

DOI 10.15593/24111678/2021.01.04

УДК 629.3.083.4

Г.А. Иовлев, И.И. Голдина

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

ИЗНОС: ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Одним из свойств, характеризующих надежность транспортно-технологической машины (ТТМ), является работоспособность. Работоспособное состояние ТТМ зависит от времени эксплуатации, качества проведения технического обслуживания и текущего ремонта (ТО и ТР). Работоспособность ТТМ снижается из-за увеличения зазоров, изменения свойств материалов трущихся поверхностей. Зазоры увеличиваются в результате износа. Задача эксплуатационников, т.е. инженерно-технической службы эксплуатационного предприятия, – определить продолжительность периода безаварийной наработки ТТМ с нормальным износом, чтобы не допустить аварийного износа. Продолжительность периода безаварийного износа можно определить путем произведения замеров, при микрометрическом методе измерений, во время проведения технического обслуживания и текущего ремонта.

В современных транспортно-технологических машинах, используемых в сельскохозяйственном производстве, часто применяются двигатели внутреннего сгорания одной марки, одного модельного ряда или двигатели одного конструктивного решения с разным количеством цилиндров. Так, в тракторе Беларусь 82.1 применяется двигатель Д-240 (Д-243), в автомобиле ГАЗ-3309 – Д-245.7Е4; в тракторе ХТЗ-17221 – двигатель ЯМЗ-236М2 (ЯМЗ-236Д3), ЯМЗ-238М2, в автомобиле МАЗ-5551 – двигатель ЯМЗ-236М2-1, в зерноуборочном комбайне VECTOR 420 – двигатель ЯМЗ-236НД.

Для определения величины износа, при определенной наработке, сотрудниками кафедры «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования в АПК» Уральского государственного аграрного университета совместно со студентами из студенческого научного общества на базе ПАО «Каменское» и АО «Учхоз «Уралец» произведены замеры диаметров коренных и шатунных шеек коленчатых валов двигателей транспортно-технологических машин (тракторов, автомобилей, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов).

Ключевые слова: надежность, работоспособность, измерения, математическое ожидание, дисперсия, отклонение, максимальный износ, минимальный износ.

G.A. Iovlev, I.I. Goldina

Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russian Federation

WEAR: DEFINITION, PRACTICAL IMPORTANCE FOR THE ARRANGEMENT OF MAINTENANCE AND REPAIR

One of the properties that characterize the reliability of a transport and technological machine (TTM) is performance. The operational state of the TTM depends on the time of operation, the quality of maintenance and current repairs (M and CR). The performance of the TTM decreases as a result of an increase in gaps, changes in the properties of materials of rubbing surfaces. Clearances increase as a result of wear. The task of the operators, i.e. the engineering and technical service (ITS) of the operating enterprise, is to determine the duration of the period of trouble-free operating time of the TTM with normal wear in order to prevent emergency wear. The duration of the period of trouble-free wear can be determined by making measurements with micrometric measurement method during maintenance and current repair.

In modern transport and technological machines used in agricultural production, internal combustion engines of the same brand, the same model range, or engines of the same design solution with a different number of cylinders are often used. Thus, in the Belarus 82.1 tractor the D-240 (D-243) engine is used, in the GAZ-3309 the D-245.7E4 engine is used; in the XTZ-17221 tractor the YaMZ-236M2 (YaMZ-236D3) and YaMZ-238M2 engines are used; in the MAZ-5551 the YaMZ-236M2-1 engine; in the VECTOR 420 combine harvester the YaMZ-236ND engine.

To determine the amount of wear, with a certain operating time, the staff of the Department of Service of Transport and Technological Machines and Equipment in Agro-Industrial Complex of the Ural State Agrarian University together with students from the student scientific society (SSS) on the basis of Kamenskoye, PJSC and Uchkhoz "Uralets", JSC measured the diameters of main and connecting rod journals of crankshafts of engines of transport and technological machines (tractors, automobiles, grain and forage harvesters). Wear was determined as the difference between the nominal diameter of the journals and the actual measurement data. The research covered TTM engines with operating time preceding major overhaul: tractors at TO-3 with 5000 operating hours; KAMAZ vehicles with 192,000 km mileage, GAZ-3309 vehicles with 150,000 km mileage during current repairs.

