

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-462805>

Оригинальное исследование



Исследование процесса формоизменений шатунных вкладышей в предотказный период работы транспортно-технологических машин и оборудования

А.Т. Кулаков¹, О.А. Кулаков², Р.Ф. Калимуллин¹, Е.П. Барыльникова¹¹ Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального университета, Набережные Челны, Российская Федерация;² КАМАЗ-Автоспорт, Набережные Челны, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. При эксплуатации транспортно-технологических машин и оборудования наиболее частым отказом является проворачивание шатунных вкладышей коленчатого вала. В предшествующих исследованиях по тракторным, тепловозным и автомобильным дизелям недостаточно раскрыта физическая сущность и механизм проворачивания вкладышей.

Цель работы — исследование напряженного и деформированного состояния стальной основы шатунных вкладышей коленчатого вала в качестве исходных и развивающихся факторов процесса, приводящего к отказу.

Материалы и методы. Настоящие исследования базируются на анализе многочисленных работ, посвященных изучению причин проворачивания шатунных вкладышей различных ДВС. В качестве основных материалов использованы методики и результаты, полученные коллективом авторов настоящей статьи, по эксплуатационным и стендовым исследованиям напряженного состояния и формоизменения шатунных вкладышей двигателей КАМАЗ-740 (8Ч 12/12).

Результаты. Выявлен механизм изменения напряженного состояния и, как следствие, геометрических параметров стальной основы, сопровождающийся формоизменением шатунных вкладышей двигателей КАМАЗ-740. Исследованиями установлено, что возникновение отказа не является внезапным. Процесс протекает по определенной закономерности в три этапа. Первый этап характеризуется появлением деформации вкладыша по причине избыточного напряженного состояния. Второй этап обусловлен развитием полученных деформаций до критических значений. На третьем этапе — происходит проворачивание шатунного вкладыша из-за полученных деформаций и нарушений условий гидродинамики подшипника. Основным результатом является обоснование требований и условий по обеспечению стабильности параметров и формы вкладышей при длительной работе двигателя.

Заключение. Знание процесса, приводящего к формоизменению шатунных вкладышей подшипников коленчатого вала, позволяет разрабатывать конструкторско-технологические решения и рекомендации по исключению отказов путем оптимизации параметров вкладышей.

Ключевые слова: транспортно технологические машины и оборудование; подшипники коленчатого вала; техническое состояние; шатунные вкладыши; напряженное состояние; формоизменение; выступание; распрямление; прогиб; зазор.

Как цитировать:

Кулаков А.Т., Кулаков О.А., Калимуллин Р.Ф., Барыльникова Е.П. Исследование процесса формоизменений шатунных вкладышей в предотказный период работы транспортно-технологических машин и оборудования // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 5. С. 469–475. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-462805>

Рукопись получена: 29.05.2023

Рукопись одобрена: 15.08.2023

Опубликована онлайн: 13.10.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-462805>

Original Study Article

Study of the process of connecting rod liners' shape changing in the pre-failure operation period of transport and technological machines and equipment

Alexander T. Kulakov¹, Oleg A. Kulakov², Ruslan F. Kalimullin¹, Elena P. Barylnikova¹

¹ Naberezhnye Chelny Institute (Branch) of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russian Federation;

² KAMAZ-Autosport, Naberezhnye Chelny, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: During the operation of transport and technological machines and equipment, the most frequent failure is loose running of connecting rod liners of a crankshaft. Previous studies on tractor, locomotive and automotive diesel engines did not sufficiently disclose the reasons for loose running of liners.

AIMS: Study of the stress-strain state of the steel base of connecting rod liners as the initial and developing factors of the process leading to failure.

METHODS: The research is based on the analysis of numerous works devoted to the study of the causes of loose running of connecting rod liners of various internal combustion engines. The methods and results on the operational and bench studies of the stress state and shape changing of connecting rod liners for the KAMAZ-740 (8Ch 12/12) engine obtained by the team of authors are used as the basic data.

RESULTS: The process of change in stress state and consequent change in geometric parameters of the steel base, accompanied by change in the shape of connecting rod liners of the KAMAZ-740 engines has been revealed. It is established with the study that the occurrence of failure is not sudden. The process proceeds according to a certain pattern in three stages. The first stage is characterized by the appearance of deformation of a liner due to excessive stress state; the second stage is caused by development of obtained deformations up to critical values; the third stage is loose running of a connecting rod due to obtained deformations and violations of liner's hydrodynamics conditions. The main result is justification of requirements and conditions for ensuring stability of parameters and shape of liners during long-term operation of engine.

