

УДК 534.647:621.432(001.8)

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ОБКАТКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ

С.А. Корнилович, Д.Н. Алгазин, Г.В. Редреев, А.Н. Русанов  
Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, г. Омск, Россия.

**Аннотация.** Показана важность повышения безотказности турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания. Выдвинуто предположение о причинах повышенного износа подшипникового узла. Поставлены задачи повышения износостойкости узла обработкой ремонтно-восстановительными составам (РВС) на этапе обкатки. Для оценки качества ремонта и определения момента завершения обработки узла РВС обосновано использование виброакустического метода диагностирования.

**Ключевые слова:** безотказность, турбокомпрессор, износ, подшипниковый узел, ремонтно-восстановительный состав, виброакустический метод диагностирования.

### Введение

Важное значение для эффективного функционирования двигателей внутреннего сгорания имеет обеспечение подачи необходимого количества воздуха в цилиндры. Особенно это актуально для дизелей с турбокомпрессорами (ТКР). Надежность ТКР определяется в первую очередь надежностью работы узла подшипников. К узлу подшипников предъявляются очень жесткие требования: сохранять устойчивость вращения ротора (70

- 100 тыс. об./мин) в широком диапазоне изменения вязкости масла, температуры и давления масла; сохранять устойчивость вращения при увеличении зазоров вал-подшипник-корпус вследствие их износа; не иметь резонансных зон работы [1].

### Обеспечение и оценка надежности подшипникового узла.

В ТКР двигателей ЯМЗ [2] устанавливаются подшипниковые узлы двух типов (см. рис. 1)

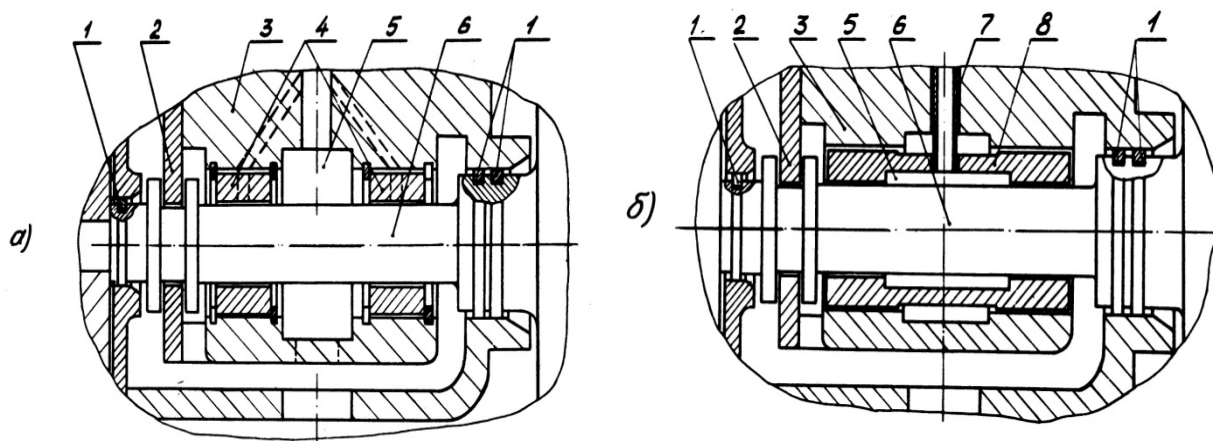


Рис. 1. Конструкции узлов подшипников ТКР [1]:

- а) с плавающими вращающимися втулками (ВВ); б) с плавающей невращающейся моновтулкой (НМ);  
1 – уплотнительные кольца; 2 – упорный подшипник; 3 – корпус; 4 – плавающие втулки;  
5 – подвод масла; 6 – вал ротора; 7 – стопорная втулка; 8 – плавающая моновтулка

Нагрузка на радиальные подшипники определяется центробежными силами неуравновешенных масс колес компрессора и турбины, консольно расположенных относительно подшипников. Эти неуравновешенные

массы вращаются с угловой скоростью вала и одновременно совершают прецессионное движение относительно геометрической оси опор подшипников. Прецессионное движение можно представить как движение обкатыва-

ния вращающегося ротора относительно поверхности опор подшипников. При прецессии ротора возникает дополнительная внешняя нагрузка на подшипники, обусловленная смещением физической оси вращающейся массы на величину радиуса прецессии. Такое сложное нагружение через реакцию опорных поверхностей подшипников воздействует на масляные слои в подшипнике [1].

