

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.43

doi: 10.30987/2782-5957-2025-6-4-8

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ РЕЖИМА СМАЗЫВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Сергей Петрович Шец¹, Леонид Вячеславович Чеславский²✉

^{1,2} ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», Брянск, Россия

¹ shetssp@mail.ru

² expert.everest@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы повышения ресурса автомобильных двигателей внутреннего сгорания путем стабилизации режима смазывания подшипников коленчатого вала. Цель исследования состоит в комплексной оценке влияния параметров смазки и конструктивных особенностей подшипников на их долговечность и ресурс двигателя. Задача, которой посвящена работа — выявление оптимальных условий смазывания для увеличения срока службы подшипников. Применялись методы теоретического анализа, расчет долговечности по методике *SKF*, а также натурные испытания на серийных двигателях. Новизна исследования

заключается в комплексной оценке влияния параметров смазки, конструкции и материалов на ресурс подшипников. В результате установлено, что стабилизация режима смазывания позволяет увеличить ресурс подшипников коленчатого вала на 18–25%. Выводы исследования подтверждают возможность внедрения предложенных инженерных решений в серийное производство для повышения надежности автомобильных двигателей.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, подшипник скольжения, смазка, долговечность, ресурс, *SKF*, автомобиль.

Ссылка для цитирования:

Шец С.П. Повышение ресурса автомобильных двигателей стабилизацией режима смазывания подшипников коленчатого вала / С.П. Шец, Л.В. Чеславский // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 6. – С. 4-8. doi: 10.30987/2782-5957-2025-6-4-8.

Original article

Open Access Article

INCREASING THE LIFE OF AUTOMOTIVE ENGINES BY STABILIZING THE LUBRICATION MODE OF CRANKSHAFT BEARINGS

Sergey Petrovich Shets¹, Leonid Vyacheslavovich Cheslavsky²✉

^{1,2} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ shetssp@mail.ru

² expert.everest@mail.ru

Abstract

The paper discusses the issues of increasing the service life of automotive internal combustion engines by stabilizing the lubrication mode of crankshaft bearings. The study objective is to assess comprehensively the impact of lubrication parameters and structural features of bearings on their durability and engine life. The task of the work is to find out optimal lubrication

conditions for increasing the service life of bearings. Methods of theoretical analysis, calculation of durability according to *SKF* method, as well as field tests of production engines were used. The novelty of the study is in a comprehensive assessment of the influence of lubrication parameters, design and materials on the life of bearings. As a result, it is found that stabilization of

the lubrication mode makes it possible to increase the life of crankshaft bearings by 18-25%. The results of the research confirm the possibility of introducing the

proposed engineering solutions into mass production to improve the reliability of automotive engines.

Keywords: internal combustion engine, sliding bearing, lubrication, long-life, resource, SKF, car.

Reference for citing:

Shets SP, Cheslavsky LV. Increasing the life of automotive engines by stabilizing the lubrication mode of crankshaft bearings. *Transport Engineering*. 2025;6: 4-8. doi: 10.30987/2782-5957-2025-6-4-8.

Введение

Современные двигатели нуждаются в постоянном совершенствовании надёжности и долговечности. Высокие экологические стандарты и строгие эксплуатационные режимы заставляют инженеров искать новые решения. Коленчатые подшипники, играющие значительную роль в конструкции, напрямую влияют на срок службы двигателя. Проблемы в их работе часто оказывают влияние на эффективность работы, приводя к дорогостоящему ремонту.

Износ подшипников коленчатого вала обусловлен недостаточным качеством материалов и изменением условий работы. Разнообразные режимы смазывания при различных условиях эксплуатации, воздействие характеристик масла влияют на срок службы подшипников. Двигатели современных конструкций отличаются высокой мощностью, создавая значительные нагрузки на подшипники и требуя поиска новых инженерных решений для предотвращения преждевременных последствий. По имеющимся данным, порядка 40 %

случаев поломки возникает из-за недостаточного смазывания, чаще всего спровоцированного высокими температурами и чрезмерной нагрузкой, ухудшающими свойства моторных масел. Обеспечение непрерывной подачи масла крайне важно, так как кратковременные сбои могут привести к быстрому износу и разрушению подшипников [1].

Опыт ведущих мировых производителей автомобилей показывает, что ресурс современных ДВС может быть значительно увеличен при условии оптимизации системы смазывания и постоянного контроля параметров работы подшипников. Несмотря на значительный прогресс в области материаловедения и проектирования, вопросы долговечности вкладышей и влияние режима смазывания на их ресурс по-прежнему остаются актуальными, что обусловлено широкой вариативностью конструкций, материалов и условий эксплуатации [2].

Материалы, модели, эксперименты и методы

Для решения поставленных задач исследования использовался комплексный подход, включающий теоретический анализ, расчетные методики и экспериментальные испытания. На первом этапе был проведён анализ литературы и статистики отказов автомобильных двигателей разных производителей, чтобы определить долю неисправностей, связанных с подшипниками коленчатого вала. Второй этап включал проведение расчетов долговечности подшипников по методике *SKF*, а также использование современного программного обеспечения для моделирования гидродинамического режима в подшипниках скольжения [3].

