

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ПАО КАМАЗ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ОСЕВЫХ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

*С.В. Снарский, директор, Г.Г. Гаффаров, вед. инженер, А.Г. Гаффаров, вед. инженер  
Завод двигателей ПАО КамАЗ*

*С.Ю. Коваленко, к.т.н., ст. преподаватель кафедры автомобильного транспорта  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»*

Представлены результаты исследований, направленных на повышение эксплуатационной надежности автомобильных двигателей производства ПАО КамАЗ за счет модернизации осевых подшипников коленчатого вала. На основе анализа условий работы осевых подшипников было установлено, что причиной выхода их из строя является отсутствие организованного процесса смазки и охлаждения. Предложены мероприятия по совершенствованию конструкции осевых подшипников, обеспечивающие надежную подачу масла к поверхностям трения осевых подшипников. Стендовые испытания двигателя подтвердили работоспособность и эффективность предложенной конструкции.

В настоящее время повышение мощности и технико-эксплуатационных показателей двигателей обеспечивается за счет форсирования. Вместе с тем форсирование связано с повышением нагруженности и теплонапряженности деталей и систем двигателя. Так, например, опыт эксплуатации высокофорсированных двигателей ПАО КамАЗ позволил выявить характерные отказы осевых подшипников коленчатых валов как в гарантийный, так и в постгарантийный сроки эксплуатации, вызванные интенсивным износом, разрушением полуколец осевых подшипников с падением обломков в поддон картера. В результате разрушения осевого подшипника происходит смещение коленчатого вала по продольной оси с последующим заклиниванием и поломкой деталей кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы. Статистика отказов упорных подшипников отрицательно сказывается на показателях надежности двигателей и ведет к материальным потерям ПАО КамАЗ и потребителей.

В качестве примера на рис. 1 представлен внешний вид серийных верхнего и нижнего полуколец осевого подшипника после проведения стендовых испытаний двигателя КамАЗ 740.662-280 с характерными признаками сухого трения.

При внешнем осмотре деталей было установлено, что поверхности трения верхнего и нижнего полуколец осевого подшипника претерпели высокие температурные перегрузки из-за отсутствия смазки и охлаждения поверхностей полуколец, что вызвало их механический износ. В результате товарный вид полуколец утерян и дальнейшая их эксплуатация неприемлема.

Конструктивные особенности полуколец осевых подшипников коленчатых валов двигателей ПАО КамАЗ и схема их установки показаны на рис. 2.

Для исключения осевого перемещения коленчатого вала на его пятой коренной опоре установлены два осевых подшипника: задний предназначен для удержания коленчатого вала от осевого перемещения при движении автомобиля в гору, передний — при движении автомобиля по дорогам с уклоном. Осевые подшипники состоят из верхних и нижних стальных полуколец, являющихся неподвижными деталями, на одну из боковых сторон которых нанесено антифрикционное покрытие из свинцово-оловянистой бронзы. Подвижными частями осевых подшип-

