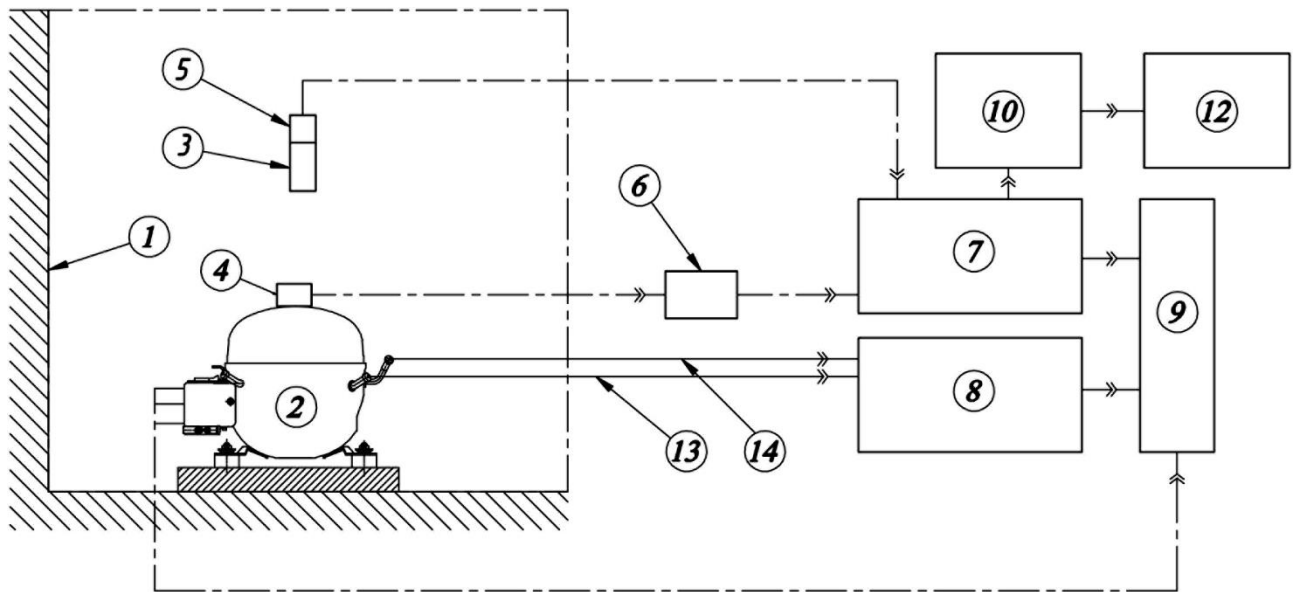
Измерения эталонных значений производится в источнике его возникновения – на корпусной детали компрессора (2) рисунок 1. Выполняется два измерения: при первом измерении коленчатый вал и механизм движения, приводящий в движение поршень в цилиндре без нагрузки. Во время следующего измерения, приводится в работающее состояние клапанный механизм, работающий в режиме противодействия (ГОСТ 17008-85\* не менее 10 кг/с). Разность между фактическим и эталонным значениями акустических параметров (диагностическим симптомом  $\Delta$ ) формируется в анализаторе (6), графическое представление продемонстрировано на рисунке 1.



1 – герметичный хладоновый компрессор без верхней крышки компрессора; 2 – трех осевой датчик вибрации DYTRAN 3143 M1 № 237; 3 – Датчик вибрации PCB ICP 353 B33; 4 – усилитель сигнала SVAN – SV 06A; 5 – Датчик положения; 6 – Частотный анализатор RION-SA-27A; 6 – Анализатор Yakogawa AR 1100; 7 – стенд; 8 – манометр; 9 – ресивер; 10 – регулирующий

**Рисунок 1.** Функциональная схема определения вибро-акустических параметров компрессора КВО в требуемой комплектации с открытым кожухом