CONCLUSIONS: Knowledge of the process leading to the change in shape of crankshaft bearing liners makes it possible to develop design and technological solutions and recommendations to eliminate failures by optimizing the parameters of liners.

Keywords: Transport and technological machines and equipment; crankshaft bearings; technical condition; connecting rod liners; stress state; shape changing; protrusion; straightening; deflection; backlash.

To cite this article:

Kulakov AT, Kulakov OA, Kalimullin RF, Barylnikova EP. Study of the process of connecting rod liners' shape changing in the pre-failure operation period of transport and technological machines and equipment. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(5):469–475.

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-462805>

Received: 29.05.2023

Accepted: 15.08.2023

Published online: 13.10.2023

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации автомобилей и других наземных транспортно-технологических средств, в том числе узлов и агрегатов, одним из которых является двигатель внутреннего сгорания, неизбежно и закономерно происходит ухудшение их технического состояния. Причинами, приводящие к отказам, снижению мощности, ухудшению топливно-экономических и экологических показателей, называют: изнашивание, усталостное разрушение, пластические деформации, коррозия и другие факторы.

Одним из опасных по последствиям и трудно предсказуемых в эксплуатации отказов является такой дефект, как проворачивание шатунных вкладышей коленчатого вала. Проворачивание вкладышей приводит к выходу двигателей из строя и последующему дорогостоящему ремонту [1–5].

До настоящего времени проблема проворачивания шатунных вкладышей полностью не решена, несмотря на то, что в области повышения надежности двигателей как отечественного, так и зарубежного производства проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Постоянное проявления отказа, а также наличие научных исследований доказывают, что недостаточно раскрыта физическая сущность проворачивания вкладышей. Нет четкой картины причинно-следственных связей, показывающих механизм развития отказа и возможность его исключения в эксплуатации.

Отказ шатунных вкладышей может наступить у относительно новых двигателей, то есть при исправно работающей системе смазки, при отсутствии износов в сопряжении (при полностью сохранившемся свинцовистом покрытии вкладыша). Например, в работах [6, 7] анализ отказов шатунных подшипников у 518 двигателей КАМАЗ показал, что вероятность проворачивания вкладышей выше в начальный период эксплуатации двигателя, то есть при малых износах подшипников, нормальном давлении масла в системе смазки.

Поэтому исследование процессов, приводящих к проворачиванию шатунных вкладышей у современных двигателей семейства КАМАЗ-740, актуально в настоящее время.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ШАТУННЫХ ПОДШИПНИКОВ

Исследованию причин проворачивания вкладышей шатунных подшипников посвящены многочисленные работы (см., например, [6, 7]). Разработаны способы их диагностирования, обоснованы и внедряются различные конструктивные, технологические и эксплуатационные решения повышения надежности.

На самом деле причин, по которым проворачиваются вкладыши достаточно много. Однако, считается,

что наиболее вероятная — отсутствие в шатунных подшипниках масла или недостаточное его количество. Поэтому, этот отказ относится к категории эксплуатационных. Причем, он может внезапно появиться как на новых двигателях, так и после капитального ремонта.

В качестве основной причины проворачивания шатунных вкладышей на дизельных двигателях ЯМЗ-238, -240; КАМАЗ-740 специалистами заводов КАМАЗ [6] и ЯМЗ [4, 10] считалось попадание в подшипники с маслом абразивных загрязняющих примесей. Длительный период разрабатывались способы по исключению абразива в системе смазки. В конструкцию коленчатого вала были внедрены специальные грязеулавливающие канавки, которые должны были задерживать абразив. Была улучшена система фильтрации масла и воздуха. Эксплуатирующими предприятиями предпринимались определенные меры по выполнению требований завода-изготовителя, касающихся организации технического обслуживания, применяемых масел, защиты двигателя от попадания пыли. Проведенные мероприятия, однако, не исключили отказов двигателей из-за проворачивания шатунных вкладышей.