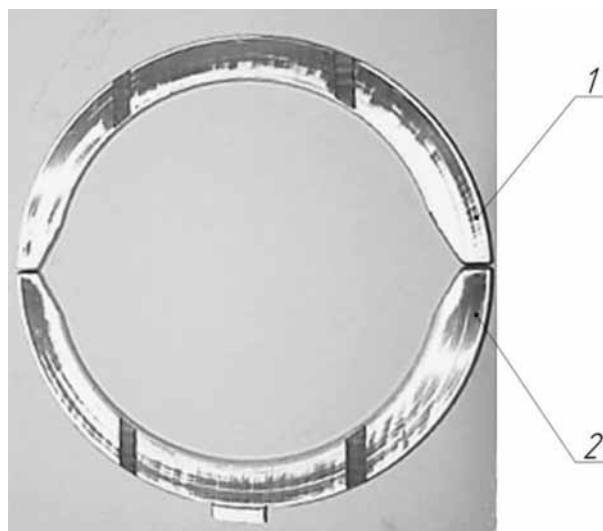
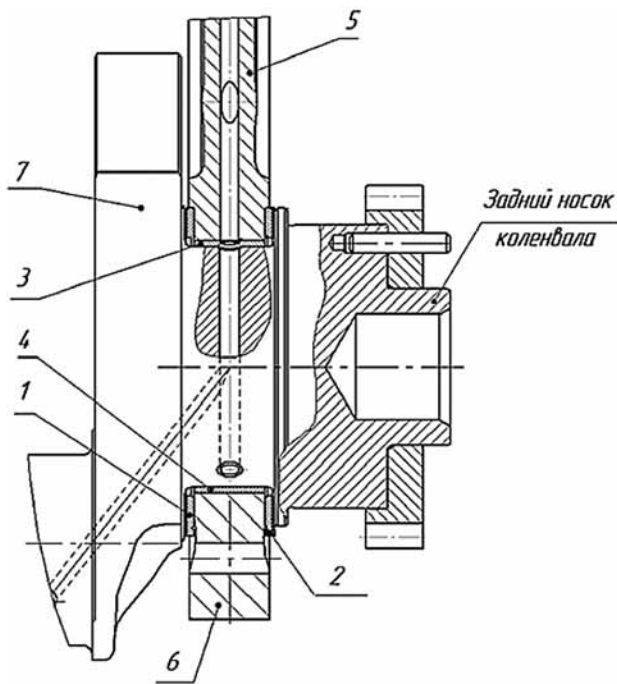


Рис. 1. Внешний вид верхнего (1) и нижнего (2) полуколец переднего осевого подшипника коленчатого вала после стендовых испытаний двигателя

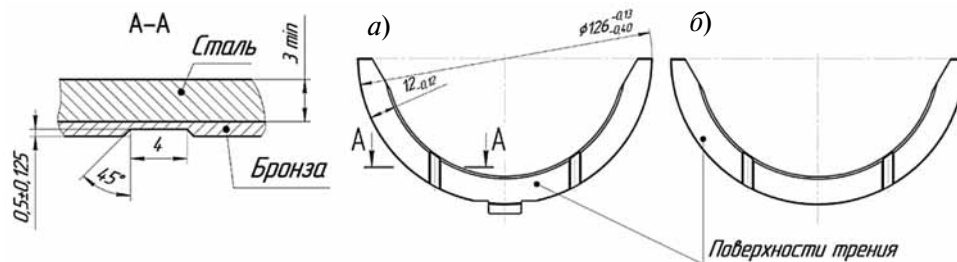


**Рис. 2. Установка осевых подшипников коленчатых валов двигателей ПАО КамАЗ:**

1 — осевой подшипник передний; 2 — осевой подшипник задний; 3 — вкладыш подшипника коленчатого вала верхний; 4 — вкладыш подшипника коленчатого вала нижний; 5 — блок цилиндров; 6 — крышка подшипника пятой коренной опоры коленчатого вала; 7 — коленчатый вал

ников являются шлифованные поверхности боковых щек пятой коренной шейки коленчатого вала, которые могут располагаться в различных положениях относительно рабочих поверхностей полуколец и вращаются с коленчатым валом. У коленчатых валов всех моделей двигателей ПАО КамАЗ эти поверхности являются плоскими и непрерывными в виде круглого венца с твердостью 52–62 HRC. Поверхности трения полуколец осевых подшипников также плоские.

Конструкция серийных нижнего и верхнего полуколец осевых подшипников, показана на рис. 3, из которого видно, что на их рабочих поверхностях отсутствуют какие-либо конструктивные решения для организации смазочного процесса.