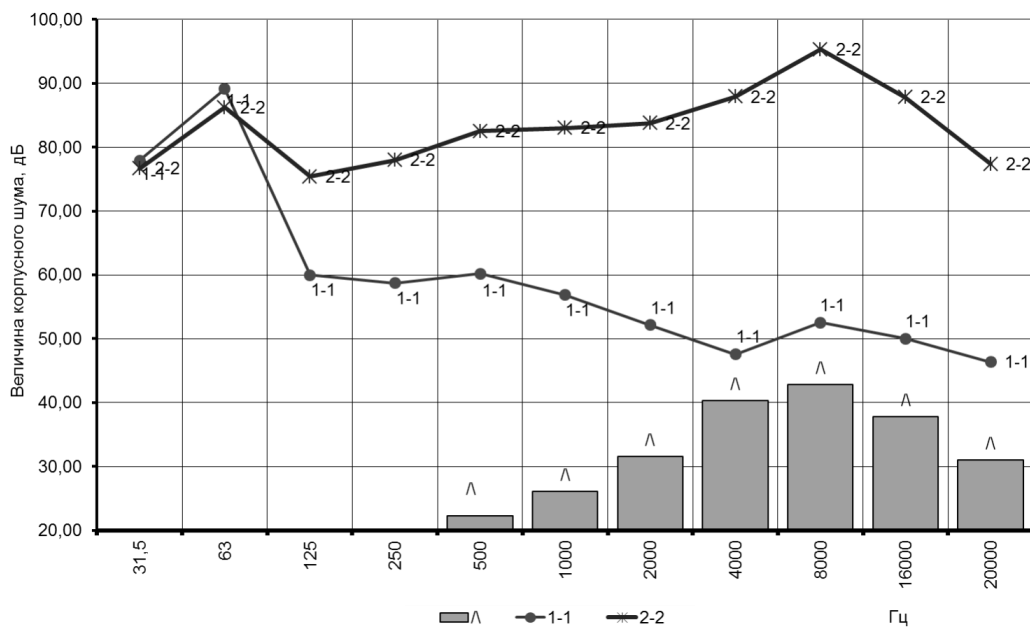
В соответствие вышеизложенным принципом производится акустические испытания герметичного компрессора, но применяя метод неразрушающего контроля, т. е. измерения, осуществляются с герметично закрытым кожухе (в области нагнетательного патрубка). Метод инструментального неразрушающего контроля [6, С. 56-79], разработан в соавторстве с профессором Набережных А.И. [1, С. 321-327], [2, С. 188-208] позволяет определять вибрационно-акустические параметры газораспределительного механизма, с меньшей трудоемкостью измерительного эксперимента и необходимой достоверностью.



1 – звукоизолирующая камера; 2 – объект исследования – герметичный компрессор; 3 – микрофон; 4 – вибрационно-сенсор; 5, 6 – усилитель акустического (вибрационного) сигнала; 7 – регистрирующее-аналитическое устройство; 8 – calorиметрический стенд; 9 – блок питания; 10 – устройство сопряжения с компьютером; 12 – персональный компьютер специальным программным обеспечением; 13, 14 – линия всасывания и нагнетания, подключенные к calorиметрическому стенду

**Рисунок 2.** Схема измерительного комплекса фирмы [6, С. 56-79]

В первой и второй методиках получаем достаточное количество исследовательских данных. Обработка этих данных производится при помощи сравнительно-спектрального анализа двух амплитудно-частотных характеристик корпусного шума при рабочем давлении и работе на вакууме герметичного компрессора. Результат применения метода предоставляет возможность выделить виброшумовой сигнал, создаваемый ударами клапанов. Сравнительная амплитудно-частотная характеристика в третьактавном диапазоне частот представлен на рис. 3.



1-1 – звуковое излучение корпусного шума компрессора при работе на вакууме; 2-2 – Звуковое излучение корпусного шума компрессора при нормальных условиях работы, Δ – логарифмическая разность

**Рисунок 3.** Вибрационно-акустическая характеристика звукового излучения самодействующих клапанов компрессора



## Результаты

Оценка технического состояния газораспределительного механизма, определяемая отклонением фактических вибро-акустических значений его параметров от их эталонных значений позволяют оценить величину вклада в процесс звукоизлучения компрессора работы газораспределительного механизма со структурной детализацией по компонентам механизма.

Достоверность метода определяется сходимостью результатов (коэффициент корреляции  $K = 0,82$ ) с результатами метода вибрационно-акустических испытаний с разобранным кожухом, при последовательном добавлении источников шума.

Практическая ценность представленной методики заключается в следующем:

- оценка технического состояния газораспределительного механизма, на основе анализа звукового излучения самодействующих клапанов без разборки компрессора;
- возможность проведения акустической диагностики самодействующего газораспределительного устройства методом неразрушающего контроля.

