

УДК 34.47

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ

*Р.Ф. Салихов, В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, Г.Н. Мусагитова\**  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия  
\*galiarta@mail.ru

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Создание новой техники и развитие современных технологий ее ремонта во многом определяются разработкой материалов с заданными свойствами. Особое внимание отводится экономии и широкому внедрению ресурсосберегающих и экологически чистых технологий, а также проблемам получения и освоения новых материалов, повышения качества изделий.

Проверка качества материалов, из которых изготовлены подшипники скольжения, на этапе ремонта строительной техники и оборудования, а также снижение стоимости, продолжительности выполнения операций технического контроля являются одними из актуальных задач, стоящих перед ремонтными организациями. Их решение позволит увеличить послеремонтный ресурс, уменьшить количество отказов, сократить издержки на устранение неисправностей в гарантийный период.

**Материалы и методы.** В данной работе предложен тепловой метод оценки качества материалов подшипников скольжения в двигателях внутреннего сгорания. Данный метод отличается сравнительной простотой, не требует разрушения материала и применения дорогостоящего оборудования.

**Результаты.** Получены зависимости изменения толщины вкладышей марок «Cummins» и «Mahle» от температуры их нагрева, а также температуры нагрева образцов от продолжительности испытания. По полученным результатам были определены такие параметры, как удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности. В статье приводятся результаты проведенных испытаний, которые показывают, что теплофизические параметры неоригинальных вкладышей отличаются от оригинальных на 11% по коэффициенту теплопроводности и в 1,56 раза по удельной теплоемкости.

**Обсуждение и заключение.** Расчет удельной теплоемкости, теплопроводности подшипников скольжения позволяет, используя уже существующую методику, определить на этапе входного контроля вероятность их отказа, а значит, принять более правильное решение при выборе деталей для проведения качественного ремонта. В результате сравнения изменения температуры при нагреве образцов вкладышей фирм «Cummins» и «Mahle» можно заключить, что интенсивность нагрева оригинального вкладыша выше на 17%, а величина, обратная градиенту температуры вкладыша, при его нагревании в 1,27 раза ниже по сравнению с неоригинальным подшипником скольжения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** подшипник скольжения, шейка коленчатого вала, теплопроводность, удельная теплоемкость, толщина вкладыша, температура.

**Благодарности.** Авторы выражают признательность руководству компании АО «Салек» (г. Киселевск, Кемеровская область) за оказанную помощь при проведении данного исследования. Также благодарят рецензентов, которые будут работать с настоящей статьей.

© Р.Ф. Салихов, В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, Г.Н. Мусагитова



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# TECHNOLOGY IMPROVEMENT OF PLAIN BEARINGS' TECHNICAL CONTROL IN CONSTRUCTION MACHINERY AND EQUIPMENT

*R.F. Salikhov, V.V. Akimov, A.F. Mishurov, G.N. Musagitova\**  
Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia  
\*galiarta@mail.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The creation of new machinery and development of modern technologies of its repair in many respects with generation of materials with required properties are defined. Special attention is paid to the economy and widespread introduction of resource-saving and environmentally friendly technologies and to the problems of obtaining and exploitation of new materials, improvement of the goods' quality.

The quality control of materials, which have been used for plain bearings manufacture, during repair action of construction machinery and equipment, as well as reduction of cost and duration of technical control operations implementation are among the issues for repair service organizations. Their solution would enable to increase post-repair resource, cut down failures number, and reduce costs of faults removal in warranty period.

**Materials and methods.** The authors suggest a thermal method of plain bearings materials quality assessment in internal combustion engines. This method is remarkable for its comparative simplicity; it does not require destruction of the material and application of expensive equipment.

**Results.** The dependences of "Cummins" and "Mahle" bushings thickness change on the heating temperature as well as samples warming temperature dependence on test duration have been obtained. According to the derived results such parameters as specific heat and thermal conductivity coefficient are defined. The results of carried out tests show that thermal physic parameters of unoriginal bushings differ from original ones by 11% in thermal conductivity coefficient and by 1.56 times in specific heat.

**Discussion and conclusions.** The calculation of specific heat, thermal conductivity of plain bearings allows to determine the probability of their failure at the stage of entrance control and therefore, to make a more correct decision when choosing parts for execution high-quality repair. As a consequence of temperature change comparison, when bushings samples of "Cummins" and "Mahle" companies are heated, it could be concluded that heating intensity of an original bushing is 17% higher and the reciprocal of bushing temperature gradient under warming is 1.27 times lower in comparison with an unoriginal plain bearing.

**KEYWORDS:** plain bearing; crankshaft journal; thermal conductivity; specific heat; bushing thickness; temperature

**Acknowledgments.** The authors express their appreciation to the administration of closed joint-stock company "Salek" (Kiselyovsk, Kemerovo Region) for the help in carrying out the research. Also the authors would like to thank the reviewers for their comments.

© R.F. Salikhov, V.V. Akimov, A.F. Mishurov, G.N. Musagitova



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

В промышленности широко применяется строительная техника и оборудование, оснащенные двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

В современных конструкциях машин наблюдается тенденция развития стратегии невозможности деталей или одноразового их использования, в том числе таких, как коленчатый вал, блок цилиндров, корпус масляного насоса и др. Ремонтная стратегия отечественных предприятий сократила объемы, связанные с операциями восстановления и занимается по большей части демонтажно-монтажными операциями [1]. Однако и на данном этапе ремонта требуется соблюдение правил сборки, в состав которых входит входной контроль технических параметров деталей.