**Рис. 3. Конструкция серийных нижнего и верхнего полуколец осевых подшипников коленчатого вала:**

а — нижнее полукольцо; б — верхнее полукольцо

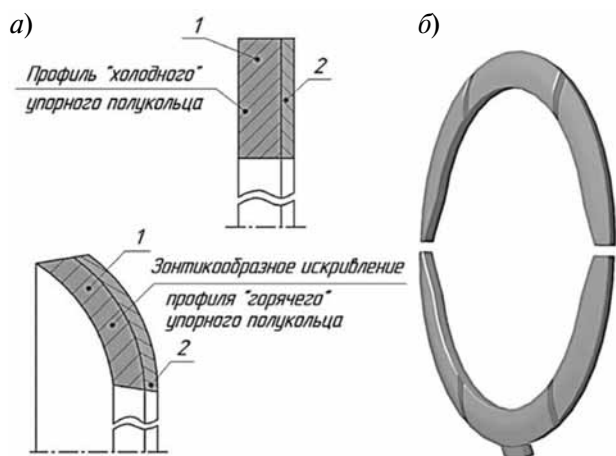
Полукольца подшипников конструктивно выполнены биметаллическими. Величины коэффициентов теплового линейного расширения  $\alpha \cdot 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ) у стальной основы и у бронзового антифрикционного слоя значительно отличаются (1,10 и 1,71 соответственно). Принимая во внимание, что при работе двигателя масло в осевые подшипники поступает после отработки в пятой коренной опоре с повышенной температурой и незначительным давлением, в осевых подшипниках возникает режим масляного голодания и, как следствие, отсутствие охлаждения на поверхностях трения. Это ведет к выгибанию полуколец в сторону антифрикционного слоя, и они принимают форму зонтика [1, 3] (рис. 4).

Лабораторными исследованиями, проведенными на заводе двигателей ПАО КамАЗ, было подтверждено, что такая деформация приводит к уменьшению эффективной рабочей поверхности серийных упорных полуколец и снижает несущую способность осевых подшипников. Это приводит к возникновению сухого трения в локальных зонах и интенсивным износам, причем поверхности трения имеют черный вороненый цвет, а в зоне внутреннего диаметра имеют место повышенные износы.

Таким образом, на основе проведенного анализа можно сделать вывод, что причиной разрушения серийных полуколец осевых подшипников коленчатых валов двигателей ПАО КамАЗ является режим сухого трения в осевых подшипниках вследствие отсутствия процесса смазки и охлаждения трущихся поверхностей полуколец.

Рассматривая теоретические основы работы подшипников скольжения, было установлено, что осевые подшипники скольжения с плоскопараллельными поверхностями не могут работать в режиме жидкостной смазки. В упорных подшипниках с плоскопараллельными поверхностями скольжения отсутствует естественный сужающийся зазор, необходимый для создания масляного клина, как, например, в подшипниках скольжения. Для опор такого типа наиболее характерен режим граничной смазки и реде полужидкостной, причем смазка обычно подводится к

поверхностям трения подшипника с помощью радиальных каналов, выполненных на поверхностях трения. Таким образом, для обеспечения условий жидкостной смазки необходимо обеспечить подвод масла к поверхностям трения для создания масляного клина [1, 6].

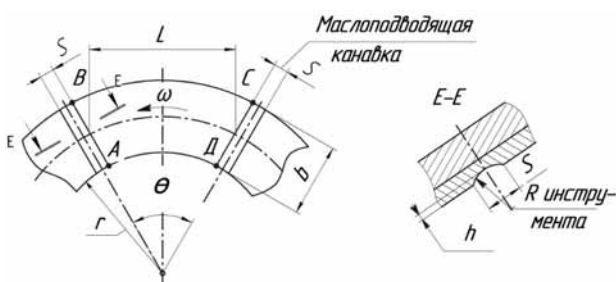


**Рис. 4. Изменение формы полукольца осевого подшипника при повышении его температуры:**  
*a* — схема процесса выгибания; *б* — объемное изображение деформированного состояния полуколец осевого подшипника; 1 — стальная основа; 2 — залитый бронзовый сплав

Для обеспечения жидкостного режима смазки в осевых подшипниках коленчатого вала была предложена конструкция модернизированного полукольца осевого подшипника коленчатого вала, разделенного радиальными маслоподводящими канавками на несколько равных участков (участок АВСД), секторная подушка поверхности которого показана на рис. 5 [6].

Все подушки модернизированных осевых подшипников имеют поверхности контакта, обработанные плоско, причем толщина смазочной пленки в произвольной точке подушки зависит от радиуса расположения этой точки (кроме поверхности, образованной углом  $\theta$ ) и может иметь сложный характер изменения, определяемый приложенной к осевому подшипнику нагрузкой, угловой скоростью вращения  $\omega$  коленчатого вала и геометрией деталей.