В исследованиях причин отказов тепловозных дизелей [8, 9] отмечено значительное влияние напряжений в антифрикционном слое вкладыша на стабильность его формы. Однако, авторами сделано предположение на основании изучения эксплуатационных отказов и особенно предотказных состояний по дизелю КАМАЗ-740, что напряженное состояние самой стальной основы является определяющим фактором формоизменений вкладыша. Уже на этапе их изготовления происходит формирование напряжений, к которым затем добавляются напряжения при формировании напряженно-деформированного состояния стальной основы вкладыша от монтажа и условий работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШАТУННЫХ ВКЛАДЫШЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ-740

Для установления изменения напряженного и деформированного состояния стальной основы шатунных вкладышей были проведены стендовые испытания. Испытанию на безотказность подверглись двигатели КамАЗ-740. Общая продолжительность испытания 1000 ч.

Для исследования было использовано три комплекта шатунных вкладышей (48 штук), у которых были различные исходные значения диаметра в свободном состоянии $D_{св}$ от 85,4 до 86,0 мм и выступания t от 50 до 130 мкм. Определение размеров осуществлялось с помощью контрольного приспособления под нагрузкой 6,1 кН (норматив конструкторской документации по двигателям

КАМАЗ-740). Таким образом, был исследован весь диапазон размеров вкладышей, устанавливаемых в двигателе.

На один шатун устанавливали вкладыши с одинаковыми или близкими параметрами. Изменения в стальной основе вкладыша определяли по напряженному состоянию σ и геометрическим параметрам — выступанию t и распрямлению δ . Измерения проводились после первых 50 ч работы двигателя и далее каждые следующие 200 ч по одинаковой программе (продолжительность каждого этапа, режимы и параметры работы двигателя).

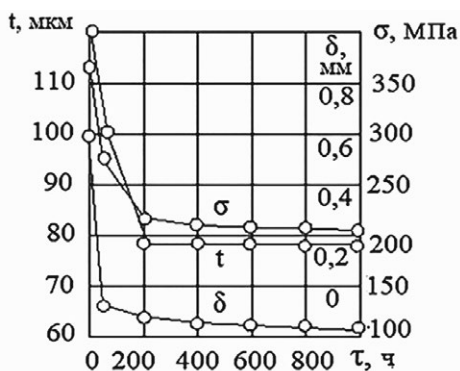


Рис. 1. Изменение выступания t и распрямления δ от наработки двигателя КамАЗ-740 в стендовых условиях, снижение монтажных напряжений в стальной основе шатунных вкладышей σ со стороны рабочей поверхности.

Fig. 1. Change of protrusion t , and straightening δ from of the KAMAZ-740 engine runtime in bench conditions, reduction of mounting stresses in the steel base of connecting rod liners σ at the side of the working surface.

По результатам испытаний установлено (рис. 1), что в основном за первые 200 часов работы двигателя вкладыши изменяют свое напряженное состояние и геометрические параметры. После чего напряжение, выступание и распрямление стабилизируются и вкладыши практически не изменяются.

Величина установившихся значений выступания и распрямления у отдельных вкладышей различна, а уровень установившихся напряжений на рабочей поверхности у всех вкладышей оказался один и тот же, около 200 МПа, что соответствует допустимой величине суммарных монтажных напряжений.

При исходных монтажных напряжениях $\sigma_0 \geq 200$ МПа происходят большие деформации; при монтажных напряжениях $\sigma_0 \leq 200$ МПа деформация практически отсутствует на этапах работы дизеля.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что в начальный период работы двигателя происходит деформация вкладышей до тех пор, пока в рабочем состоянии стальной основы напряжение по всему поперечному сечению вкладыша не станет ниже предела текучести на сжатие. Исследованиями определено значение предела текучести на сжатие стальной основы вкладыша Ст08кп $\sigma_T = 500$ МПа. При значениях выше предела текучести неизбежны пластические деформации, которые выражаются в изменении геометрических параметров, заданных чертежом.

На рис. 2 показано изменение геометрических размеров верхних шатунных вкладышей до устойчивого