В настоящее время одним из актуальных вопросов обеспечения заданного ресурса сопряжения «подшипник скольжения – коленчатый вал ДВС» является применение оригинальных деталей или аналогов, соответствующих техническим требованиям, установленным заводом-изготовителем. Политика импортозамещения продукции в РФ, в том числе деталей машин, предполагает обязательное соответствие заданному уровню качества, которое должно подтверждаться техническим контролем на разных стадиях жизненного цикла изделия, иначе произойдет рост количества отказов и убытков в процессе эксплуатации строительной техники и оборудования [2]. Заводы-изготовители деталей машин используют конструктивные методы повышения надежности путем обращения к различным материалам с целью повышения долговечности, выносливости продукции, снижения себестоимости [3, 4, 5, 6, 7].

Зачастую в практике производства сервисные ремонтные организации пытаются снизить стоимость ремонта путем применения аналогов деталей [2, 8]. В частности, не исключением является замена оригинальных подшипников скольжения на неоригинальные. Нередко персонал ремонтных организаций недоумевает по поводу возложенной на них

ответственности перед эксплуатантами, которую они несут при установке различных видов деталей, в том числе и подшипников скольжения, заключающейся в том, что они должны проверять их качество. Проверка качества в практике производства в лучшем случае осуществляется по геометрическим параметрам: толщина вкладыша (рисунок 1), шероховатость его поверхностей, допуск на измеряемую величину выступания, номинальный диаметр и другие, однако структуру, химический состав материала никто не проверяет<sup>1, 2, 3</sup>. Это объясняется высокой стоимостью проведения данных видов анализа, а также дополнительными потерями времени и трудозатратами.

Анализ существующих работ, посвященных проблематике отказов подшипников скольжения, указывает на то, что проворачивание, задир вкладышей составляют порядка 41% от общего количества случаев выхода из строя данной детали [9].

Причинами проворачивания, задира вкладышей, согласно имеющимся источникам и исследованиям авторов, являются следующие факторы: применение некондиционного моторного масла, нарушение регламента проведения технического обслуживания, преждевременный выход из строя масляного и воздушного фильтров, масляного насоса, неисправность форсунок системы питания и системы смазки и т.д. [9, 10, 11, 12].

Большое количество исследований было посвящено определению таких параметров, как коэффициент теплопроводности, температуропроводности, удельной теплоемкости. Для определения данных параметров используются различные средства и технологии измерения [9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Для входного контроля качества подшипников скольжения применяются определенные методы и средства<sup>1-3</sup>. Однако в их основе лежит измерение линейных параметров при нормальной температуре (при 20°C).

Отдельные исследования по измерению толщины вкладыша приведены в работе [9]. В то же время сама технология проведения измерения подробно не описывается. Поэтому авторы данной статьи предложили опытную

<sup>1</sup> ГОСТ 28342–89 Подшипники скольжения. Тонкостенные вкладыши. Размеры, допуски и методы их контроля. Введен 01.01.1991. М.: Изд-во стандартов, 1990. 15 с.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 53836–2010 Двигатели автомобильные. Вкладыши тонкостенные коренных и шатунных подшипников. Технические требования и методы испытаний. Дата введения 2010-09-15. М.: Стандартинформ, 2010. 20 с.

<sup>3</sup> ГОСТ ИСО 12301–95 Подшипники скольжения. Методы контроля геометрических показателей и показателей качества материалов. Дата введения 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1996. 58 с.

установку, описанную ниже, с помощью которой были определены теплофизические параметры исследуемых вкладышей.

Также необходимо указать, что сведения о теплофизических параметрах подшипников скольжения зарубежного производства в настоящее время отсутствуют. Главное условие, которое диктуют отечественные и зарубежные производители, – это необходимость применения только оригинальных деталей.

В связи с вышесказанным необходимо искать способы снижения стоимости технического контроля качества подшипников скольжения для проверки соответствия техническому регламенту заводов-изготовителей. Решение этой задачи будет способствовать осуществлению технического контроля качества подшипников скольжения в более широком масштабе. Определение удельной теплоемкости, теплопроводности подшипников скольжения позволит, используя уже существующую методику, определить на этапе входного контроля вероятность их отказа, а значит, принять более правильное решение при выборе деталей для проведения качественного ремонта. Это, в свою очередь, приведет к увеличению остаточного ресурса двигателей внутреннего сгорания, снижению количества отказов и издержек на устранение неисправностей в течение гарантийного срока.



*Рисунок 1 – Измерение толщины подшипника скольжения фирмы «Cummins» ДВС КТТА-19 при температуре 23 °С*

*Figure 1 – Thickness gauging of a plain bearing of the “Cummins” ICE KTTA-19 company at 23 °C temperature*

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Как известно, назначение подшипника скольжения состоит в обеспечении скольжения при запуске, поддержании требуемой толщины масляной пленки, усталостной прочно-

сти при различных нагрузках, предотвращении возникновения продуктов износа, теплоотвода в тело шатуна, блока цилиндров, соблюдения требуемого зазора при существующих термических нагрузках [9,10,11, 12].

Одним из распространенных видов после-ремонтного отказа подшипников скольжения коленчатого вала ДВС является их проворачивание, задир [10, 11]. Наибольшая вероятность проворачивания подшипников скольжения относительно шеек коленчатого вала существует у шатунных, так как они испытывают большие нагрузки от воспламенения топливно-воздушной смеси и в случае снижения давления моторного масла первыми испытывают масляный голод.