Как показывает опыт ремонтных предприятий, в частности ОАО «Черлакагросервис», более 50 % поступающих в ремонт двигателей имеют повышенный износ подшипниковых узлов ТКР [3]. Как правило, преждевременный износ подшипников происходит по двум основным причинам: пуск двигателей с непрогретым маслом в холодное время года, когда холодное масло не поступает своевременно к подшипникам ТКР; неправильная остановка дизеля, без работы на холостом ходу не менее 5 мин., когда давление масла падает до нуля, а ротор ТКР вращается по инерции длительное время в условиях граничного и сухого трения. Кроме этого, износ упорного подшипника приводит к поступлению масла на колесо компрессора ТКР и соответственно во впускной патрубков дизеля.

Обкатка отремонтированных двигателей выявляет на 1/3 из них протечки масла через упорный подшипник ТКР. При этом комплектующие имели допуски на размеры в соответствии с нормативно-технической документацией. Возникает противоречие, разрешить которое можно, обкатывая исследуемое сопряжение с применением ремонтно-восстановительных составов в условиях ремонтного предприятия.

На этапе обкатки важно оценить качество восстановления работоспособности турбокомпрессора. Кроме этого, при применении ремонтно-восстановительных составов необходимо установить момент завершения обработки агрегата. Безразборная оценка состояния является перспективным направлением диагностики, особенно это относится к диагностике таких сложных систем как двигатель [4]. Внедрение методов безразборной диагностики позволит более полно использовать ресурс машин благодаря переходу от техни-

ческого обслуживания по регламенту к обслуживанию по состоянию. Прогнозирование изменения технического состояния машин, на основании которого оценивается остаточный ресурс, позволит избежать экономических издержек от аварийных остановок.

При безразборной виброакустической диагностике проверяемым параметром являются колебания ротора, что выражается в соударениях между деталями турбокомпрессора и может быть выявлено диагностическими приборами. В виброакустической диагностике используют приборы, улавливающие акустические сигналы, такие как удары и трение деталей друг о друга, газодинамические процессы, неуравновешенность движущихся и вращающихся масс, все они проявляются при различных режимах работы турбокомпрессора [5,6]. Алексеевым О.А. в своей работе [7] предложена следующая классификация источников шума и вибраций в турбокомпрессорах (см. рис. 2).

Самый простой и встречающийся на всех турбокомпрессорах сигнал – это шум работы турбины и компрессора, вызванный тем, что на колесах турбины и компрессора расположены лопатки. Вращаясь, турбина и колесо периодически захватывают порцию отработавших газов или воздуха с частотой равной:

$$f = \frac{N\pi \cdot n}{30}, \text{ Гц}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество лопаток турбины или компрессора, шт.  $n$  – частота вращения турбины, об./мин.

Проведенный нами ранее силовой анализ турбокомпрессора [4], (см. рис. 3), показал, что при нарушении зазора в подшипнике в точке  $B$  от действия силы давления отработавших газов  $F_g$  на колесо турбины возникнет колебательная система маятникового типа с точкой крепления маятника в точке  $C$ . В свою очередь, данные колебания вызовут акустический эффект в виде шума определенной частоты. Аналогичным образом, при нарушении зазора в подшипнике в точке  $C$  возникнет колебательная система, которая так же вызовет акустический эффект.