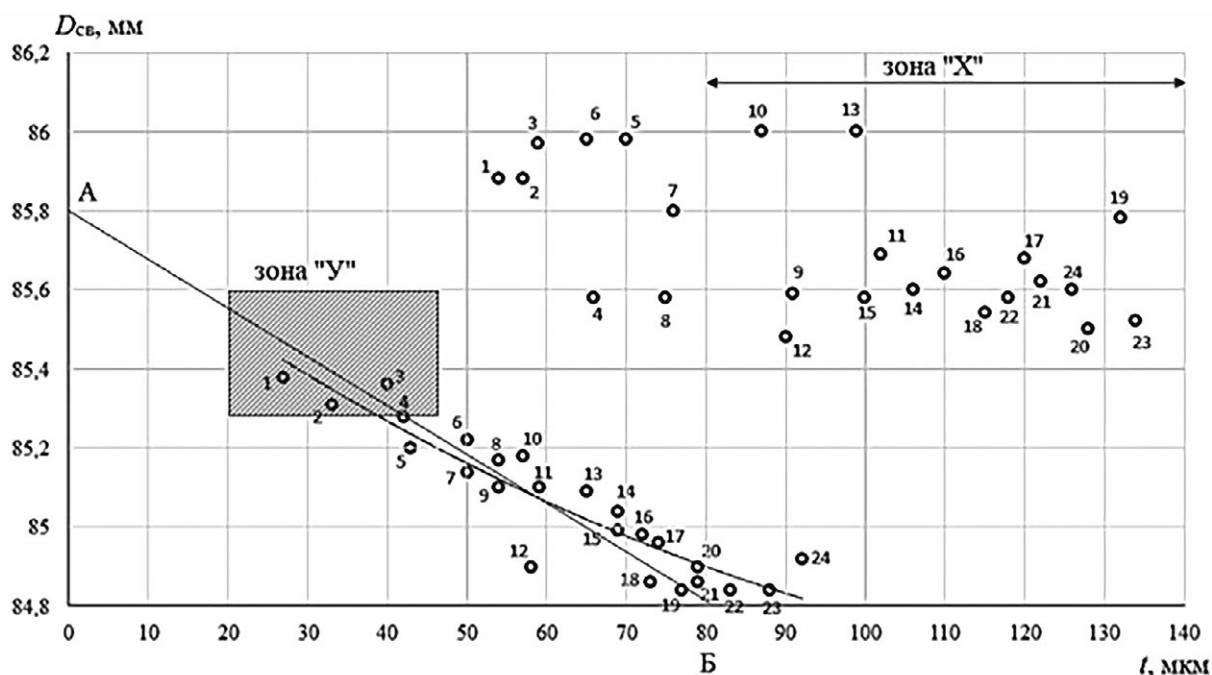


Рис. 2. Граница устойчивого состояния вкладышей через 200 ч работы на двигателе при исходных значениях выступания t и диаметра $D_{св}$: А–Б — линия устойчивых состояний вкладышей; зона «Х» — зона нежелательных исходных параметров; зона «У» — зона предпочтительных значений исходных параметров.

Fig. 2. Boundary of the stable state of the liners after 200 hours of operation in the engine at the initial values of the protrusion t and diameter $D_{св}$: А–Б — line of stable states of the liners; zone «Х» — zone of undesired initial parameters; zone «У» — zone of preferable values of initial parameters.

состояния за 200 ч работы на двигателе при исходных значениях выступания t и диаметра D_{cb} . Две точки, относящиеся к одному и тому же вкладышу, обозначены одинаковыми цифрами. Точки, характеризующие геометрию вкладыша после 200 ч работы, расположились в зоне, ограниченной линией А–Б. Поскольку вкладыши находятся в устойчивом состоянии, то линия А–Б характеризует границу устойчивых параметров. Выше линии А–Б расположена зона неустойчивых параметров, ниже — устойчивых.

Из рис. 2 следует, что чем больше величина исходных параметров D_{cb} и t , тем на большую величину снизится диаметр и натяг вкладыша в процессе работы. Наиболее интенсивно деформация происходит у вкладышей с большим выступанием (натягом).

Зона «Х» на графике представляет область опасных значений выступания и диаметра в свободном состоянии (t и D_{cb}). На вкладышах из этой области при испытании образовался натир в средней части рабочей поверхности (рис. 3), что является началом проворачивания вкладышей.

Что же отличает состояние вкладышей 3 и 6 цилиндров? Изменение геометрических параметров вкладышей приводит к его деформации и формоизменениям, приводящим к образованию прогиба. На рис. 4 показано формоизменение вкладыша и образования прогиба Δ , который эквивалентно снижает фактический зазор S в подшипнике. Как результат, шатунные подшипники работают в условиях уменьшенного зазора, так как вкладыш фактически утолщается, и с седлообразной поверхностью.

Возникший на первом этапе первичный прогиб вкладыша снижает фактическую площадь контакта вкладыша с шатуном, что ухудшает теплоотдачу вкладыша к шатуну, что вызывает его перегрев, возрастание напряжений и деформации на втором этапе [11, 12].