Несложный инженерный расчет, выполненный согласно рекомендациям, приведенным в справочной конструкторской литературе [2–6], показал, что допускаемая несущая способность каждого модернизированного осевого подшипника составляет не менее 856 кгс.



**Рис. 5. Секторная подушка предлагаемого плоского полукольца осевого подшипника со смазочными канавками**

При движении автомобиля с двигателем КамАЗ 740.632-400 общее вертикальное усилие  $T_{к1}$ , приложенное к оси коленчатого вала, в зависимости от того, движется автомобиль по дороге с положительным или отрицательным уклоном, состоит из следующих величин:

- масса коленчатого вала в сборе — 72 кг;
- масса маховика — 45 кг;
- масса гасителя крутильных колебаний — 10 кг;
- масса сцепления — 35 кг;

общая масса:  $G = 163$  кг;  $T_{к1} = 160$  кгс;

Дополнительная составляющая осевого усилия на передний или задний осевые подшипники коленчатого вала  $T_{м.в}$  возникает на муфте выключения сцепления при переключениях передач, выполнении остановки и трогании с места автомобиля. На муфте сцепления модели MFZ-430 это усилие составляет 600 Н или  $T_{м.в} = 61$  кгс. Усилие от муфты выключения сцепления модели MFZ-430 направлено в сторону муфты сцепления.

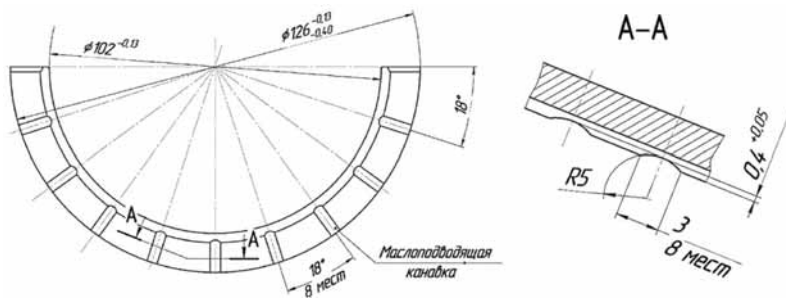
При движении автомобиля по дороге с положительным уклоном осевое усилие  $T_{м.в}$  по отношению к осевому усилию  $T_{к1}$  будет со знаком (+), при движении по дороге с отрицательным уклоном — со знаком (-). При движении по дороге с «нулевым» уклоном, т. е. горизонтально, усилие  $T_{к1}$  отсутствует, поэтому для определения несущей способности или нагрузки  $W$  предлагаемых осевых подшипников коленчатых валов достаточно выполнить расчет для режима движения автомобиля по дороге с положительным уклоном.

Двигатели КамАЗ 740.632-400 устанавливаются на коммерческие автомобили общего назначения, для которых конструкторской документацией предусмотрены граничные условия движения по дорогам с положительным и отрицательным максимальным уклоном  $20^\circ$  [4]. В то же время оси коленчатых валов двигателей производства ПАО КамАЗ относительно продольной оси автомобилей располагаются с углом атаки в  $3^\circ$ . С учетом этого при движении автомобиля по дороге с положительным уклоном угол между осью коленчатого вала и горизонтом составляет  $23^\circ$ . Тогда несущая способность или нагрузка на передний осевой подшипник коленчатого вала составляет:

$$W = T_{к1} \cdot \cos(90^\circ - 23^\circ) + T_{м.в} = 160 \cdot 0,39 + 61 = 124 \text{ кгс} [5].$$

Таким образом выполненный расчет осевых усилий, возникающих в упорных подшипниках, показал:

- осевая нагрузка  $W$  на передний осевой подшипник коленчатого вала автомобиля КамАЗ с двигателем КамАЗ 740.632-400 при движении по дороге с положительным уклоном составляет



**Рис. 6. Упорное полукольцо с маслоподводящими канавками с криволинейными профилями**

124 кгс, что примерно в 7 раз меньше допустимой осевой нагрузки, т. е.  $[W]/W = 856/124 \approx 6,9$ ;

➤ результирующие силы на коренных опорах коленчатых валов от сил давления газов в цилиндрах двигателя  $p_r$ , от сил инерции поступательно движущихся частей кривошипно-шатунного механизма и поршней всех цилиндров двигателя  $p_{jn}$  [2] какие-либо воздействия и нагрузки на осевые подшипники коленчатого вала не оказывают.

