

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПА ДИНАМИЧЕСКОГО ГАШЕНИЯ ВИБРАЦИИ В АВТОНОМНЫХ КОНДИЦИОНЕРАХ**

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований уровня вибрации в автономных кондиционерах и рассмотрен принцип динамического гашения для снижения вибрации.*

**Ключевые слова:** кондиционер, вибрация, компрессор, антивибратор, холодильная машина.

*У статті наведені результати експериментальних досліджень рівня вібрації в автономних кондиціонерах і розглянуто принцип динамічного гасіння для зниження вібрації.*

**Ключові слова:** кондиціонер, вібрація, компресор, антивібратор, холодильна машина.

*The article presents the results of experimental research into the levels of vibration in autonomous air-conditioners. It also deals with the principle of dynamic deexcitation as a possible way for the reduction of vibration.*

**Key words:** air-conditioner, vibration, compressor, vibrator absorber, refrigerating mechanism.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Автономные кондиционеры в последнее время широко используются в судовых системах кондиционирования воздуха, предназначенных для создания в обслуживаемых помещениях благоприятных для экипажей и пассажиров условий обитаемости. Важными факторами, влияющими на работоспособность, самочувствие и настроение людей, являются климатические условия и шум на рабочих постах, в каютах и общественных помещениях судов [1].

Автономные системы имеют в своем составе все агрегаты тепло-влажностной обработки воздуха. Местные автономные кондиционеры устанавливаются в каютах, салонах и других жилых и служебных помещениях судов. Центральные автономные кондиционеры обслуживают группу помещений.

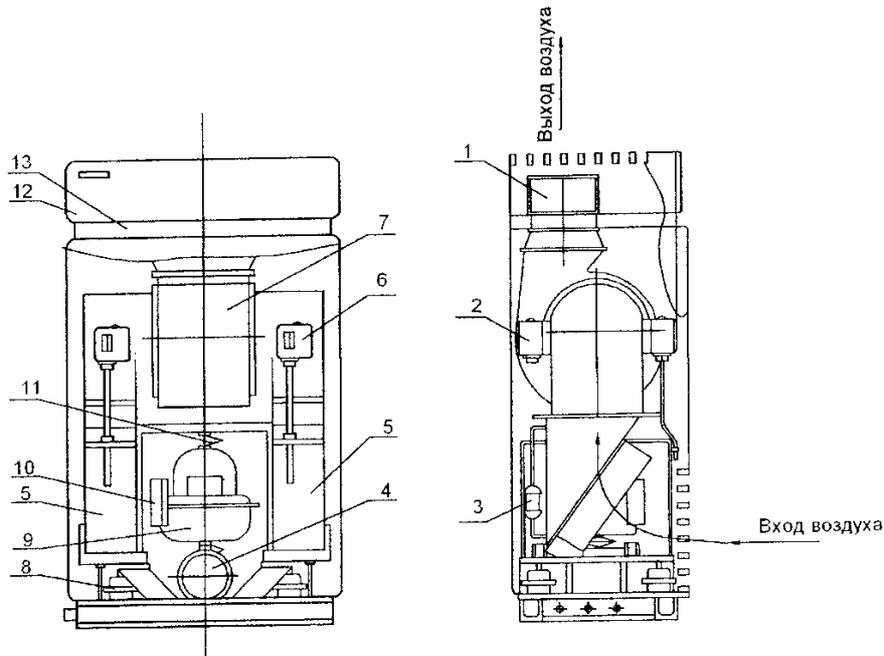
Обладая рядом эксплуатационных преимуществ, автономные кондиционеры требуют не только малозумных комплектующих агрегатов, но и особых малогабаритных средств снижения воздушного шума и вибраций – реализации принципа динамического гашения вибрации.

Компрессоры холодильных машин автономных кондиционеров являются интенсивными источниками вибраций, поэтому их вибрации в процессе проектирования следует уделять особое внимание.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Судовой местный автономный кондиционер «Нептун – 40» [4] устойчиво работает в режиме охлаждения при температуре смеси наружного и рециркуляционного воздуха на входе в воздухоохладитель 16...36 °С по мокрому термометру и температуре охлаждающей забортной воды 10...35 °С.

