

УДК 621.433: 621.515: 629.351 (470.56)

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПАО КАМАЗ ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ ТКР 7С-6

*Р.К. Галиев, к.т.н. директор,  
завод запасных частей и комплектующих ПАО КамАЗ  
Г.Г. Гаффаров вед. инж., А.Г. Гаффаров, к.т.н. вед. инж.,  
завод двигателей ПАО КамАЗ  
С.Ю. Коваленко, к.т.н., ст. преподаватель  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»*

Представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на обеспечение надежности автомобильных газовых двигателей ПАО КамАЗ. На основе анализа эксплуатационной надежности выявлены причины отказов импортных турбокомпрессоров S200G фирмы «Schwitzer». По программе импортозамещения на двигатели установлены отечественные ТКР 7С-6 с выполнением необходимых конструктивных доработок для адаптации к работе на газовых двигателях. Стендовые и ходовые испытания показали эффективность и надежность применения отечественных турбокомпрессоров с модульными подшипниками и дополнительной очисткой смазочного масла.

Одним из новых стратегических направлений расширения номенклатуры продукции, производимой ПАО КамАЗ, является производство автомобилей, автобусов и другой передвижной и стационарной техники с газовыми двигателями. Учитывая, что производственный потенциал ПАО КамАЗ позволяет выпускать до 10 тысяч газовых двигателей в год для различной спецтехники, основным покупателем которой является ООО «Газпром», для компании крайне важно сохранять и развивать лидирующие позиции на рынке газомоторной техники как Российской Федерации, так и за рубежом.

Вместе с тем, при проведении анализа эксплуатационной надежности газовых двигателей производства ПАО КамАЗ по данным отчета отдела анализа качества и рекламации Завода двигателей за 2015 г. было получено от потребителей газомоторной техники ПАО КамАЗ 187 рекламационных претензий к газовым двигателям. По мере увеличения выпуска газомоторной техники ПАО КамАЗ увеличивается количество рекламационных претензий от эксплуатационников. Детальное исследование содержания рекламаций показало, что вследствие повышенной термонапряженности



деталей и узлов происходят частые выходы из строя турбокомпрессоров S200G фирмы «Schwitzer», вследствие чего наблюдается снижение мощности двигателя на всех частотах вращения, нестабильная работа, а также недопустимо высокий расход двигателем моторного масла — до 4 литров на 1000 км пробега у грузовых автомобилей, до 5 литров на 1000 км пробега у пассажирских автобусов НефАЗ, что превышает нормативный расход более чем в 4 раза.

Разборка турбокомпрессоров S200G фирмы «Schwitzer» и осмотр деталей позволили получить следующие результаты.

➤ Извлечение роторов из корпусов подшипников оказалось возможным только с применением молотка вследствие чрезмерной закоксованности корпусов подшипников и роторов в зоне установки уплотнительных колец на турбинной ступени. Причем продукты закоксовывания, спрессованные между корпусом подшипников и ротором, исключали возможность свободного

вращения ротора. Уплотнительные кольца были лишены доступа масла, в узле вращения имело место торможение и перегрев.

➤ Ступицы колеса турбины и валы роторов имеют признаки сильного термического прижога из-за нарушения режима смазки моторным маслом.

➤ Валы роторов в местах сопряжения с внутренними поверхностями плавающих втулок изношены вследствие работы в режиме сухого трения.

➤ Внутренние поверхности корпусов подшипников, в которых вращаются плавающие втулки, изношены вследствие режима сухого трения.

Инженерной группой Завода двигателей ПАО КамАЗ систематически проводятся обследования и осмотры турбокомпрессоров S200G фирмы «Schwitzer» газовых двигателей, возвращенных на завод для восстановительного ремонта. У всех обследованных турбокомпрессоров выше перечисленные дефекты идентичны. Такие турбокомпрессоры подлежат только утилизации.

Анализ показателей рабочего процесса газового двигателя, а также результаты их стендовых испытаний на Заводе Двигателей ПАО КамАЗ показали, что для снижения температуры газов перед турбиной и улучшения процессов газообмена в цилиндрах необходима установка более производительного турбокомпрессора. Снижение температуры рабочего цикла приведет к снижению температуры отработавших газов, и, как следствие, исключит выход из строя свечей зажигания, оплавление поршней, сот каталитического нейтрализатора, снизит температуру моторного масла и его расход на угар.

В рамках действующей в РФ программы импортозамещения ПАО КамАЗ было освоено производство турбокомпрессоров ТКР 7С-6, отличающихся большей производительностью по сравнению с турбокомпрессорами S200G фирмы «Schwitzer» и значительно меньшей стоимостью.