Таким образом, причиной выхода из строя осевых подшипников коленчатых валов двигателей производства ПАО КамАЗ может быть только отсутствие организации их смазки и охлаждения.

Для проверки этого предположения были проведены стендовые испытания двигателя с установленными осевыми подшипниками предлагаемой конструкции.

В связи с тем что выполнение маслоподводящих канавок упорных полуколец осевых подшипников коленчатых валов представляет собой довольно трудоемкий технологический процесс, на заводе двигателей ПАО КамАЗ были изготовлены опытные полукольца осевых подшипников с маслоподводящими канавками с профилями, выполненными сверлением в специальном кондукторе. Опытные полукольца были изготовлены из заготовок серийных полуколец. Конструкция изготовленных по этой технологии маслоподводящих канавок приведена на рис. 6.

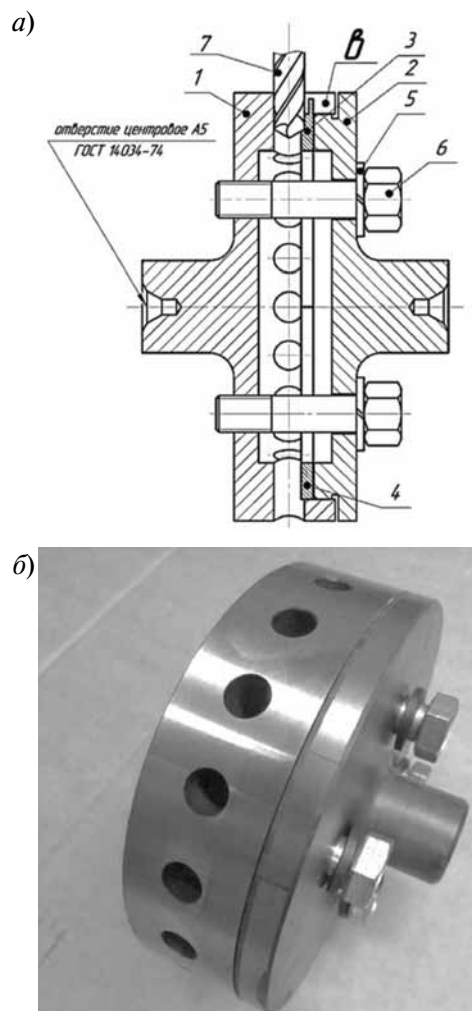
На опытных полукольцах каждого осевого подшипника коленчатых валов были выполнены маслоподводящие канавки и глубиной  $0,4^{+0,05}$  мм, шириной канавок 3,0 мм; общее количество маслоподводящих канавок — 20 шт. с помощью специально изготовленного кондуктора, эскиз и фотография которого представлены на рис. 7.

Упорные полукольца предлагаемой конструкции были установлены на двигатель КамАЗ 740.632-400 мощностью  $N_e = 400$  л. с. при  $n_{ном} = 1900$  об/мин, на котором были проведены стендовые испытания на режимах, соответствующих приемо-сдаточным. После проведения моторных стендовых испытаний упорные по-

лукольца предлагаемой конструкции с маслоподводящими канавками были демонтированы с двигателя. Внешний осмотр показал отсутствие каких-либо видимых следов износа и перегрева (рис. 8), присущих серийным полукольцам после проведения аналогичных стендовых моторных испытаний (см. рис. 1).