Компоновка кондиционера «Нептун-40» определялась необходимостью максимального снижения уровня шума и вибрации (рис. 1). Для уменьшения звуковой энергии, проникающей через корпус кондиционера, воздушный тракт изолирован от корпуса, а корпус изготовлен из алюминий-магниевого сплава толщиной 3 мм и внутри покрыт изолированным слоем резины. Рабочее колесо вентилятора спроектировано с загнутыми вперед лопатками, а сам он размещен в средней части воздушного тракта, чем достигается глушение шума на сторонах всасывания и нагнетания. Для уменьшения звуковой энергии, проходящей через выпускную решетку и значительно влияющей на уровень шума вокруг кондиционера, на стороне нагнетания вентилятора установлен короткий патрубок.



**Рис. 1.** Компоновка кондиционера «Нептуна-40»:

- 1 – воздухонагреватель; 2 – реле давления; 3 – фильтр-осушитель; 4 – конденсатор;  
 5 – воздухоохладитель; 6 – датчик – реле давления; 7 – электровентиль;  
 8, 11 – амортизаторы; 9 – компрессор; 10 – antivибратор; 12 – пульт управления; 13 – корпус

Источниками вибрации в кондиционере «Нептун-40» являются вентилятор и компрессор. Однако уровень вибрации вентилятора незначителен. Поэтому первостепенной задачей было снижения уровня вибрации компрессора КХГ – 4,5.

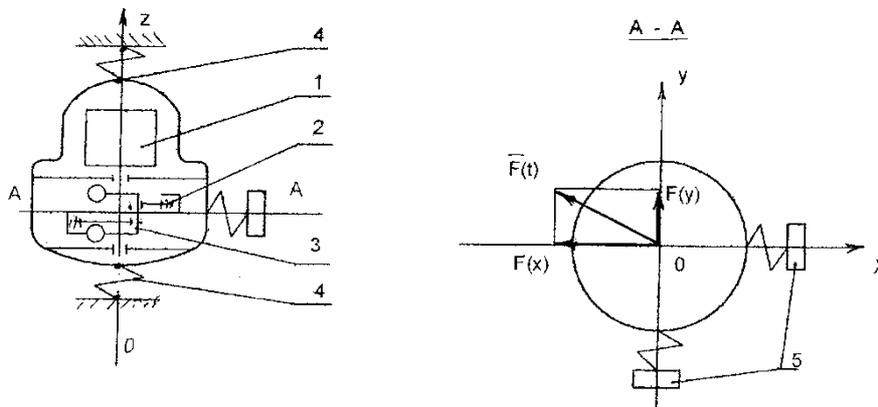
Компрессор герметичный поршневой двухцилиндровый непрямоточный КХГ – 4,5 со встроенным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором, насаженным непосредственно на вертикальный эксцентриковый вал компрессора, синхронная частота вращения  $25 \text{ с}^{-1}$  (1500 об/мин).

При работе компрессора КХГ – 4,5 главной причиной вибрации являются силы инерции неуравновешенных масс. Балансировка коленчатого вала противовесами и технологическими втулками, заменяющими действие шатунно-поршневой группы, позволяет уменьшить эти силы. Однако из-за конструктивных ограничений полностью их уравновесить практически невозможно.

Основным источником вибрации компрессора на частоте вращения вала являются конструктивно неуравновешенные силы инерции первого порядка шатунно-поршневой группы [8; 9].

Вектор  $F(t)$  равнодействующей неуравновешенных сил расположен в плоскости А – А (рис. 2), равно отстоящей от осей цилиндров, вращается в направлении, противоположном валу, и имеет с ним одинаковую угловую скорость. Для уравновешивания проекций  $F(x)$  и  $F(y)$  вектора  $F(t)$  на корпусе компрессора в плоскости А – А установлены два пассивных

антивибратора, настроенных на частоту вращения вала. Оси чувствительности  $Ox$  и  $Oy$  антивибраторов расположены в плоскости  $A - A$ , взаимно перпендикулярны и пересекают ось вращения вала.