Сравнительный тепловой расчет основных показателей работы газового двигателя с турбокомпрессорами S200G фирмы «Schwitzer» и ТКР 7С-6 показал, что использование ТКР 7С-6 вследствие его большей производительности позволит снизить температуру остаточных газов до 60 °С и, возможно, более. В данном случае это существенно [2]. Для подтверждения выдвинутых предположений и результатов расчета были проведены стендовые испытания в лаборатории испытаний двигателей на заводе двигателей ПАО КамАЗ в г. Набережные Челны на обкаточно-тормозном стенде AVL с гидротормозом фирмы «Schenck» в соответствии с требованиями ГОСТ 14846–81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» (рис. 1).



Рис. 1. Газовый двигатель КамАЗ 820.62-300 на испытательном стенде

Вместе с тем испытания газовых двигателей с серийными турбокомпрессорами ТКР 7С-6 показали, что они также не обеспечивают должного уровня надежности газовых двигателей. Анализ результатов испытаний позволил установить причины выхода из строя серийных турбокомпрессоров ТКР 7С-6:

1) высокая теплонапряженность подшипниковых узлов [4];

2) интенсивный износ внутренних поверхностей корпуса подшипников в местах вращения плавающих втулок. Твердость корпуса подшипников в этих местах составляет 19 HRC, хотя в рекомендациях по проектированию подшипников скольжения твердость этих поверхностей должна составлять не менее 58–64 HRC [1]. В результате из-за разрушения подшипниковых узлов и корпусных деталей все серийные турбокомпрессоры ТКР 7С-6 были утилизированы, так как проблема их ремонтпригодности не решена;

3) попадание посторонних механических примесей в подшипниковые узлы;

4) недостаточное проходное сечение отверстия, подающего масло на поверхность трения упорного подшипника. По конструкторской документации диаметр отверстия составляет 1,2 мм вместо требуемых 1,7–1,8 мм [3];

5) унос масла из турбокомпрессора в окружающую среду происходит по причинам: *a* — отсутствия дренажа корпуса подшипников; *b* — газодинамическое разрежение в зазоре между тыльной стороной колеса компрессора и крышкой корпуса компрессора при работе двигателя на холостом ходу и на переходных режимах. По пункту *a* специалистами завода двигателей проведены лабораторные исследования, по пункту *b* ведутся работы по исключению этого дефекта.

Было предложено адаптировать ТКР 7С-6 к газовому двигателю КамАЗ путем усовершенствования подшипникового узла турбоком-

прессора, а именно — применением модульного подшипника, представляющего собой функционально завершенный сборочный узел, оформленный конструктивно как самостоятельный продукт, с улучшенной прокачиваемостью масла через подшипниковый узел и с его эффективным охлаждением.

На рис. 2 приведена конструкция модульного подшипника [5]. Корпус подшипника 1 изготавливается из конструкционной стали, подвергается физико-термической обработке — цементации, нитроцементации, закалке, азотированию и др. и имеет твердость 58–64 HRC. Подшипникообразующие поверхности подвергаются притирке для получения высоких классов чистоты и для снижения трения. На рис. 3 приведен фотоснимок корпусов и плавающих втулок модульных подшипников.

Для исключения попадания посторонних механических примесей в подшипниковые узлы турбокомпрессора между переходником и корпусом подшипников установлен сетчатый фильтр масла с малыми размерами ячеек. Схема установки сетчатого фильтра приведена на рис. 4. На рис. 5 представлена фотография переходника с сетчатым фильтром (а) и фильтр с задержанными посторонними частицами после проведения испытаний (б). Эскиз турбокомпрессора ТРК 7С-6 с установленным модульным подшипником и переходником с сетчатым фильтром представлен на рис. 6.