В качестве экспериментальных образцов применялись серийные бензиновые дви-

гатели объемом 1,6...2,0 л, эксплуатируемые в стандартных дорожных условиях. Для контроля параметров смазывания были установлены электронные датчики давления и температуры масла, а также анализаторы состояния моторных масел. Оценка износа подшипников осуществлялась с помощью измерения геометрии вкладышей, визуального осмотра и металлографического анализа.

Расчет ресурса подшипников выполнялся по формуле *SKF*:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot 10^6,$$

где L_{10} – номинальный ресурс подшипника (пробег до 10 % отказов, млн оборотов), C – динамическая грузоподъёмность подшипника, Н; P – эквивалентная радиальная

нагрузка, Н; p – показатель степени (для подшипников качения $p = 3$, для подшипников скольжения определяется экспериментально).

Экспериментальная часть работы включала апробацию специальных присадок к маслам

и модернизацию каналов подвода масла к шейкам коленчатого вала. Изучались такие параметры, как толщина масляной плёнки, температура подшипников и уровень их износа.

Результаты

В результате анализа отказов автомобильных двигателей установлено, что нарушения режима смазки подшипников коленчатого вала выявляются в 37–42% случаев выхода двигателя из строя. Проведённые расчёты по методике *SKF* показали, что при стабильном режиме смазки

($P = 2200$ Н; $C = 5400$ Н; $p = 3$) ресурс подшипников увеличивается с 260 тыс. км пробега (базовое значение для типового бензинового двигателя) до 315 тыс. км при использовании высоковязких синтетических масел и оптимизации каналов подачи масла (табл.).

Таблица

Влияние стабилизации режима смазки на ресурс подшипников

Table

The effect of stabilizing lubrication mode on bearing life

Параметр	Базовое состояние	После модернизации
Давление масла, МПа	0,18-0,21	0,22-0,25
Температура подшипника, °С	105-115	95-102
Толщина масляной плёнки, мкм	2,1	2,7
Пробег до износа, тыс. км	260	315

Статистическая обработка экспериментальных данных показала, что внедрение системы электронного контроля давления масла приводит к снижению вероятности критических падений давления на 48 %. Дополнительное применение присадок (содержащих цинк и фосфор) позволило уменьшить износ вкладышей на 16 % по сравнению с контрольной группой.

Результаты металлографического анализа подшипников, работавших в оптимизированных условиях, свидетельствуют об уменьшении глубины проявления усталостных трещин на 27 %, а пло-

щадь зон перегрева снизилась с 14 % до 5 %. Это говорит о более благоприятном режиме работы подшипников коленчатого вала при стабилизации режима смазки.

В графическом выражении зависимости ресурса подшипников от давления масла отчетливо видно, что увеличение давления с 0,18 до 0,22 МПа приводит к росту ожидаемого ресурса подшипников почти на 20 %. При этом дальнейшее увеличение давления выше 0,25 МПа нецелесообразно из-за роста потерь на трение и энергозатрат в системе смазки.

Заключение

Проведённые исследования показывают, что даже незначительные колебания параметров смазки – прежде всего давления масла в системе подшипников коленчатого вала – оказывают существенное влияние на долговечность и надёжность этих узлов. Результаты натурных испытаний на серийных моторных агрегатах, а также расчёты, выполненные по методике *SKF*, свидетельствуют о том, что стабили-

зация давления масла в пределах 0,22...0,25 МПа по сравнению с распространёнными эксплуатационными значениями в диапазоне 0,18...0,21 МПа приводит к увеличению толщины гидродинамической масляной плёнки на рабочих поверхностях подшипников в среднем на 0,5...0,6 мкм. Этот, казалось бы, небольшой прирост при длительной эксплуатации двигателя оказывает существенное влия-

ние на снижение вероятности прямого контакта металлических поверхностей вала и вкладыша.

Поддержание оптимальной толщины масляной плёнки непосредственно связано с уменьшением коэффициента трения, что подтверждается лабораторными измерениями: при переходе к более стабильному режиму смазки средний коэффициент трения в узле снижается с 0,033 до 0,024. Это, в свою очередь, способствует не только уменьшению тепловыделения, но и снижению температуры рабочей поверхности подшипников — по результатам термографического анализа, температура снижается с 110...115 °С до 96...100 °С. Более низкие рабочие температуры позволяют минимизировать процессы термической деградации масла и окисления антифрикционного слоя вкладыша, что значительно замедляет формирование усталостных трещин, эрозионных и кавитационных повреждений.

Экспериментальные данные, полученные на двух группах двигателей с разными режимами смазки, убедительно демонстрируют, что при стабильном давлении масла в установленном диапазоне количество случаев возникновения микроскопических задиров и зон локального перегрева снижается на 40% по сравнению с двигателями, где давление масла периодически опускается к нижней границе нормы. В результате срок службы подшипников увеличивается с 260 до 315 тыс. км пробега до достижения предельного износа: это подтверждено как прямыми измерениями геометрии вкладышей, так и анализом микроструктуры их поверхности.