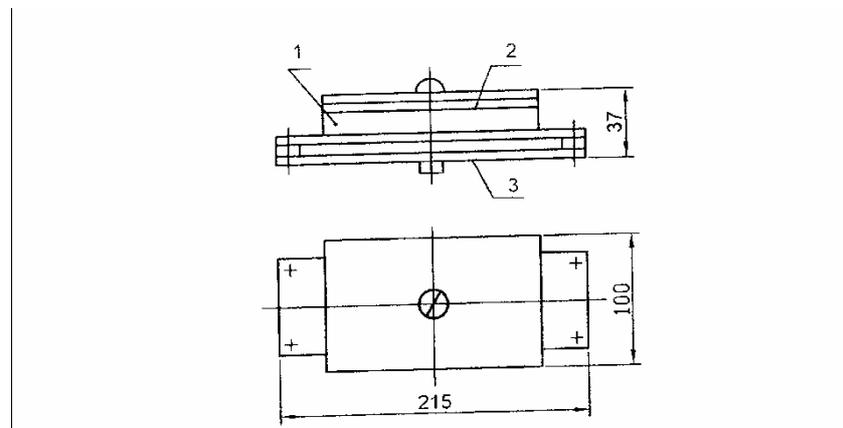


**Рис. 2.** Схема компрессора:

1 – электродвигатель; 2 – поршень; 3 – коленчатый вал с противовесами;  
4 – пружинный амортизатор; 5 – антивибратор

Масса двух антивибраторов 10,2 кг. Для настройки антивибратора его масса изменяется с помощью пластин (рис. 3).

Основным источником вибрации компрессора на частоте 48 Гц является вторая гармоника момента газодинамических сил, под действием которой компрессор совершает поворотные колебания вокруг главной основной центральной оси инерции  $OZ$ , совпадающей с осью вала (рис. 2).



**Рис. 3.** Конструкция антивибратора:

1 – масса антивибратора; 2 – набор пластин для изменения массы антивибратора; 3 – стальная пластина, выполняющая роль упругого элемента

Для виброзащиты кондиционера применены пружинные амортизаторы, имеющие малую крутильную жесткость. Размещены амортизаторы на оси  $OZ$ , что исключило линейные перемещения их точек крепления. В результате этого амплитуда колебаний кондиционера на частоте 48 Гц уменьшилась в 10 раз.

Для снижения уровня вибрации кондиционера холодильная машина и электроventильатор скомпонованы в один блок, который устанавливается в корпусе на четырех спаренных амортизаторах АКСС-40И (рис. 1).

Результаты замеров уровней вибрации в  $1/3$  октавных полосах частот, дБ, компрессора КХГ – 4,5 и кондиционера «Нептун-40» приведены на рис. 6.

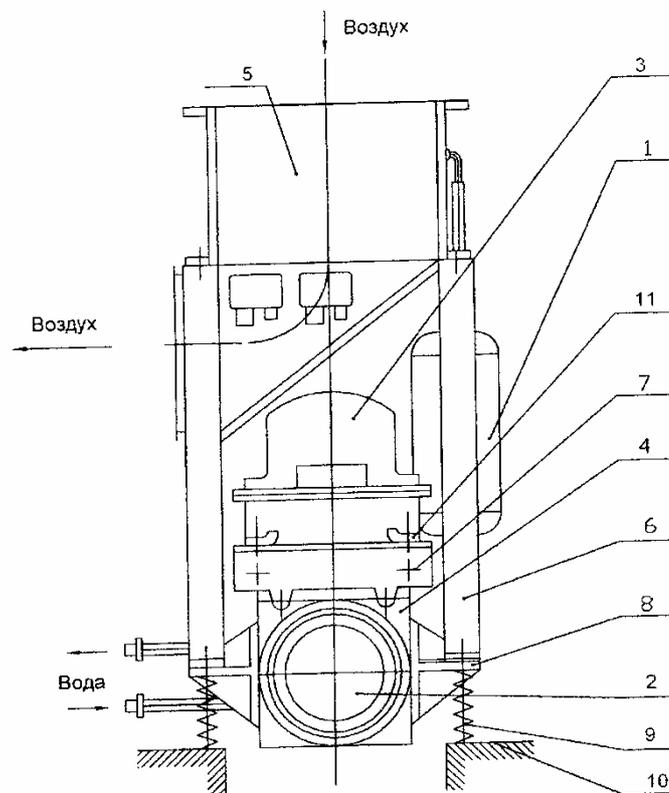
Как видно из рис. 6, применение antivибраторов позволило резко снизить уровень вибрации кондиционера. На частоте вращения вала компрессора  $25\text{ с}^{-1}$  уровень вибрации кондиционера снизился на 28 дБ.