Рис. 2. Классификация источников шума и вибраций в турбокомпрессорах

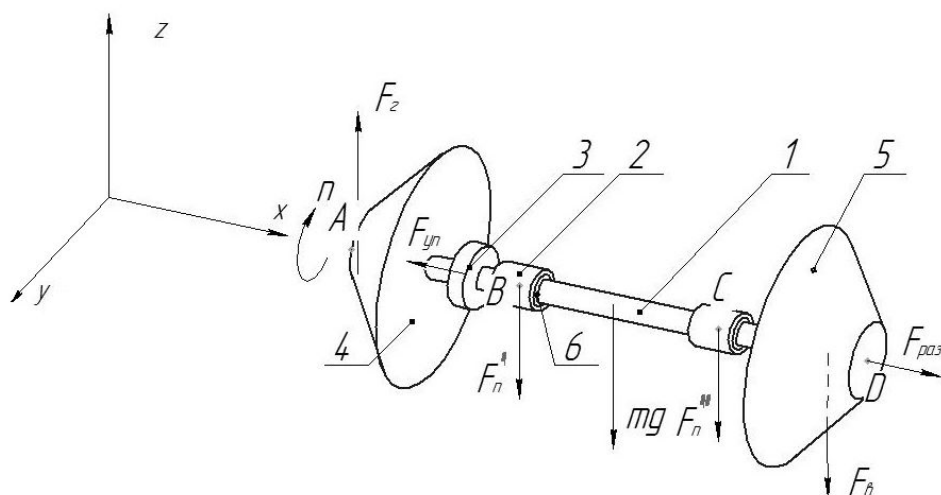


Рис. 3. Схема ротора турбокомпрессора с подшипниками  
 1 – вал ротора, 2 – подшипник, 3 – упорный подшипник, 4 – колесо турбины,  
 5 – колесо компрессора, 6 – слой масла в подшипнике

Другим диагностическим признаком неуравновешенности, обладающим преимуществами, связанными с увеличением отношения сигнал/помеха, является признак, полученный с помощью корреляционного метода.

Нормированная функция взаимной корреляции определяется выражением [8]:

$$\rho_{xy} = \frac{\frac{A}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_{ep} \tau)}{\sqrt{\frac{A^2}{2} + \langle z^2(t) \rangle}}, \quad (2)$$

где  $A$  – амплитуда выделяемой компоненты,  $f_{ep}$  – частота вращения ротора турбокомпрессора,  $\tau$  – время запаздывания (задержки) стробирующего импульса относительно синхроимпульса,  $z(t)$  – шумовая компонента виброакустического процесса.

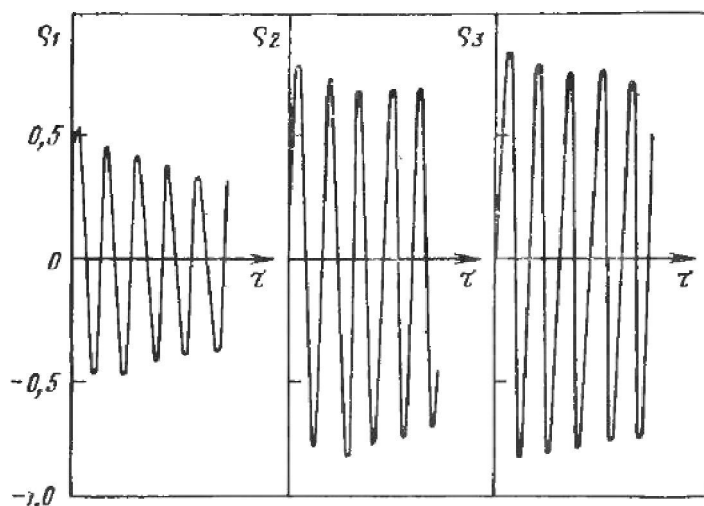


Рис. 4. Графики нормированной функции взаимной корреляции  $\rho_{xy}(\tau)$  вибраций и опорного сигнала частоты вращения для трех значений дисбаланса ротора турбокомпрессора (в порядке их возрастания) [8]