Для проверки качества подшипников скольжения авторами был предложен метод, основанный на сравнении теплофизических свойств оригинального подшипника и его заменителя. Испытания проводились на оригинальных подшипниках скольжения фирмы «Cummins» (США) и их заменителе производства фирмы «Mahle» (Германия).

Методика проведения эксперимента включала в себя следующие операции:

а) установка фрагмента подшипника на подставку, которая помещалась на площадку нагревателя (рисунок 2);

б) установка ножки индикатора часового типа (погрешность 0,001 мм), закрепленного на штативе, на поверхность подшипника;

в) нагрев части подшипника скольжения при помощи регулируемого нагревателя до определенной температуры за период времени 8 мин. Температура нагревателя определялась при помощи бесконтактного термометра марки «Raytek Raunger ST 25 Pto» в месте контакта (рисунок 3).

Технология измерения температуры с использованием бесконтактного термометра марки «Raytek Raunger ST 25 Pto» предполагает наведение двух лучей на измеряемый объект и фокусировку их в одну точку. При данном условии производится нажатие на курок термометра, и на табло высвечивается действительная температура измеряемого объекта в указанной точке.

В процессе проведения испытаний контроль температуры проводился периодически. Общее количество измерений температуры по каждому из образцов составило не менее 15 раз. Время нагрева определялось секундометром. Шаг измерения температуры по времени отражен на графической зависимости (рисунок 4).

г) определение массы оригинального и не-оригинального подшипников скольжения на весах.



Рисунок 2 – Общий вид установки для проверки изменения толщины подшипников скольжения в зависимости от температуры и продолжительности нагрева

Figure 2 – General view of the facility for checking of plain bearings thickness change depending on temperature and warming duration



Рисунок 3 – Фрагмент измерения температуры подшипника скольжения

Figure 3 – Fragment of a plain bearing temperature measuring

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных испытаний были получены графические зависимости изменения температуры вкладышей от продолжительности их нагрева (см.рисунок 4), а также аналитические зависимости, их описывающие (формулы (1),( 2)).

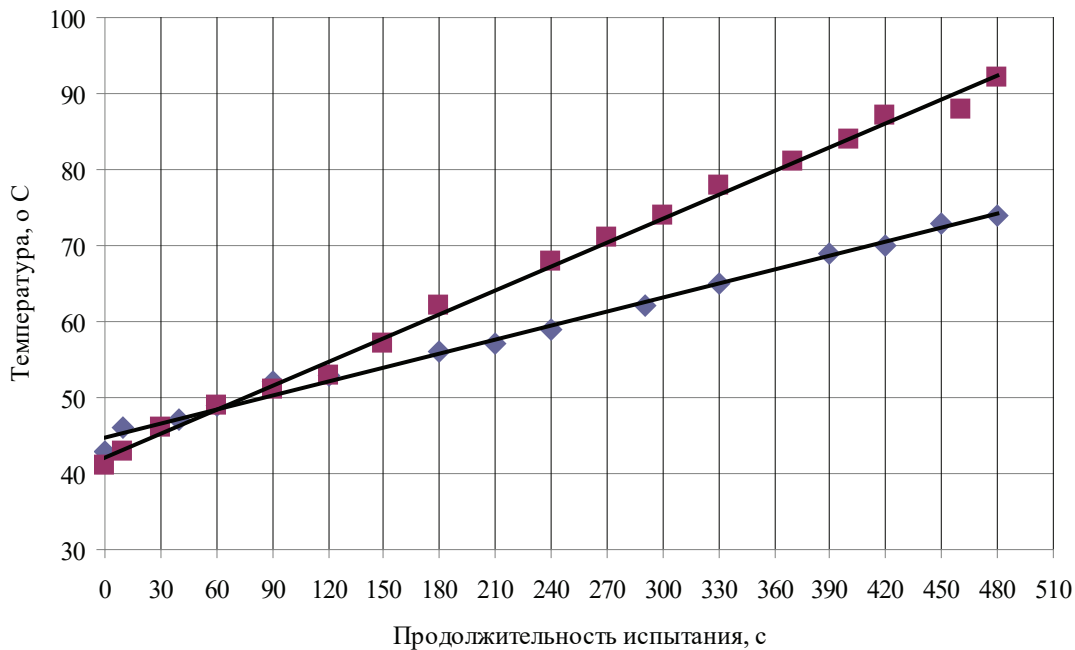


Рисунок 4 – Изменение температуры нагрева образцов подшипников скольжения в зависимости от продолжительности испытания

Figure 4 – Temperature changing of the plain bearings samples depending on the test duration

Аналитические зависимости изменения температуры нагрева образцов подшипников скольжения в зависимости от продолжительности испытания имеют следующий вид:

а) для подшипников скольжения фирмы «Cummins»:

$$T_1 = 0,11 \cdot \Delta\tau + 42,05, \text{ при } R^2 = 0,99, \quad (1)$$

где  $T_1$  – температура вкладыша фирмы «Cummins», С °;

$R^2$  – коэффициент детерминации.

б) для подшипников скольжения фирмы «Mahle»:

$$T_2 = 0,06 \Delta\tau + 44,86, \text{ при } R^2 = 0,99, \quad (2)$$

где  $T_2$  – температура вкладыша фирмы «Mahle», С °.