Принцип динамического гашения вибрации применен и в судовом центральном автономном кондиционере АК 18/6-13 («Климат-125»).

Кондиционеры «Климат-125» предназначены для обеспечения температурно-влажностного и воздушного режимов в помещениях малотоннажных судов [3]. Габаритные размеры кондиционера: длина 1200 мм, высота 1700 мм, глубина 580 мм. Масса кондиционера 530 кг.

Кондиционеры работают в режиме охлаждения при температуре смеси наружного и рециркуляционного воздуха на входе в воздухоохладитель  $12,4...36\text{ }^{\circ}\text{C}$  по влажному термометру и температуре охлаждающей забортной воды  $-2...+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Холодильная машина кондиционера, выполненная в виде агрегата, – паровая компрессорная, работает на хладагенте R22 (рис. 4) [7].



**Рис. 4.** Компоновка блока холодильной машины кондиционера «Климат-125»:

- 1 – аккумулятор-теплообменник; 2 – конденсатор; 3 – компрессор; 4 – трубная доска конденсатора; 5 – воздухоохладитель; 6 – каркас; 7 – картерный подогреватель; 8 – лапы; 9 – амортизатор; 10 – фундамент кондиционера; 11 – лапы компрессора

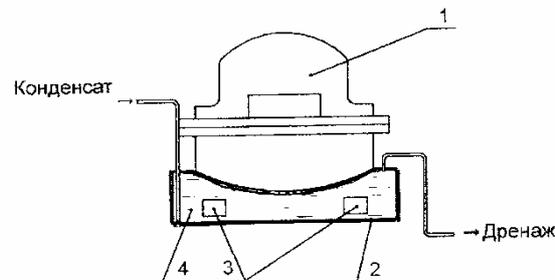
Компрессор кондиционера марки КХГ – 14,0 – 1 герметичный, поршневой, четырехцилиндровый, непрямоточный, с частотой вращения  $25\text{ с}^{-1}$ . Встроенный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором насажен непосредственно на вертикальный эксцентриковый вал компрессора. В обмотку статора электродвигателя вмонтированы терморезисторы тепловой защиты.

Конденсатор – водяной, кожухотрубный, многоходовой. Трубки расположены в шахматном порядке с шагом по ширине пучка 25 мм, по высоте – 26 мм. коэффициент оребрения 3,25.

Воздухоохладитель непосредственного охлаждения изготовлен из медных трубок диаметром  $12 \times 1\text{ мм}$  с пластинчатыми медными ребрами толщиной 0,2 мм. Коэффициент оребрения 13,4. Расположение трубок шахматное, шаг по высоте воздухоохладителя 30 мм, по глубине 26 мм. Для улучшения контакта между ребрами и трубками теплообменную

поверхность лудят. Собственная частота теплообменной поверхности находится в пределах 40...50 Гц, длина трубок 450 мм.

Для предотвращения гидравлического удара при пуске кондиционера в режим охлаждения после длительной стоянки предусмотрен подогрев масла в течение 15...20 мин в картере компрессор [6]. Для этой цели служит картерный нагреватель, состоящий из двух электронагревателей, встроенных в залитую жидкостью (водой) полость между наружной поверхностью картера и охватывающим его металлическим корпусом (рис. 5). Такое решение обеспечивает надежный тепловой контакт масла с обогреваемой частью компрессора, в том числе в условиях крена и дифферента, поскольку положение греющей и нагреваемой сред остается согласованным.