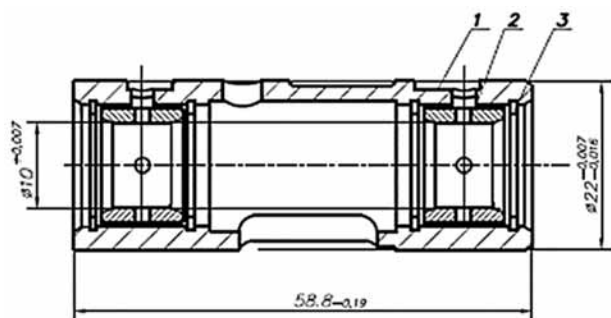


Рис. 2. Модульный подшипник турбокомпрессоров ТРК 7С-6:

1 — корпус подшипника; 2 — плавающая втулка; 3 — стопорное кольцо

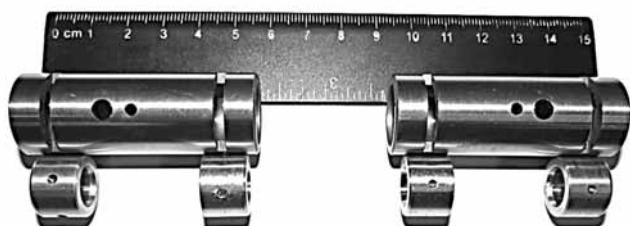


Рис. 3. Фотоснимок корпусов и плавающих втулок модульных подшипников

В 2015–2016 гг. были изготовлены 16 единиц опытных турбокомпрессоров ТРК 7С-6 с модульными подшипниками и выпускными коллекто-

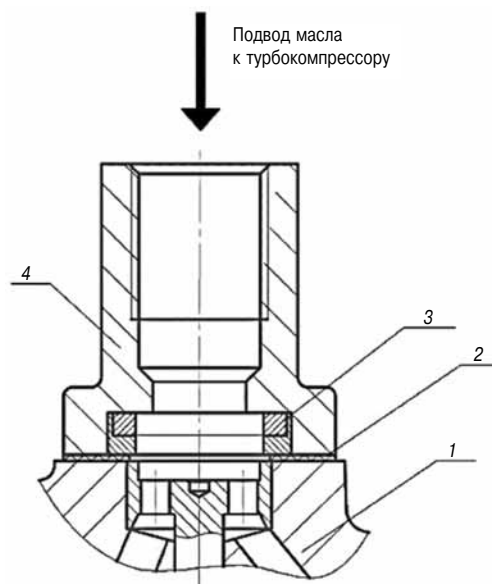


Рис. 4. Схема установки сетчатого фильтра:

1 — корпус подшипника; 2 — прокладка; 3 — сетчатый фильтр; 4 — переходник

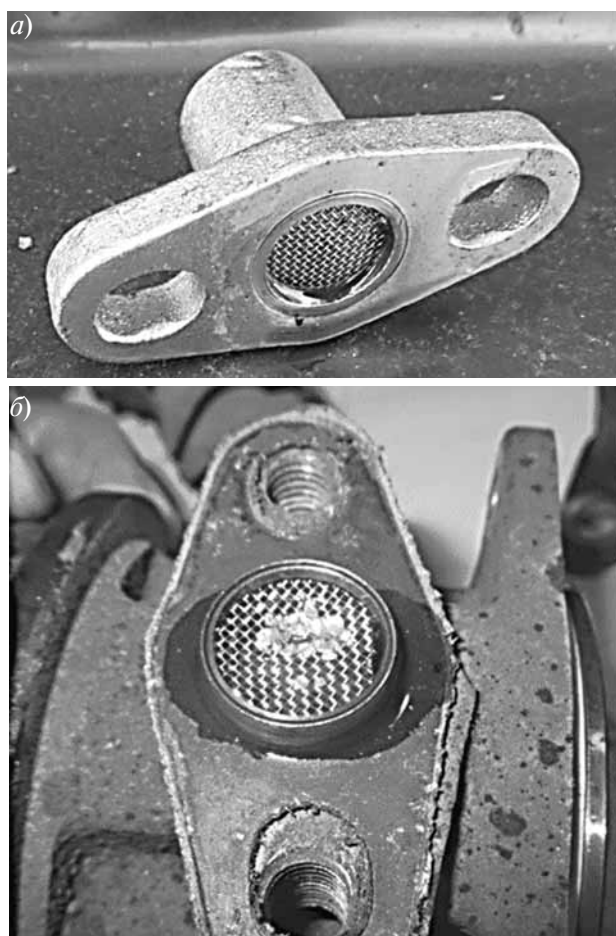
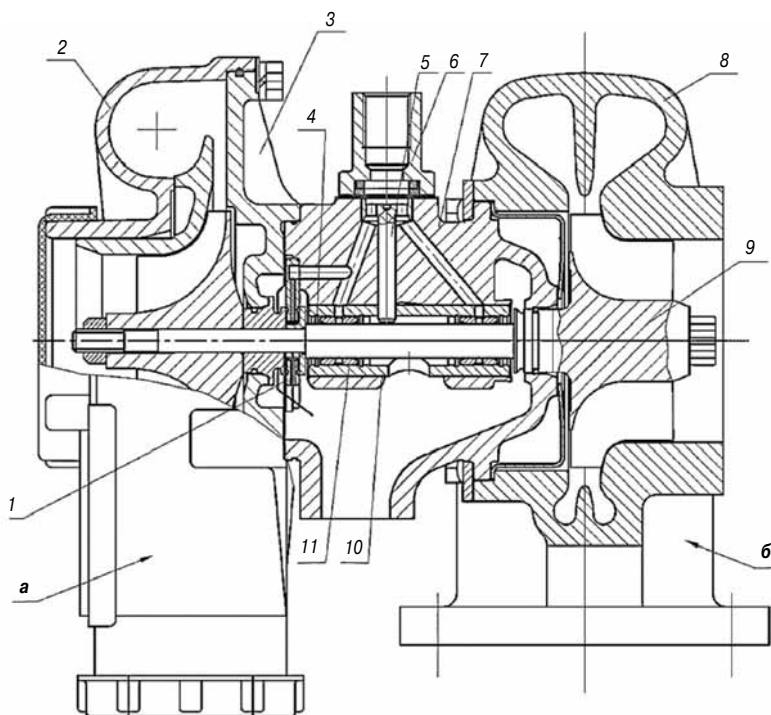