Далее по полученным точкам (рисунок 5) были построены графические и аналитические зависимости изменения толщины образцов подшипников скольжения в зависимости от температуры их нагрева:

$$X_1 = 1,96 \cdot T_1 - 76,82, \text{ при } R^2 = 0,99, \quad (3)$$

где  $X_1$  – толщина вкладыша производства

фирмы «Cummins» при его нагреве, мкм;

$$X_2 = 3,36 \cdot T_2 - 142,28, \text{ при } R^2 = 0,99, \quad (4)$$

где  $X_2$  – толщина вкладыша производства фирмы «Mahle» при его нагреве, мкм.

Коэффициенты детерминации в формулах (1) – (4) составляют 0,99, что свидетельствует о высокой точности полученных аналитических зависимостей, описывающих изменение параметров.

Ниже приведены формулы определения теплофизических параметров, в которые подставлялись полученные значения параметров в ходе проведения эксперимента.

Удельная теплоемкость определяется по формуле [12, 13, 16],  $\frac{Дж}{кг \cdot К}$

$$C = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}, \quad (5)$$

где  $\Delta Q$  – количество теплоты, передаваемое нагревателем, Дж;

$m$  – масса вкладыша, кг;

$\Delta T$  – величина изменения температуры от начальной до конечной при нагреве вкладыша, К.

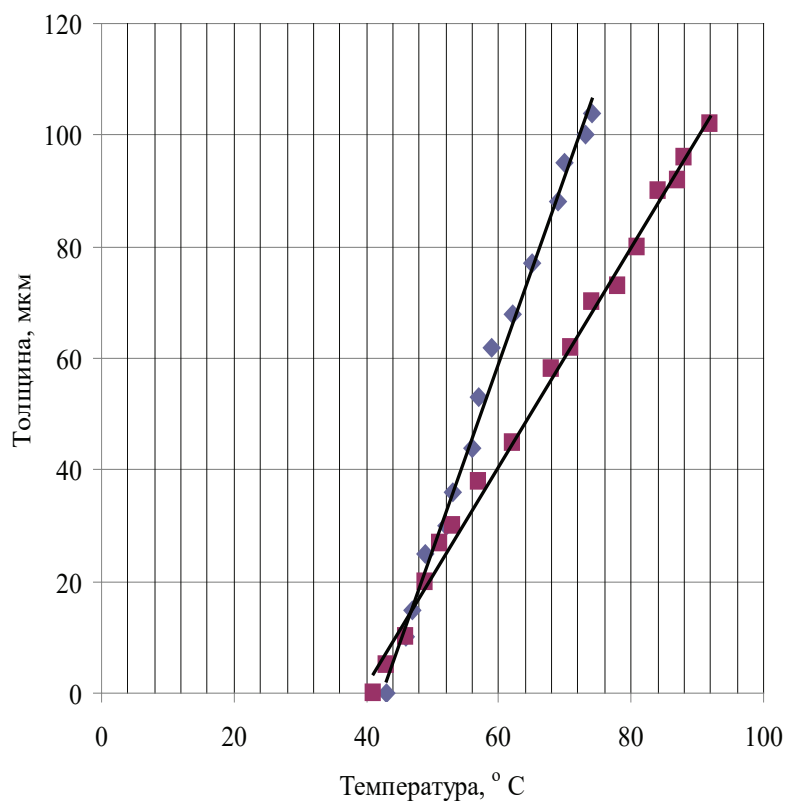


Рисунок 5 – Изменение толщины подшипников скольжения от температуры их нагрева

Figure 5 – Temperature changing of the plain bearings samples depending on their warming

Кроме того, известно, что теплопроводность имеет место тогда, когда существует разность температур, вызванная какими-либо внешними причинами. Она заключается в переносе некоторого количества теплоты от более горячего слоя к более холодному. Если процесс стационарный и температура меняется от слоя к слою равномерно, то количество теплоты  $\Delta Q$ , передаваемое через площадку  $\Delta S$  за время  $\Delta T$ , можно определить по закону Фурье.

$$\Delta Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta X} \cdot \Delta S \cdot \Delta \tau, \quad (6)$$

$\frac{\Delta T}{\Delta X}$  – где  $\Delta X$  – градиент температуры;  
 $\Delta S$  – площадь;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  
 $\Delta X$  – величина изменения толщины вкладыша от начальной до конечной температуры, мм;  
 $\Delta \tau$  – продолжительность нагрева, с.

Коэффициент теплопроводности определяется по следующей формуле [4, 12, 16, 17]:

$$|\lambda| = \frac{\Delta Q}{\frac{\Delta T}{\Delta X} \cdot \Delta S \cdot \Delta \tau} = \frac{P \cdot \Delta \tau}{\frac{\Delta T}{\Delta X} \cdot \Delta S \cdot \Delta \tau} = \frac{P}{\frac{\Delta T}{\Delta X} \cdot \Delta S}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) видно, что коэффициент теплопроводности показывает, какое количество теплоты переносится через единичную площадку в единицу времени при градиенте

температуры, равном единице. Коэффициент теплопроводности зависит от температуры, но при небольших определенных интервалах температур его можно считать постоянным.

При подстановке значений экспериментальных величин в известные теплофизические формулы (5)–(7) получены величины удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности, а полученные результаты сведены в таблицу.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При измерении толщины вкладыша присутствовала погрешность, вызванная перегревом индикатора часового типа выше комнатной температуры. Несмотря на указанную погрешность, в данном случае для сравнения двух образцов достаточно использовать относительные показатели, что устраняет данный недостаток.