**Рис. 5.** Компоновка компрессора и картерного подогревателя:

1 – компрессор; 2 – картерный подогреватель; 3 – электронагреватель; 4 – конденсат

Для снижения шума электровентилятор размещен в средней части воздушного тракта, чем достигается глушение шума: на стороне всасывания – воздухоохладителем, на стороне нагнетания – электрическим воздушнонагревателем.

Для снижения вибрации и повышения вибростойкости агрегат холодильной машины установлен на амортизаторы (рис. 4).

В процессе работы холодильной машины имеет место вибрация компрессора, которая передается через лапы на картерный подогреватель, затем трубным доскам конденсатора, установленным на лапах и приводит в движение амортизатор. Причем колебания одного амортизатора передаются другому, спаренному с первым вертикально. Вибрация от компрессора по каркасу передается воздухоохладителю, который вибрирует в противофазе и таким образом гасит колебания всей холодильной машины, так как скорость движения хладагента по трубкам воздухоохладителя синхронизована с частотой вращения компрессора, движение которого является основным возбудителем вибраций [5]. Положительный эффект достигается за счет использования принципа динамического гашения вибрации в результате использования рациональной схемы взаимно перпендикулярного расположения элементов (трубок конденсатора и воздухоохладителя) в структуре холодильной машины, а также за счет присоединенной массы жидкости в картерном подогревателе.

Результаты замеров уровней вибрации в 1/3 октавных полосах частот L, дБ, компрессора КХГ – 14,0 – 1, кондиционера АКМГ – Э и кондиционера «Климат-125» приведены на рис. 7.

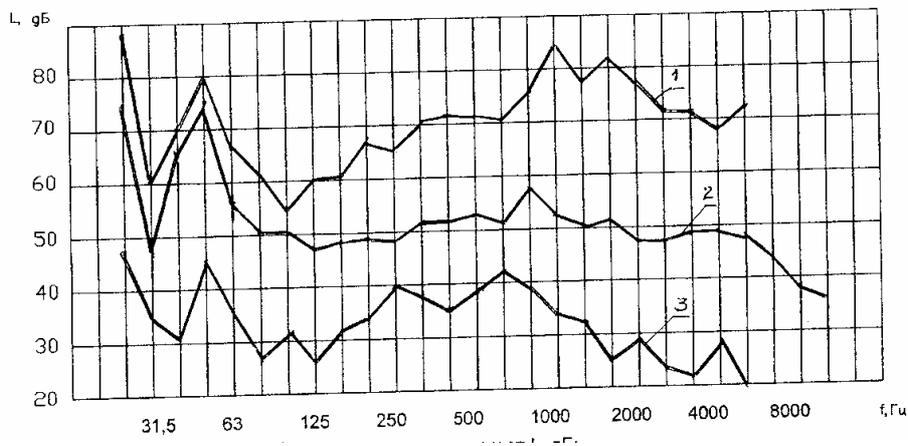
В центральном автономном кондиционере АКМГ – Э холодильная машина не скомпонована в виде единого агрегата [2]. Как видно с рис. 7, рациональная компоновка холодильной машины кондиционера «Климат – 125» в сравнении с кондиционером АКМГ – Э обеспечила снижение уровня вибрации кондиционера на частоте вращения компрессора  $f = 25$  Гц на 10 дБ, на частотах свыше 1000 Гц – более 10 дБ.

## **ВЫВОДЫ**

1. Принцип динамического гашения вибрации является тем малогабаритным средством снижения воздушного шума и вибраций, которое дает значительный эффект в судовых автономных кондиционерах.