Особое значение придаётся использованию современных присадок в составе моторных масел. Присадки на основе цинка и фосфора (*ZDDP*) формируют на поверхности вкладышей защитную плёнку, обладающую высокой прочностью и способную выдерживать кратковременные экстремальные нагрузки. Комплексный анализ показал, что при одинаковых условиях эксплуатации двигателей применение масел с присадками позволяет дополнительно сократить интенсивность износа на 16% относительно базовых масел без при-

садок, что выражается в меньшей глубине и площади повреждённых зон на поверхности вкладышей [4, 5].

Такая стабилизация параметров смазки, достигнутая за счёт правильного подбора типа масла, применения присадок и совершенствования системы контроля давления и температуры, приводит к формированию на поверхности подшипников равномерной масляной плёнки толщиной не менее 2,7 мкм, что соответствует оптимальному гидродинамическому режиму для большинства современных двигателей внутреннего сгорания. В этих условиях риск разрушения масляного клина при кратковременных перегрузках или резких изменениях температуры существенно снижается, а рабочие поверхности сохраняют исходные микрогеометрические параметры значительно дольше.

Также следует отметить, что применение синтетических масел с повышенной вязкостью и современных противоизносных присадок способствует сохранению масляной плёнки даже при высоких удельных нагрузках на вкладыши. Проведённые испытания показали, что использование таких смазочных материалов не только увеличивает пробег подшипников до появления значимого износа, но и положительно сказывается на общем состоянии двигателя, снижая вероятность аварийных ситуаций.

Внедрение системы электронного контроля за состоянием смазки позволило своевременно выявлять критические отклонения параметров и предотвращать аварийные ситуации на ранних стадиях. Интеграция датчиков давления и температуры масла в электронный блок управления двигателем обеспечивает автоматический переход в щадящий режим при возникновении неблагоприятных условий, что дополнительно увеличивает ресурс подшипников и двигателя в целом.

Таким образом, проведённое исследование показывает, что комплекс мероприятий по стабилизации режима смазывания подшипников коленчатого вала, включающих подбор оптимального типа масла, использование современных присадок, совершенствование конструкции ка-

налов подачи масла и внедрение электронных систем контроля, позволяет увеличить ресурс подшипников на 18...25 %, а в отдельных случаях – и более. Это открывает возможности для дальнейшего повышения

надёжности и долговечности автомобильных двигателей, что особенно важно в современных условиях жёсткой конкуренции и требований к снижению эксплуатационных расходов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шец С.П., Горленко А.О., Шалыгин М.Г. Повышение эффективности образования гидродинамической смазки в подшипниках скольжения применением магнитной жидкости // Строительные и дорожные машины. 2023. № 5. С. 27-31.
2. Григорьев В.В., Баранов И.Н. Повышение ресурса ДВС за счёт оптимизации режима смазки. Автомобильная промышленность, 2020, №4, с. 34-41.
3. SKF General Catalogue. Gothenburg: SKF Group. 2023. 354p.

4. М.Г. Шалыгин, И.А. Буяновский, В.Д. Самусенко, А.П. Ващишина Трибологические свойства полужидкого смазочного материала с присадками поверхностно-активных веществ. // Трение и износ. 2023. Т. 44, № 5. С. 418-426. DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-418-426.
5. Spikes, H. The History and Mechanisms of ZDDP // Tribology Letters. 2018. №65(3). pp.1-17.

REFERENCES

1. Shets SP, Gorlenko AO, Shalygin MG. Improving the efficiency of forming hydrodynamic lubrication in bearings using magnetic fluid. Stroitel'nye i Dorozhnye Mashiny. 2023;5:27-31.
2. Grigoriev VV, Baranov IN. Improving the internal combustion engine resource by optimizing the lubrication mode. Automotive Industry. 2020;4:34-41.
3. SKF General Catalogue. Gothenburg: SKF Group; 2023.

4. Shalygin MG, Buyanovsky IA, Samusenko VD, Vashchishina AP. Tribological properties of semi-liquid lubricant with surfactant additives. Friction and Wear. 2023;44(5):418-426. DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-5-418-426.
5. Spikes H. The history and mechanisms of ZDDP. Tribology Letters. 2018;65(3):1-17.

Информация об авторах:

Шец Сергей Петрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Производство и сервис в транспортном машиностроении», тел. +7 (4832) 56-09-95.

Чеславский Леонид Вячеславович – аспирант кафедры «ТиТТС», тел. +7 (4832) 56-09-95.

Shets Sergey Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Production and Service in Transport Engineering, phone: +7 (4832) 56-09-95.

Cheslavsky Leonid Vyacheslavovich – Postgraduate student, phone: +7 (4832) 56-09-95.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 28.04.2025; одобрена после рецензирования 29.04.2025; принята к публикации 26.05.2025. Рецензент – Погonyшев В.А., доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика, физика и математика» «Брянского государственного аграрного университета».

The article was submitted to the editorial office on 28.04.2025; approved after review on 29.04.2025; accepted for publication on 26.05.2025. The reviewer is Pogonysh V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation, Physics and Mathematics at Bryansk State Agrarian University.