### Заключение

Обработка турбокомпрессора РВС при обкатке с обеспечением контроля технического состояния методом виброакустики позволяет решить ряд важных задач. Во-первых, обработка РВС позволяет значительно повысить износостойкость подшипникового узла турбокомпрессора. Это, в свою очередь, позволит обойтись без инструментального диагностирования турбокомпрессора в период рядовой эксплуатации двигателя. Во-вторых, в условиях ремонтного предприятия применение такого сложного вида инструментального диагностирования, как вибродиагностика, не представляет технических трудностей. В-третьих, применение непрерывного диагностирования на этапе обкатки обеспечивает достоверность информации о достижении параметров технического состояния требуемых величин.

### Библиографический список

1. Савельев, Г.М. Повышение эксплуатационной надежности автомобильных дизелей ЯМЗ с наддувом: учеб. пособие для институтов повышения квалификации / Г.М. Савельев, Б.Ф. Лямцев, Е.П. Слабов. – М.:1988. – 96 с.

2. Силовые агрегаты ЯМЗ-238БЕ2, ЯМЗ-238БЕ ЯМЗ-238ДЕ2, ЯМЗ-238ДЕ. Руководство по эксплуатации 238ДЕ-3902150 РЭ / Под ред. Н.Л. Шамаль, В.К. Кузнецов, Д.В. Бойков, Б.П. Бугай и др. – Ярославль, ОАО "АВТОДИЗЕЛЬ" (Ярославский моторный завод), 2007. – 332 с.

3. Редреев, Г.В. К вопросу о режимах обкатки турбокомпрессоров с применением ремонтно-восстановительных составов / Г.В. Редреев, А.Н. Русанов // Вестник ОмГАУ. – 2012. – № 1 (5). – С. 68-71.

4. Алгазин, Д.Н. Безразборная диагностика турбокомпрессоров двигателей КамАЗ / Д.Н. Алгазин, Е.А. Забудская // Вестник ОмГАУ. – 2015. – № 2 (18). – С. 71-75

5. Волков, А. В. Виброакустическая диагностика турбокомпрессоров тепловозных дизелей: дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / А.В. Волков. – Ростов н/Д. – 2005. – 215 с.

6. Гаффаров, А.Г. Восстановление турбокомпрессоров автомобильных дизелей применением усовершенствованного ремонтного комплекса подшипникового узла: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. Г. Гаффаров. – Оренбург, 2012. – 16 с.

7. Алексеев, О.А. Обоснование средств диагностирования турбокомпрессоров мобильных энергетических средств: дис ... канд. техн. наук: 05.20.03 / О. А. Алексеев. – Оренбург, 2007. – 175 с.

8. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

**DIAGNOSTICS TURBOCOMPRESSORS OF DIESELS ENGINE AT RUNNING USING REPAIR AND RESTORATION COMPOSITIONS**

S.A. Kornilovich, D.N. Algazin,  
G.V. Redreev, A.N. Rusanov

**Abstract.** The article dwells upon the importance of increasing reliability of turbocompressors of internal combustion engines. There is a suggestion on causes of increased wear of the unit's bearings. There are set the problems of improving the wear resistance of the unit using repair and restoration compositions (RRC) at the stage of the running. To assess the quality of repair and to determine the completion's moment of processing RRC unit the use of vibro-acoustic method of diagnostics is justified.

**Keywords:** reliability, turbocompressor, wear, bearing unit, repair and restoration composition, method of vibroacoustic diagnostics.

**References**

1. Savell'ev G.M., Lyamcev B.F., Slabov E.P. *Povyshenie jekspluacion-noj nadezhnosti avtomobil'nyh dizelej JaMZ s nadduvom: ucheb. posobie dlja institutov povyshe-nija kvalifikacii* [Increasing operational reliability of automobile supercharged diesel engine]. Moscow, 1988. 96 p.