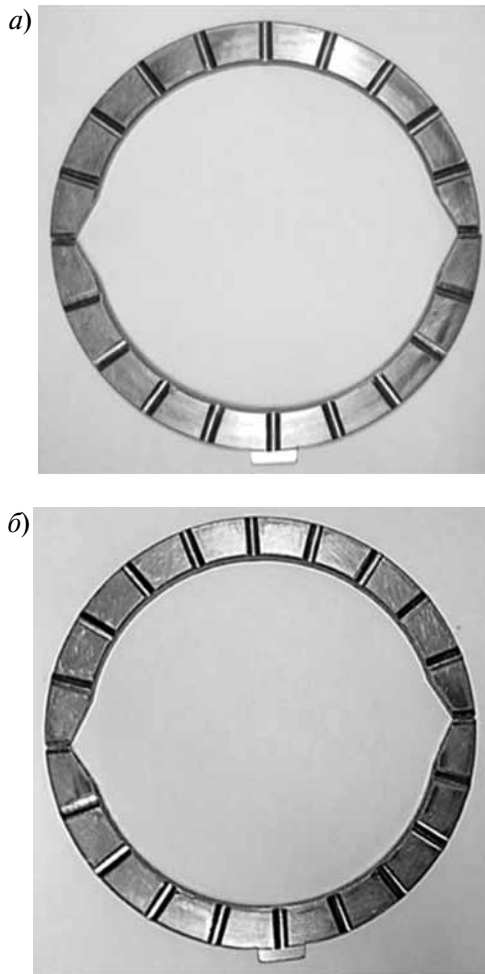
Основываясь на результатах анализа причин отказов осевых подшипников коленчатого вала двигателей КамАЗ и с учетом результатов испытаний модернизированных подшипников доработанной конструкции, можно сделать следующие выводы.

1. Причиной разрушения серийных полуколец осевых подшипников коленчатых валов двигателей производства ПАО КамАЗ является именно



**Рис. 7. Эскиз (а) и фотография (б) изготовленного кондуктора:**

1 — корпус кондуктора; 2 — крышка кондуктора; 3 — нижнее полукольцо; 4 — верхнее полукольцо; 5 — шайба; 6 — болт М12×1,5–40; 7 — инструмент режущий — сверло  $\phi 10$  мм; в — паз в корпусе кондуктора под запирающий выступ нижнего полукольца



**Рис. 8.** Фотоснимки опытных верхних и нижних полуколец переднего (а) и заднего (б) осевых подшипников коленчатого вала после прямо-сдаточных моторных испытаний

сухое трение в осевых подшипниках вследствие отсутствия организации процессов смазки и охлаждения трущихся поверхностей полуколец, а не повышенные нагрузки на коленчатый вал при движении автомобиля под уклон.

2. Организация условий смазки осевых подшипников коленчатых валов, и, соответственно, их охлаждение, были обеспечены за счет модернизации конструкции полуколец, состоящей в изготовлении радиальных маслоподводящих канавок.

3. Выполненные опытные образцы упорных полуколец осевых подшипников предлагаемой конструкции в результате стендовых испытаний даже на более мощном двигателе показали удовлетворительные результаты, в отличие от упорных подшипников серийной конструкции.

Вместе с тем, для повышения достоверности результатов стендовых испытаний и обеспечения надежности осевых подшипников коленчатых валов всех моделей двигателей производства ПАО КамАЗ необходимо продолжение исследовательских работ по изложенной тематике с проведением ресурсных испытаний.

#### Литература

1. *Воскресенский В.А.* Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка): Справочник / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков. — М. : Машиностроение, 1980. — 224 с.
2. *Углов Б.А.* Авиационный двигатель АШ-62 ИР: учебное пособие / Б.А. Углов. — Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева. — 111 с.
3. *Денисов А.С.* Основы работоспособности технических систем: учебник / А.С. Денисов. — Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2014. — 312 с.
4. Двигатели газовые КамАЗ 820.60-260, 820.61-260, 820.62-300, 820.63-320. ТУ 37.104.311. — 2012.
5. *Савельев И.В.* Курс общей физики: Учебное пособие. Механика. Молекулярная физика. — 3-е изд., испр. — М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. Т. 1. — 432 с.
6. *Тупей Н.* Подшипники скольжения. Расчет, проектирование, смазка / Н. Тупей, Н. Константиnescу, О. Бице. — Изд-во академии Румынской Народной Республики, Бухарест, 1964. — 457 с.