Приведенные исследования направлены на ликвидацию аварийных отказов сопряжения «вкладыш – коленчатый вал» из-за применения некондиционных вкладышей, поскольку при неправильном подборе материалов, из которых изготовлен вкладыш, может произойти сверхнормативное увеличение толщины вкладыша, изменение физико-механических, теплофизических свойств моторного масла. Это влияет на снижение величины зазора, толщины масляной пленки, что приводит к непосредственному контакту поверхности шейки коленчатого вала с поверхностью вкладыша и в итоге вызывает процесс задира, схватывания.

Таблица  
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Table  
INITIAL DATA AND EXPERIMENT RESULTS

Параметры	Подшипник скольжения фирмы «Cummins» (США)	Подшипник скольжения фирмы «Mahle» (Германия)
Температура нагревателя, °С	260	260
Температура образца в начале эксперимента, °С	40	40
Температура образца в конце эксперимента, °С	92	74
Величина изменения толщины образца, мм	0,104	0,102
Площадь пятна контакта образца с поверхностью нагревателя, мм <sup>2</sup>	308	308
Масса образцов, кг	0,214	0,210
Удельная теплоемкость, Дж/(кг · °С)	9279,8	14479,6
Коэффициент теплопроводности, Вт/(°С · м)	4,34 · 10 <sup>-4</sup>	3,85 · 10 <sup>-4</sup>

При уменьшении зазора и вязкости моторного масла значительно повышается вероятность проворачивания вкладышей, образования задиров. При попадании мелкодисперсных инородных частиц в контактную зону образуются следы абразивного изнашивания, глубокие борозды, вызывающие уменьшение толщины масляной пленки. Из-за этого интенсифицируются нагрузки в рабочей контактной зоне вкладыша и, как следствие, происходит нарушение теплового режима, приводящее к отказам.

Исходя из полученных результатов, можно заключить следующее:

а) удельная теплоемкость подшипника скольжения фирмы «Cummins» (США) ниже в 1,56 раза по сравнению с тем же показателем подшипника скольжения фирмы «Mahle» (Германия).

б) коэффициент теплопроводности подшипника скольжения фирмы «Cummins» (США) выше на 11% в сравнении с тем же показателем подшипника скольжения фирмы «Mahle» (Германия).

в) величина, обратная градиенту температуры оригинального вкладыша, при его нагревании в 1,27 раза ниже по сравнению с неоригинальным подшипником скольжения. Это свидетельствует о том, что при одной и той же рабочей температуре вкладышей толщина неоригинального вкладыша будет больше. Для более точного определения величины превышения толщины вкладыша производства фирмы «Mahle» по отношению к толщине вкладыша производства фирмы «Cummins» в процессе эксплуатации необходимы дальнейшие исследования данного вопроса.

Это еще раз доказывает, что оригинальные вкладыши более приспособлены к жестким условиям эксплуатации, т.е. плохая передача тепла от вкладыша к телу шатуна может привести к значительной разнице объемного расширения сопрягаемых деталей, а именно шейки коленчатого вала и подшипника скольжения в теле шатуна. В конечном счете это скажется на толщине масляной пленки, которая изменится в сторону уменьшения, а неисправности системы охлаждения, системы питания, нарушение режимов технической эксплуатации, перегрузка машины усугубят появление задир. Большая величина, обратная градиенту температуры неоригинального вкладыша при его нагревании также будет способствовать уменьшению толщины масляной пленки. В ходе исследования рабочей поверхности вкладышей нескольких двигателей внутренне-

го сгорания был сделан вывод, что в системе смазки инородные частицы попадают в зону трения, что дополнительно ухудшает условия эксплуатации подшипников скольжения и повышает вероятность их задир.

Как уже говорилось выше, одной из главных функций подшипников скольжения коленчатого вала ДВС является теплоотвод [9,10,11, 12]. Полученные в ходе эксперимента данные косвенно свидетельствуют о том, что материал, из которого изготовлен подшипник скольжения – заменитель, не будет отвечать в полной мере тем техническим условиям, на которые рассчитан оригинальный подшипник скольжения. В процессе работы сопряжения «подшипник скольжения – масло – шейка коленчатого вала» возникающая в ходе трения тепловая энергия в меньшей степени поглощается неоригинальным вкладышем. Тепловая энергия возникает вследствие силы трения. Предположим, что вкладыши фирмы «Cummins» и неоригинальные вкладыши в ходе трения сопряжения «вкладыш – шатунная шейка» на одних и тех же рабочих режимах будут выделять одну и ту же величину вырабатываемой тепловой энергии при работе ДВС. Так как неоригинальный вкладыш будет меньше нагреваться в процессе трения (на что указывают результаты эксперимента), то непоглощенная им температура, т.е. та разница, которая поглощалась бы вкладышем фирмы «Cummins», поглощается маслом. В связи с этим у моторного масла повышается температура, снижается динамическая вязкость, уменьшается толщина масляной пленки, снижается коэффициент надежности гидродинамического трения, который должен быть не менее 2 [9, 12]. При использовании неоригинальных подшипников скольжения повысится теплонапряженность работы сопряжения «вкладыш – шатунная шейка», т.е. детали будут работать при более высоких температурах. Меньшая теплопроводность и большая теплоемкость вкладыша фирмы «Mahle» свидетельствует о том, что он медленнее нагревается и остывает. Из-за этого термоотвод тепла от масла к вкладышу происходит хуже, и оно больше разжижено из-за более высокой температуры в зоне трения.