Для подтверждения аналитических предпосылок развития прогиба во втором этапе по зависимостям были измерены уцелевшие вкладыши 45 двигателей, имеющих проворачивание шатунных вкладышей на одном цилиндре и поступивших в ремонт с различной наработкой, на наличие прогиба. По полученным данным были определены параметры зависимости прогиба от наработки $\Delta = 8,7 \cdot e^{0,00614 \cdot l}$ (рис. 5). Эта осредненная зависимость показывает нарастание прогиба и соответственно уменьшение фактического зазора, из которой по осредненной интенсивности можно определить предельный пробег, при котором прогиб достигнет величины зазора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение геометрических параметров шатунных вкладышей из-за напряженного состояния стальной основы указывает на развитие отказа.

Отказ появляется не внезапно, а развивается в течение довольно длительного времени. Этот процесс

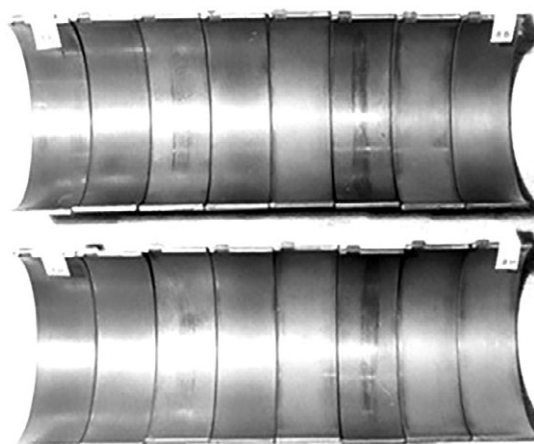


Рис. 3. Вид шатунных вкладышей после испытаний с характерными натирами в средней части по 3 и 6 цилиндрам (слева 1, справа 8 цилиндр).

Fig. 3. View of connecting rod liners after tests with specific rubbing in the middle on cylinders #3 and #6 (left-to-right — from the cylinder #1 to the cylinder #8).

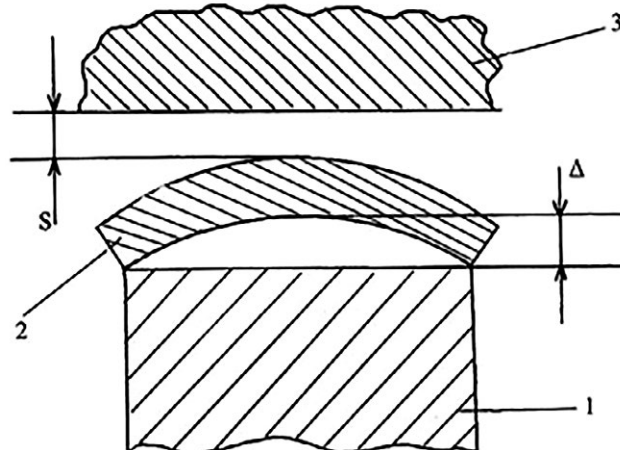


Рис. 4. Схема поперечной деформации вкладыша 2 с образованием прогиба Δ : 1 — шатун; 2 — вкладыш; 3 — шейка вала; S — зазор в подшипнике.

Fig. 4. Diagram of transverse deformation of a liner 2 with formation of deflection Δ : 1 — a connecting rod; 2 — a liner; 3 — a shaft pin; S — bearing clearance.

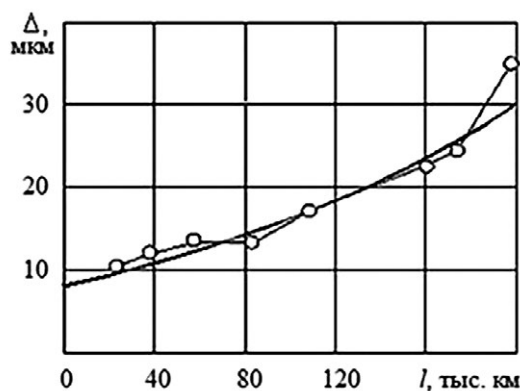


Рис. 5. Нарастание среднего остаточного прогиба вкладышей Δ от наработки.

Fig. 5. Increase of average residual deflection of liners Δ with operating time.

проходит по определенной закономерности в три этапа. Первый этап характеризуется появлением деформации вкладыша по причине избыточного напряженного состояния. Второй этап обусловлен развитием полученных деформаций до критических значений. Третий этап сопровождается проворачиванием шатунного вкладыша из-за полученных деформаций и нарушений условий гидродинамики подшипника.