2. Silovye agregaty JaMZ-238BE2, JaMZ-238BE JaMZ-238DE2, JaMZ-238DE. Rukovodstvo po jekspluacii 238DE-3902150 RJe / Pod red. N.L. Shamal', V.K. Kuznecov, D.V. Bojkov, B.P. Bugaj i dr. [Power generating sets YaMZ-238BE2, YaMZ-238BE YaMZ-238DE2, YaMZ-238DE. Operating Instructions 238DE-3902150 RE]. Jaroslavl', OAO "AVTODIZEL" (Jaroslav-skiy motornyj zavod), 2007. 332 p.

3. Redreev G.V., Rusanov A.N. K voprosu o rezhimakh obkatki turbokompressorov s primeneniem remontno-vosstanovitel'nyh sostavov [To the problem of regimes of running turbocompressors using repair compositions]. *Vestnik OmGAU*, 2012, no 1 (5). pp. 68-71.

4. Algazin D.N., Zabudskaja E.A. Bezrazbornaja diagnostika turbokompressorov dvigatelej KamAZ [Uncollapsible diagnostics of turbocompressors of KamAZ engines]. *Vestnik OmGAU*, 2015, no 2 (18). pp. 71-75.

5. Volkov A. V. *Vibroakusticheskaja diagnostika turbokompressorov teplovoznnyh dizelej: dis... kand. tehn. nauk* [Vibroacoustic diagnostics of turbocompressors of diesel engines: dis. cand. tehn. sciences]. Rostov n/D. 2005. 215 p.

6. Gaffarov A.G. *Vosstanovlenie turbokompressorov avtomobil'nyh dizelej primeneniem usovershenstvovannogo remonnogo kompleksa podshipnikovogo uzla: avtoref. dis. kand. tehn. nauk* [Restoration of turbocompressors of diesel engines using improved repair complex of bearing unit: dis. candidate of technical sciences]. Orenburg, 2012. 16 p.

7. Alekseev O.A. *Obosnovanie sredstv diagnostirovaniya turbokompressorov mobil'nyh*

*jenergeticheskikh sredstv: dis. kand. tehn. nauk* [Justifying means of diagnosing turbocompressors of mobile power means: dis. candidate of technical sciences]. Orenburg, 2007. 175 p.

8. Genkin M.D., Sokolova A.G. *Vibroakusticheskaja diagnostika mashin i mehanizmov* [Vibroacoustic diagnostics of machines and mechanisms]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 288 p.

*Корнилович Станислав Антонович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис, механика и электротехника» Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (ОмГАУ). (644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, 1, e-mail: st.omsk@bk.ru).*

*Алгазин Дмитрий Николаевич (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис, механика и электротехника» Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (ОмГАУ). (644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, 1, e-mail: dn.algazin@omgau.org).*

*Редреев Григорий Васильевич (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технический сервис, механика и электротехника» Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (ОмГАУ). (644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, 1, e-mail: weerwg@mail.ru).*

*Русанов Анатолий Николаевич (Россия, г. Омск) – аспирант кафедры «Технический сервис, механика и электротехника» Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (ОмГАУ). (644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, 1, e-mail: rusanov\_an@mail.ru).*

*Kornilovich Stanislav Antonovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor of department "Maintenance, mechanics and electrical technology", Omsk State Agrarian University (644008, Omsk, Institutskaya Square St. 1, e-mail: st.omsk@bk.ru).*

*Algazin Dmitry Nikolaevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor of department «Maintenance, mechanics and electrical technology», Omsk State Agrarian University (644008, Omsk, Institutskaya Square St. 1, e-mail: dn.algazin@omgau.org)*

*Redreev Grigory Vasilyevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor of department «Maintenance, mechanics and electrical technology», Omsk State Agrarian University (644008, Omsk, Institutskaya Square St. 1, e-mail: weerwg@mail.ru).*

*Rusanov Anatoly Nikolaevich (Russian Federation, Omsk) – postgraduate student of the department «Maintenance, mechanics and electrical technology», Omsk State Agrarian University (644008, Omsk, Institutskaya Square St. 1, e-mail: rusanov\_an@mail.ru).*