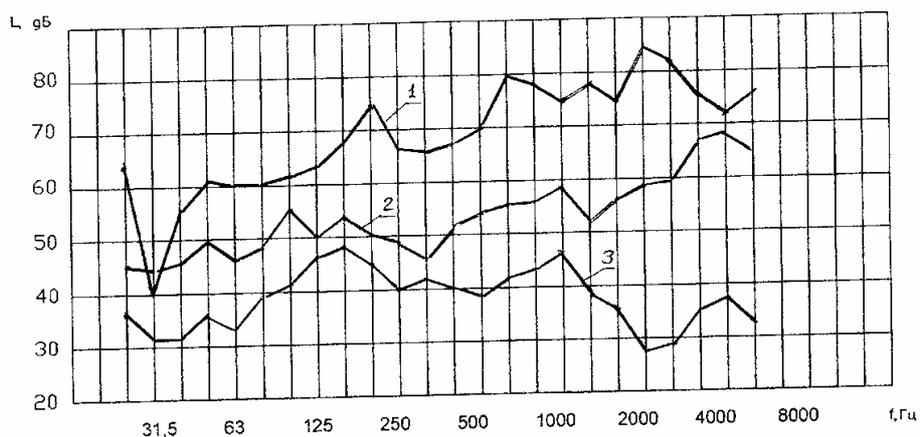
2. На частоте вращения компрессора уровень вибрации в местном автономном кондиционере снижен на 28 дБ, в центральном автономном кондиционере – на 10 дБ.

3. Анализ показывает, что эффект ослабления виброгасителем колебаний рамы кондиционера наблюдается не только в области собственной частоты виброгасителя, где он наибольший, но и на более низких частотах виброизолированной установки.



**Рис. 6.** Уровни вибрации в 1/3 октавных полосах частот  $L$ , дБ:

- 1 – компрессор КХГ-4,5; 2 – кондиционер «Нептун-40» – компрессор без антивибраторов;
- 3 – кондиционер «Нептун-40» – компрессор с антивибраторами



**Рис. 7.** Уровни вибрации в 1/3 октавных полосах частот  $L$ , дБ:

- 1 - компрессор КХГ - 14,0-1;
- 2 - кондиционер АКМГ - Э;
- 3 - кондиционер «Климат - 125» (АК 18/6 -13).

**Рис. 7.** Уровни вибрации в 1/3 октавных полосах частот  $L$ , дБ:

- 1 – компрессор КХГ-14,0-1; 2 – кондиционер АКМГ-Э;
- 3 – кондиционер «Климат-125» (АК 18/6-13)

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Хорошев Г.А., Петров Ю.И., Егоров Н.Ф. Шум судовых систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – Л.: Судостроение, 1974. – 200 с.
2. Патлайчук Н.И., Мостовой А.Ф., Кириличенко С.А. Автономный судовой кондиционер // Холодильная техника. –1977. – № 8. – С. 43-46.
3. Патлайчук Н.И., Хомуленко А.П., Юровский С.С. Новые центральные кондиционеры // Холодильная техника. – 1985. – № 5. – С. 27-29.
4. Патлайчук Н.И., Тимошенко А.П., Глодов В.В. Судовой автономный кондиционер «Нептун-40» // Холодильная техника. – 1985. – № 7. – С. 26-29.
5. Патлайчук Н.И., Фокин А.И., Нерубенко Г.П., Галь А.Ф. Холодильная машина. А.с. СССР № 1247632. – М.: ВНИИПИ, 1986. – 2 с.
6. Патлайчук Н.И., Мавропуло Д.Я., Терских Г.А., Хомуленко А.П. Корпус герметичного компрессора судовой холодильной машины. А.с. СССР № 1116214. – М.: ВНИИПИ, 1985. – 3 с.
7. Патлайчук Н.И., Хомуленко А.П., Щесюк О.В. Малогабаритный центральный кондиционер для судов. Тез. докл. на Всесоюз. научн.-практ. конф. «Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговли и на транспорте». – Одесса, 1989. – С. 31-32.
8. Клюкин И.И., Клещёв А.А. Судовая акустика. – Л.: Судостроение, 1982. – 144 с.
9. Никифоров А.С. Вибропоглощение на судах. – Л.: Судостроение, 1979. – 184 с.

Рецензенты: д.т.н., профессор Хлопенко М.Я.;  
к.т.н., доцент Щербак Ю.Г.

© Патлайчук Н.И., Щесюк О.В., 2010

*Статья поступила в редколлегию 30.11.2010 г.*