Чтобы обеспечить стабильность геометрических размеров и форму шатунных вкладышей необходимо выбирать их таким образом, чтобы исходные напряжения в сумме с напряжениями от монтажа и температурных условий в поперечном сечении стальной основы не превышали предел текучести для материала Ст08кп, что является предпосылкой и направлением для практических рекомендаций по оптимизации параметров вкладышей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. А.Т. Кулаков — обзор литературы, сбор и анализ данных, планирование экспериментальных исследований, разработка теоретических предпосылок; О.А. Кулаков — проведение экспериментальных исследований, разработка методик испытаний, подготовка отчета по испытаниям, первичная обработка данных экспериментов; Р.Ф. Калимуллин — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; Е.П. Барыльникова — правка текста и редактирование статьи, изготовление рисунков и графиков, доработка под требования оригинальности и издательства. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли

существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.T. Kulakov — literature review, data collection and analysis, experimental study planning, development of theoretical assumptions; O.A. Kulakov — carrying out experimental studies, development of test procedures, preparation of test reports, primary processing of experimental data; R.F. Kalimullin — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article; E.P. Barylnikova — text revision and editing the article, creating figures and graphs, adaptation to the requirements of originality and publishing house. The authors attest that they meet the *ICMJE* international criteria for authorship (all authors made substantial contributions to the conceptualization, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буравцев Б.К. Качество сборки подшипников коленчатого вала и надежность дизельных двигателей // Автомобильный транспорт. 1982. № 12. С. 41–42.
- Буравцев С.К., Буравцев Б.К. Повышение надежности шатунных подшипников коленчатых валов двигателей // Двигателестроение. 1983. № 3. С. 3–7.
- Гафиятуллин А.А. Обеспечение работоспособности шатунных подшипников автотракторных двигателей путем создания неразрывности масляного потока. дис. канд. техн. наук. Саратов, 2005.
- Григорьев М.А., Долецкий В.А. Обеспечение надежности двигателей. М.: Изд-во стандартов, 1978.
- Суркин В.И., Попов Г.П. Оптимизация параметров шатунного подшипника тракторного дизеля // Двигателестроение. 1984. № 3. С. 41–43.
- Денисов А.С., Кулаков А.Т. Анализ причин эксплуатационных разрушений шатунных вкладышей двигателей КамАЗ-740 // Двигателестроение. 1981. № 9. С. 37–40.
- Кулаков А.Т. Разработка способа диагностирования шатунных подшипников двигателей и практических рекомендаций для снижения их отказов в процессе эксплуатации (на примере КамАЗ-740). дис. канд. техн. наук. Саратов, 1986.
- Быков В.Г., Салтыков М.А., Горбунов М.Н. Причины необратимых формоизменений тонкостенных вкладышей и пути повышения надежности подшипников высоконагруженных дизелей // Двигателестроение. 1980. № 6. С. 54–57.
- Быков В.Г., Салтыков М.А., Горбунов М.Н. Новый способ обеспечения стабильности геометрических параметров вкладышей для высоконагруженных подшипников дизелей // Двигателестроение. 1985. № 8. С. 32–36.
- Антропов Б.С., Яновский М.А., Нестеров Д.А. Повышение работоспособности подшипников коленчатого вала // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 12. С. 35–36.
- Кулаков А.Т., Сахапов И.А., Кулаков О.А. Диагностирование формоизменений шатунных вкладышей дизельных двигателей // Автотранспортное предприятие. 2008. № 8. С. 47–49.
- Патент РФ № 2691259 / 11.06.2019. Бюлл. № 17 Макушин А.А., Кулаков А.Т., Кулаков О.А., и др. Способ определения зазора в шатунном подшипнике коленчатого вала при испытании и диагностике двигателя внутреннего сгорания автомобилей, транспортных и транспортно-технологических машин. Дата обращения: 29.05.2023. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2691259C1_20190611