Завод-изготовитель «Cummins» при проектировании ДВС разработал специальный сплав вкладыша, который обладает определенными теплофизическими свойствами. Результаты полученного опыта показывают, что аналогичный неоригинальный вкладыш, схожий по геометрическим размерам, уступает оригинальной конструкции вкладыша по пара-



метру теплопроводности. При использовании неоригинальных вкладышей необходимо осуществлять подбор моторного масла с другими вязкостно-температурными свойствами.

В настоящей статье рассмотрена только одна из причин проворачивания подшипников скольжения, связанная с нарушениями правил ремонта, – несоответствие качества материала изделия. Однако помимо этой причины существует множество других, таких как некондиционное моторное масло, несоответствие геометрических параметров сопряжения «подшипник скольжения – шейка коленчатого вала», неисправности системы охлаждения и т.д. Тем не менее качество материала при изготовлении подшипников скольжения должно определяться обобщенным параметром, и при этом его проверка не должна требовать больших финансовых, временных и трудовых затрат. По мнению авторов, вышерассмотренные параметры контроля отвечают данным критериям.

Достоинство предлагаемого экспресс-метода – осуществление контроля качества подшипников скольжения без использования сложного технологического оборудования. Применение относительных значений в данном случае допустимо. В случае необходимости определения более точной причины различия теплофизических, физико-механических свойств сравниваемых подшипников скольжения должно применяться более высокоточное оборудование. Предлагаемый метод позволяет сократить количество измерений сложным технологическим оборудованием, тем самым значительно сокращая стоимость и трудоемкость технического контроля.

Таким образом, внедрение предлагаемого метода в ремонтное производство снизит вероятность применения подшипников скольжения, не соответствующих теплофизическим параметрам контроля оригинальных изделий, а значит, сократит вероятность их задира, проворачивания в гарантийный период наработки, издержки на проведение дорогостоящих анализов химического состава материалов, потерь времени на их выполнение.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов В.Н., Салихов Р.Ф., Груснев М.Г. Оптимальное планирование функционирования систем производственной, технической эксплуатации и развития парков дорожно-строительных машин: монография. Омск: СибАДИ, 2013. 196 с.
2. Безюков О.К., Кордаков А.А. Средства для контроля теплового состояния деталей остова судовых дизелей // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2009. № 2 (2). С. 83–90.
3. Акимов В.В., Громовик А.И., Грязнов А.Ю. Снижение абразивного износа элементов мельниц ударно-интегрального действия с применением твердых безвольфрамовых сплавов TiC- TiNi // Вестник СибАДИ. 2017. № 2 (54). С. 48–52.
4. Акимов В.В. Исследование теплофизических свойств твердых сплавов TiC- TiNi в зависимости от температуры и состава связующей фазы // Теплофизика и аэромеханика. 2003. Т. 10. №1. С. 113–116.
5. Xinmin Li, Ulf Olofsson. A study on friction and wear reduction due to porosity in powder metallurgic gear materials // Tribology international. June 2017. Vol. 110. P. 86-95.
6. A study of the efficiency of spur gears made of powder metallurgy materials – ground versus super-finished surfaces. Xinmin Li, Mario Sasa, Martin Andersson, Ulf Olofsson // Tribology international. March 2016. Vol. 95. P. 211-220.
7. Modelling and experimental study of fatigue of powder metal steel (FC-0205). Allison P.G., Hammi Y., Jordon J.B., Horstemeyer M.F. // Powder Metallurgy. July 2013. Vol.56, issue 5, pp. 388-396. DOI: 10.1179/1743290113Y.0000000063.
8. Филатов С.В., Цуников А.Ю. Тепловизионный контроль изготовления деталей и узлов аппаратуры // Транспортное дело России. 2014. № 3. С. 112–114.
9. Захаров С.М., Никитин А.П., Загорянский Ю.А. Подшипники коленчатых валов тепловозных дизелей. М.: Транспорт, 1981. 181 с.
10. Хрулев А.Э. Почему застучал вкладыш? <http://forum.24subaru.ru/dvigatel-i-navesnoe-oborudovanie-subaru/2652-pochemu-zastuchal-vkladysh.html> (дата обращения: 02.05.2018).
11. Mc. Geehan, J. and Ryason, P. Million Mile Bearings: Lessons From Diesel Engine Bearing Failure Analysis. SAE Technical Paper 1999-01-3576, 1999, <https://doi.org/10.4271/1999-01-3576> (дата обращения: 28.05.2018).
12. Тепло и маслообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / под ред. В.А. Григорьева, В.Н. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. Т. 2. 512 с.
13. Неймарк Б.Е. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике:

справочник / под редакцией Б.Е. Неймарка. М., Л.: Энергия, 1967. 240 с.

14. Волкова В.К. Теплофизические свойства композиционных материалов с полимерной матрицей и твердых растворов: монография. М.: Наука образования, 2011. 104 с.

15. Орданьян С.С. Жаростойкость и жаропрочность легированных твердых сплавов WC-Co-Ni-RE(MN) / С.С. Орданьян, И.В. Пантелеев, Т.В. Лукашова // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2010. № 2 С. 23–25.

16. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. М.: Энергия, 1973. 170 с.