Рис. 5. Переходник подвода масла к турбокомпрессору с сетчатым фильтром (а) и посторонними частицами на фильтре после испытаний (б)



**Рис. 6. Турбокомпрессор ТКР 7С-6 с модульным подшипником:**

*a* — компрессорная ступень; *б* — турбинная ступень; 7 — корпус подшипников; 9 — ротор с колесом компрессора; 3 — крышка; 10 — модульный подшипник; 4 — стопорное кольцо; 2 — корпус компрессора; 8 — корпус турбины; 11 — плавающая втулка; 1 — упорный подшипник; 5 — фиксатор модульного подшипника; 6 — маслоподводящий переходник с сетчатым фильтром

рами производства ПАО КамАЗ для комплектации 8-ми газовых двигателей газомоторной техники, эксплуатирующейся в ООО «Газпром Добыча Оренбург» в Оренбурге вместо импортных турбокомпрессоров S200G и импортных выпускных коллекторов.

Для оценки работоспособности предложенных технических решений были предварительно проведены стендовые сравнительные испытания газовых двигателей с модернизированными и серийными турбокомпрессорами ТКР 7С-6. В процессе испытаний фиксировались следующие показатели работы турбокомпрессоров:  $p_{mk}$  — перепад давления (разрежение) воздуха на мерном коллекторе входа в компрессорную ступень;  $t_m$  — температура масла перед подшипниковым узлом;  $A_{\Sigma(g)}$  — суммарное виброускорение корпуса компрессора;  $t_{T1}$  — температура газов перед турбиной;  $t_{T2}$  — температура газов за турбиной;  $p_{T1}$  — статическое давление газов перед турбиной;  $p_{k2}$  — статическое давление газов за колесом компрессора. Результаты сравнительных испытаний представлены в таблице. За основные сравнительные параметры приняты  $t_{T1}$  и  $t_{T2}$ . Снижение  $t_{T1}$  и  $t_{T2}$  в опытном турбокомпрессоре с модульными подшипниками означает улучшение их технико-экономических параметров по срав-

нению с технико-экономическими параметрами серийных турбокомпрессоров ТКР 7С-6.

Результаты стендовых испытаний показали:

а) давление наддува  $p_{изб} = 1,08–1,09$  кгс/см<sup>2</sup> серийный турбокомпрессор развивает при значении температуры газа 530–540 °С на входе в колесо турбины;

б) давление наддува 1,08–1,09 кгс/см<sup>2</sup> турбокомпрессор ТКР 7С-6 с модульным подшипником развивает при значении температуры газа 452–453 °С на входе в колесо турбины, т. е. на 11 % ниже, чем у серийных турбокомпрессоров ТКР 7С-6.

Это означает, что модернизация серийных турбокомпрессоров ТКР 7С-6 обеспечивает значительное повышение КПД и надежность их работы.

На сегодняшний день модернизированные турбокомпрессоры, как и сами газовые двигатели, проходят контрольные эксплуатационные испытания. Через каждые 2 месяца совместно с инженерами и руководством ООО «Орен-

транс-КамАЗ», Оренбург, оформляются информационные бюллетени о пробегах и других эксплуатационных параметрах подконтрольных газовых двигателей.