Таким образом, поставленная цель анализа подходов к оценке технического состояния герметичного хладного компрессора на примере применения акустического метода успешно выполнена.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Набережных А.И., Деменев А.В. Теория и практика создания энергоэффективной бытовой холодильной техники, работающей при экстремально высокой температуре окружающей среды // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 25. – №. 2 (25).
2. ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. Группа Т59. Non-destructive check. Classification of types and methods. [Текст] Дата введения 1980-07-01. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 11 ноября 1979 г. № 4245 дата введения установлена 01.07.80. Взамен ГОСТ 18353-73 // Электронный фонд нормативно-правовой документации. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-18353-79> (дата обращения 5.05.2016).
3. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения Technical diagnostics. Terms and definitions [Текст]. Дата введения 1991-01-01. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 26.12.89 № 4143. Взамен ГОСТ 20911-75. Переиздание. Ноябрь 2009 г. Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200009481> (дата обращения 5.05.2016).
4. Лепеш А.Г., Спроге Г.А. Сравнительный анализ методов технического диагностирования при оценке технического состояния объекта // Техно-технологические проблемы сервиса. – 2016. – №. 2 (36).
5. Набережных А.И., Деменев А.В. Функциональные показатели и конструктивные особенности поршневых компрессоров для бытовых холодильников и морозильников ЗАО «АТЛАНТ» / А.И. Набережных, А.В. Деменев // Материалы секции «Современная бытовая техника, управляющие системы и

- телекоммуникации» III Международной конференции «Индустрии сервиса в XXI века» – М.: МГУсервиса, 2001 – 118 с.
6. Naberezhnykh A.I., Demenev A.V., Danilov A.I. Scientific basis of improving of hermetic refrigeration compressors with indicators relevant to international level / A.I. Naberezhnykh, A.V. Demenev, A.I. Danilov // Applied and Fundamental Studies Proceedings of the 1st International Academic Conference. Edited by Yan Maximov. – 2012. – P. 321-327.
  7. Fontanela F. et al. Development of a stochastic dynamical model for hermetic compressor' s components with experimental investigation // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2016. – Т. 76. – С. 712-728.
  8. Fontanela F., Lenzi A., Silva O.M. Robust analysis of compressors components responses // DINAME 2015 – Proceedings of the XVII International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics V. Steffen, Jr; D.A. Rade; W.M. Bessa (Editors), ABCM, Natal, RN, Brazil, February 22-27, 2015.
  9. Деменев А.В. Метод инструментального контроля уровня шума, создаваемый самодействующими клапанами герметичного компрессора // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – №. 06 (60) Часть 3. – С. 118-123.
  10. Набережных А.И., Деменев А.В., Данилов А.И. Теория и практика создания малошумных и энергоэффективных герметичных хладоновых компрессоров / А.И. Набережных, А.В. Деменев, А.И. Данилов // Сборник научных трудов «Современная российская наука глазами молодых исследователей» Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Научно-Инновационный Центр. – 2013. – С. 188-208.
  11. Деменев А.В. Снижение шума клапанного механизма поршневого компрессора для бытовой холодильной техники: дис. канд. тех. наук: 05.02.13: защищена 24.10.08: утв. 20.11.08 – Москва, 2008. – 160 с.

**Demenev Alexey Vladimirovich**

Russian state university of tourism and service, Moscow, Russia  
E-mail: [saprmgus@mail.ru](mailto:saprmgus@mail.ru)

## **Technology for assessing the technical state of a hermetic chilled compressor**

**Abstract.** The above technique of instrumental control of the technical state of a hermetically sealed refrigerant compressor makes it possible to perform qualitative and quantitative analysis of sound radiation from the constructive state of the device without analyzing it. Acoustic research of a domestic compressor is usually evaluated using mathematical-mechanical models, and many decisions are made on the basis of modeling. However, such an investigation is usually performed in a deterministic structure that can not consider the epistemic uncertainties arising, for example, by the processes of colliding elements of the gas distribution mechanism. The known methods for studying the sound emission of a gas-distributing mechanism, as a source of noise, do not take into account the interaction factor of the conjugate noise sources. The article compares the method of instrumental control, which makes it possible to determine the acoustic parameters on an open casing and the method of non-destructive testing of a compressor. The obtained results demonstrate reproduced and the accuracy of the study.

**Keywords:** technical state inspection; hermetic reciprocating compressor; hermetic refrigeration compressors; nondestructive check; acoustical radiation; gas distribution mechanism