17. Акимов В.В. Зависимость теплопроводности и износа твердых сплавов на основе карбида титана от состава связующей фазы // Омский научный вестник. 2005. №3 (32). С. 110–111.

18. Акимов В.В., Мишуров А.Ф., Акимова Е.В. Жаростойкость безвольфрамовых твердых сплавов TiC-TiN в зависимости от объемного состава композиции при нагреве до высоких температур // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 10. С. 688–691.

19. Wang Y., Lu Z., Ruan X. First principles calculation of lattice thermal conductivity of metals considering phonon-phonon and phonon-electron scattering. // Journal of applied Physics. 119 (22) (2016). <https://pdfs.semanticscholar.org/bc1b/45e1a13869e743aa747e9b5925795aa428c7.pdf> (дата обращения: 02.06.2018).

20. Thermal conductivity of ceramic/metal composites from preforms produced by freeze casting. Hautcoeur D., Lardot V., Cambier F. et al. // Ceramics International. 2016. Vol. 42, № 12. P. 14077-14085.

## REFERENCES

1. Ivanov V.N., Salikhov R.F., Grusnev M.G. *Optimalnoe planirovanie funkcionirovaniya sistem proizvodstvennoi, tekhnicheskoi ekspluatatsii i razvitiya parkov dorozhno-stroitelnykh mashin* [Optimal planning of the functioning of the production, technical operation and development of road-building machinery parks]. Omsk: SibADI, 2013. 196 p. (in Russian).

2. Bezyukov O.K., Kordakov A.A. Sredstva dlya kontrolya teplovogo sostoyaniya detalei ostova sudovykh dizelei [Facilities for control of the thermal state of details of marine diesels]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*, 2009, no 2 (2), pp. 191-192. (in Russian).

3. Akimov V.V., Gromovik A.I., Grjaznov A.Ju. Snizhenie abrazivnogo iznosa jelementov mel'nic udarno-integral'nogo dejstvija s primeneniem tverdyh bezvol'framovyh splavov TiC-TiN [Reducing the abrasive wear of the elements of impact-integrated mills using hard wolfram-free alloys TiC-TiN]. *Vestnik SibADI*, 2017, no 2 (54), pp. 48-52. (in Russian).

4. Akimov V.V. Issledovanie teplofizicheskikh svoystv tverdykh splavov TiC-TiN v zavisimosti ot temperatury i sostava svyazuyushchei fazy [Investigation of the thermophysical properties of TiC-TiN hard alloys depending on the temperature and composition of the binder phase]. *Teplofizika i aeromekhanika*, 2003, Vol. 10, no 1, pp. 113-116. (in Russian).

5. Xinmin Li, Ulf Olofsson. A study on friction and wear reduction due to porosity in powder metallurgic gear materials. *Tribology international*. June 2017. Vol. 11, pp. 86-95.

6. A study of the efficiency of spur gears made of powder metallurgy materials – ground versus super-finished surfaces. Xinmin Li, Mario Sasa, Martin Andersson, Ulf Olofsson. *Tribology international*. March 2016. Vol. 95, pp. 211-220.

7. Modelling and experimental study of fatigue of powder metal steel (FC-0205). Allison P.G., Hammi Y., Jordon J.B., Horstemeyer M.F. *Powder Metallurgy*. July 2013. Vol.56, issue 5, pp. 388-396. DOI: 10.1179/1743290113Y.0000000063.

8. Filatov S.V., Tsunikov A.Yu. Teplovizionnyi kontrol' izgotovleniya detalei i uzlov apparatury [IR (Thermal) monitoring of manufacturing parts and units of equipment]. *Transportnoe delo Rossi*, 2014, no 3, pp. 112 - 114. (in Russian).

9. Zaharov S.M., Nikitin A.P., Zagorjanskij Ju.A. *Podshipniki kolenchatykh valov teplovoznnykh dizelej* [Crankshaft bearings of diesel locomotive diesels]. Moscow, Transport, 1981. 181 p. (in Russian).

10. Khrulev A.E. Pochemu zastuchal vkladyshe? [Why have liner knocked?] <http://forum.24subaru.ru/dvigatel-i-navesnoe-oborudovanie-subaru/2652-pochemu-zastuchal-vkladyshe.html> (application date: 02.05.2018). (in Russian).

11. Mc Geehan, J. and Ryason, P. Million Mile Bearings: Lessons From Diesel Engine Bearing Failure Analysis. SAE Technical Paper 1999-01-3576, 1999, <https://doi.org/10.4271/1999-01-3576> (accessed: 28.05.2018).

12. Teplo i masloobmen. Teplotekhnicheskij jeksperiment: Spravochnik [Heat and oil exchange. Thermal Engineering Experiment: Handbook]. Moscow, Energoizdat, 1982. Vol. 2. 512 p. (in Russian).

13. Nejmark B.E. *Fizicheskie svojstva stalej i splavov, primenjaemyh v jenergetike: Spravochnik* [Physical properties of steels and alloys used in the energy sector: Handbook]. Moscow, Leningrad: Energija, 1967. 240 p. (in Russian).

14. Volkova V.K. *Teplofizicheskie svojstva kompozicionnyh materialov s polimernoj matricej i tverdyh rastvorov* [Thermophysical properties of composite materials with polymer matrix and solid solutions]. Moscow, Nauka obrazovaniya, 2011. 104 p. (in Russian).