Эксплуатационные пробеги двигателей с модернизированными турбокомпрессорами ТКР 7С-6 на 24.01.2018 г. составляли 92 000–220 000 км и продолжают работать без замечаний. Сетчатые фильтры, установленные на входе в корпус подшипников турбокомпрессоров, показывают хорошую эффективность по исключению попадания посторонних примесей в подшипниковые узлы турбокомпрессоров.

#### Результаты сравнительных испытаний газовых двигателей с модернизированными и серийными турбокомпрессорами ТКР 7С-6

Турбокомпрессор	$p_{mk}$	$t_m$	$A_{\Sigma(g)}$	$t_{T1}$	$t_{T2}$	$p_{T1}$	$p_{k2}$
<b>ТКР 7С-6 серийные</b>							
№ 857475	240	70	4	540	430	1,00	1,09
№ 857529	240	—	3	530	430	1,00	1,09
<b>ТКР 7С-6 с модульными подшипниками</b>							
№ 858363	250	70	3	453	348	1,00	1,09
№ 858366	240	—	2,5	452	433	1,00	1,09

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

- применение модульного подшипника и дополнительной очистки масла, поступающего в турбокомпрессор, способствуют увеличению срока его службы;
- обеспечивается ремонтпригодность турбокомпрессора (серийные турбокомпрессоры ТКР 7С-6 не подлежат ремонту, работают до отказа и утилизируются) плановой или профилактической заменой модульных подшипников и, при необходимости, других мелких деталей;
- турбокомпрессоры с модульными подшипниками можно обслуживать и ремонтировать в условиях неспециализированных предприятий;
- плавающие втулки модульного подшипника и вал ротора испытывают меньшую термонапряженность, так как от корпуса подшипников отделены корпусом модульного подшипника;
- установка сетчатого фильтра на входе масла в подшипниковые узлы турбокомпрессора исключает заклинивание плавающих втулок и вала ротора, их механические повреждения от посторонних механических примесей, а также исключает разрушение упорного подшипника из-за запыления маслоподводящего отверстия посторонними механическими частицами;
- для улучшения условий смазки диаметр маслоподводящего канала пяты упорного подшипника увеличен до 1,7 мм (у упорной пяты серийного подшипника диаметр маслоподводящего канала составляет 1,2 мм);
- так как твердость вала ротора и корпуса модульного подшипника повышены до 58–64 HRC, плавающие втулки можно изготовить из металлокерамических материалов вместо бронзовых сплавов, что увеличит сроки службы плавающих втулок (опытные испытания проходят в ООО «Газпром Добыча Оренбург», Оренбург);
- стендовыми и эксплуатационными испытаниями на заводе двигателей ПАО КамАЗ под-

тверждено улучшение технико-экономических параметров и повышение надежности газовых двигателей с турбокомпрессорами ТКР 7С-6 с модульными подшипниками по сравнению с показателями двигателей с турбокомпрессорами S200G;

- получены улучшенные технико-экономические параметры за счет повышения твердости и класса чистоты обработки подшипникообразующих поверхностей корпуса модульного подшипника;
- укомплектование газовых двигателей турбокомпрессорами производства ПАО КамАЗ взамен импортных позволяет компании получить ощутимый экономический эффект вследствие значительной разницы в стоимости отечественных и зарубежных узлов и деталей.

#### Литература

1. Трение, изнашивание и смазка: справочник: в 2 кн. / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. — М. : Машиностроение, 1978–1979. Кн. 2, 1979. — 358 с.
2. *Ваншейдт В.А.* Дизели. Справочник / В.А. Ваншейдт, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. — Л. : Машиностроение (Ленинградское отделение), 1977 — 480 с.
3. *Tuney H.* Подшипники скольжения. Расчет. Проектирование. Смазка / Н. Типей, В.Н. Константинеску, Ал. Ника, Ольга Биц. — Издательство Академии Румынской Народной Республики. Бухарест, 1964.
4. *Воскресенский В.А.* Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка): справочник / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков. — М. : Машиностроение, 1980. — 224 с.
5. Патент RU№ 2629825. МПК F16C 17/18 F16C 33/10 F04D 29/046 F04D 29/063. Подшипниковый узел турбокомпрессора / Г.Г. Гаффаров, А.Г. Гаффаров, Р.К. Галиев, Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко, В.И. Волостнов, П.В. Волостнов (РФ). — № 2016121353. — Заявлено 30.05.2016. — Решение о выдаче патента от 04.09.2017 г. — Оpubл. 04.09.2017 г., Бюл. № 25.