REFERENCES

1. Buravtsev BK. Build quality of crankshaft bearings and reliability of diesel engines. *Avtomobilnyy transport*. 1982;12:41–42. (in Russ).
2. Buravtsev SK, Buravtsev BK. Increasing the reliability of connecting rod bearings of engine crankshafts. *Dvigatelistroenie*. 1983;3:3–7. (in Russ).
3. Gafiyatullin AA. Obespechenie rabotosposobnosti shatunnykh podshipnikov avtotraktornykh digateley putem sozdaniya nerazryvnosti maslyanogo potoka [dissertation] Saratov; 2005. (in Russ).
4. Grigoriev MA, Doletsky VA. *Ensuring engine reliability*. Moscow: Izd-vo standartov; 1978. (in Russ).
5. Surkin VI, Popov GP. Optimization of parameters of a tractor diesel connecting rod bearing. *Dvigatelistroenie*. 1984;3:41–43. (in Russ).
6. Denisov AS, Kulakov AT. Analysis of the causes of operational destruction of connecting rod bearings of KamAZ-740 engines. *Dvigatelistroenie*. 1981;9:37–40. (in Russ).
7. Kulakov AT. Razrabotka sposoba diagnostirovaniya shatunnykh podshipnikov dvigateley i prakticheskikh rekomendatsiy dlya snizheniya ikh otkazov v protsesse ekspluatatsii (na primere KamAZ-740) [dissertation] Saratov; 1986. (in Russ).
8. Bykov VG, Saltykov MA, Gorbunov MN. Reasons for irreversible changes in thin-walled bearings and ways to improve the reliability of bearings in highly loaded diesel engines. *Dvigatelistroenie*. 1980;6:54–57. (in Russ).
9. Bykov VG, Saltykov MA, Gorbunov MN. A new way to ensure stability of the geometric parameters of liners for highly loaded diesel bearings. *Dvigatelistroenie*. 1985;8:32–36. (in Russ).
10. Antropov BS, Yanovsky MA, Nesterov DA. Improving the performance of crankshaft bearings. *Tractors and agricultural machinery*. 2007;12:35–36. (in Russ).
11. Kulakov AT, Sakhapov IA, Kulakov OA. Diagnosis of shape changes in connecting rod bearings of diesel engines. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2008;8:47–49. (in Russ).
12. Patent RUS № 2691259 / 11.06.2019. Byull. № 17. Makushin AA, Kulakov AT, Kulakov OA, et al. Sposob opredeleniya zazora v shatunnom podshipnike kolenchatogo vala pri ispytanii i diagnostike dvigatelya vnutrennego sgoraniya avtomobiley, transportnykh i transportno-tehnologicheskikh mashin. (in Russ). Accessed: 29.05.2023. Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2691259C1_20190611

ОБ АВТОРАХ

* Барыльникова Елена Петровна,

доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»;
адрес: Российская Федерация, 423813, Набережные Челны,
ул. Шамиля Усманова, д. 18А;
ORCID: 0000-0002-1457-1598;
eLibrary SPIN: 8003-0262;
e-mail: 692401@mail.ru

Кулаков Александр Тихонович,

д-р техн. наук,
профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»;
ORCID: 0000-0002-6443-0136;
eLibrary SPIN: 6745-0764;
e-mail: alttrak09@mail.ru

Кулаков Олег Александрович,

главный механик КАМАЗ-Автоспорт;
ORCID: 0009-0003-0102-4856;
eLibrary SPIN: 8504-0605;
e-mail: kylakov.o@mail.ru

Калимуллин Руслан Флюрович,

д-р техн. наук,
профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»;
ORCID: 0000-0003-4016-2381;
eLibrary SPIN: 3492-4311;
e-mail: rkalimullin@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Elena P. Barylnikova,

Associate Professor, Cand. Sci. (Tech.),
Associate Professor of the Automobile Transport Operation Department;
address: 18A Shamilya Usmanova street, 423813 Naberezhnye Chelny, Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-1457-1598;
eLibrary SPIN: 8003-0262;
e-mail: 692401@mail.ru

Alexander T. Kulakov,

Dr. Sci. (Tech.),
Professor of the Automobile Transport Operation Department;
ORCID: 0000-0002-6443-0136;
eLibrary SPIN: 6745-0764;
e-mail: alttrak09@mail.ru

Oleg A. Kulakov,

Chief Mechanic KAMAZ-Autosport;
ORCID: 0009-0003-0102-4856;
eLibrary SPIN: 8504-0605;
e-mail: kylakov.o@mail.ru

Ruslan F. Kalimullin,

Dr. Sci. (Tech.),
Professor of the Automobile Transport Operation Department;
ORCID: 0000-0003-4016-2381;
eLibrary SPIN: 3492-4311;
e-mail: rkalimullin@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author