15. Ordanjan S.S. Zharostojkost i zharoprochnost legirovannyh tverdyh splavov WC-Co-Ni-RE(MN) [Heat resistance and high-temperature strength of doped hard alloys WC-Co-Ni-RE(MN)]. *Poroshkovaja metallurgija i funkcional'nye pokrytija*, 2010, no 2, pp. 23-25. (in Russian).

16. Platunov E. S. *Teplofizicheskie izmerenija v monotonom rezhime* [Thermophysical measurements in monotonous mode]. Moscow, Energija, 1973. 170 p. (in Russian).

17. Akimov V.V. Zavisimost' teploprovodnosti i iznosa tverdykh splavov na osnove karbida titana ot sostava svyazuyushchej fazy [The dependence of thermal conductivity and wear of solid alloys based on titanium carbide on the composition of the binder phase]. *Omskii nauchnyi vestnik*, 2005, no 3 (32), pp. 110-111. (in Russian).

18. Akimov V.V., Mishurov A.F., Akimova E.V. Zharostojkost' bezvol'framovyh tverdyh splavov TIC-TINI v zavisimosti ot obyemnogo sostava kompozicii pri nagreve do vysokih temperatur [Heat resistance of TIC-TINI tungsten-free hard alloys, depending on the volumetric composition of the compound when heated to high temperatures]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaja metallurgija*, 2016. Vol. 59, no 10, pp. 688-691. (in Russian).

19. Wang Y., Lu Z., Ruan X. First principles calculation of lattice thermal conductivity of metals considering phonon-phonon and phonon-electron scattering. *Journal of applied Physics*. 119 (22) (2016). <https://pdfs.semanticscholar.org/bc1b/45e1a13869e743aa747e9b5925795aa428c7.pdf> (accessed: 02.06.2018).

20. Thermal conductivity of ceramic/metal composites from preforms produced by freeze casting. Hautcoeur D., Lardot V., Cambier F. at al. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42, № 12. P. 14077-14085.

**Поступила 22.10.2018, принята к публикации 21.12.2018.**

**Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Салихов Ринат Фокилевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» ORCID 0000-0002-9619-7789 (644080, г. Омск, e-mail: salikhorinat@yandex.ru).

Акимов Валерий Викторович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» ORCID 0000-0003-3756-5120 (644080, г. Омск, e-mail: splavtini@mail.ru).

Мишуров Александр Федорович – заведующий лабораторией кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» ORCID 0000-0003-3666-1612 (644080, г. Омск, e-mail: expert@sibadi.org).

Мусагитова Галия Нильевна – канд. филол. наук, доц. кафедры «Иностранные языки» ФГБОУ ВО «СибАДИ» ORCID 0000-0001-7447-5357 (644080, г. Омск, e-mail: galiarta@mail.ru).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Salikhov Rinat Fokilevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation and Maintenance of Transport and Technological Machines and Complexes in Construction, ORCID 0000-0002-9619-7789, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: salikhorinat@yandex.ru).

Akimov Valery Victorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobiles, structural materials and technologies, ORCID 0000-0003-3756-5120, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: splavtini@mail.ru).

Mishurov Alexander Fedorovich – Head of the Laboratory of the Department of Automobiles, construction materials and technologies, ORCID 0000-0003-3666-1612, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: expert@sibadi.org).

Musagitova Galiya Nilievna – Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of the Foreign Languages Department, ORCID 0000-0001-7447-5357, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: galiarta@mail.ru).

**ВКЛАД СОАВТОРОВ**

*Салихов Р.Ф. Участие в проведении экспериментов по изменению теплофизических параметров испытываемых подшипников скольжения. Введение. Расчет тепловых параметров. Построение графических зависимостей изменения толщины вкладышей от температуры их нагрева, температуры от продолжительности их нагрева. Разработка методики. Проверка и корректировка статьи. Обсуждение и заключение.*

*Акимов В.В. Участие в проведении экспериментов по изменению теплофизических параметров испытываемых подшипников скольжения. Теоретические положения определения теплопроводности, удельной теплоемкости, сравнение свойств материалов испытываемых подшипников скольжения. Обсуждение и заключение.*

*Мишуров А.Ф. Технические вопросы организации проведения экспериментов по изменению тепловых параметров испытываемых подшипников скольжения, измерение толщины образцов, взвешивание. Обсуждение и заключение.*

*Мусагитова Г.Н. Анализ состояния вопроса. Обзор существующей литературы. Анализ полученных параметров теплопроводности, удельной теплоемкости подшипников скольжения различных производителей. Обсуждение и заключение. Оформление готового варианта статьи.*

**AUTHORS CONTRIBUTION**

*Salikhov R.F. Participation in carrying out experiments on change of thermalphysic parameters of the tested plain bearings. Introduction. Calculation of thermal parameters. Construction of graphical dependences of the change of bushings thickness on the temperature of their warming, the temperature on their warming duration. Development of the technique. Checking and correction of the article. Discussion and conclusions.*

*Akimov V.V. Participation in carrying out experiments on change of thermalphysic parameters of the tested plain bearings. Theoretical regulations for the determination of thermal conductivity, specific heat capacity, comparison of material properties of the tested plain bearings. Discussion and conclusions.*

*Mishurov A.F. Technical issues of organizing of carrying out experiments on change of thermalphysic parameters of the tested plain bearings. Discussion and conclusions.*

*Musagitova G.N. Analysis of the question state. Review of existing literature. Analysis of the obtained parameters of thermal conductivity, specific heat capacity of plain bearings of various manufacturers. Discussion and conclusions. The presentation of the article finished version.*