Keywords: reliability, performance, measurements, mathematical expectation, variance, deviation, maximum wear, minimum wear.

Износ определялся как разность номинальных размеров диаметров шеек и фактических данных замеров. Исследованиями были охвачены двигатели транспортно-технологических машин с наработкой, предшествующей капитальному ремонту: тракторы при ТО-3 с наработкой 5000 мото-часов; автомобили типа КамАЗ с пробегом 192 000 км, автомобили типа ГАЗ-3309 – 150 000 км при текущем ремонте. Замеры коренных шеек производились по первой коренной шейке и последней (ближней к маховику), шатунных, всех шеек в двух плоскостях – в плоскости по оси симметрии шеек и в плоскости, поперечной к оси симметрии шеек. Для измерений использовались микрометры МК-100-1, МК-125-1¹, скоба СР 125. Схема измерений представлена на рис. 1 [1].

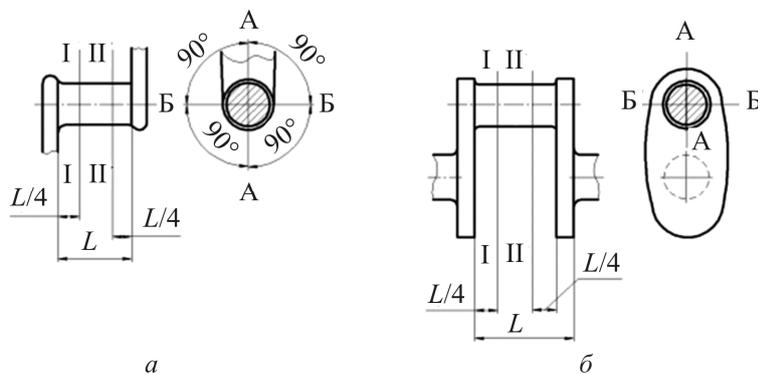


Рис. 1. Схема измерений шеек коленчатого вала: I-I, II-II – пояса измерения; А-А, Б-Б – плоскости измерения; а – коренная шейка; б – шатунная шейка

Алгоритм проведения и фиксирования измерений:

– для коренных шеек замеры производятся в поясах I и II, в плоскостях А и Б, всего четыре замера, затем рассчитывается среднее значение по результатам четырех измерений и заносится в специальную форму наблюдений;

– для шатунных шеек замеры производятся: для максимального износа в поясах I и II, в плоскости А, всего два замера, затем рассчитывается среднее значение по результатам двух измерений и заносится в специальную форму наблюдений; для минимального износа в поясах I и II, в плоскости Б.

Исследования были проведены на двигателях семейства Д-240, СМД-60, ЯМЗ-236 (238), КамАЗ-740 и др.

Для наглядности на рис. 2 представлена конструкция коленчатого вала двигателя ЯМЗ-236, который устанавливается на трактор типа ХТЗ-17221, автомобили Урал, МАЗ.

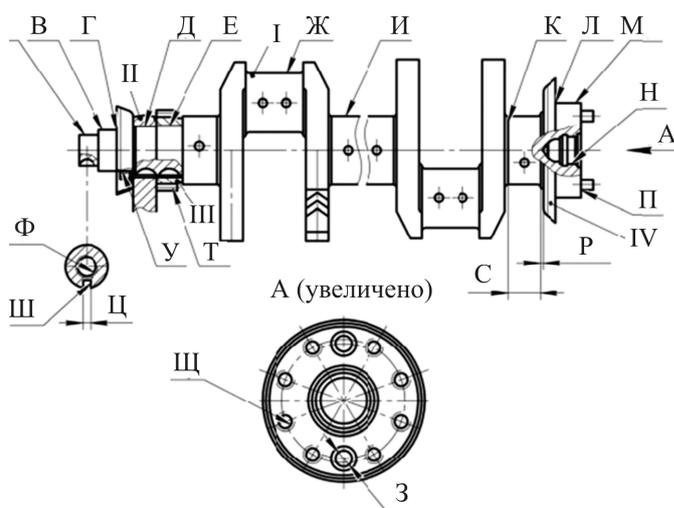


Рис. 2. Коленчатый вал двигателя ЯМЗ-236:
И – коренная шейка, Ж – шатунная шейка, М – посадочный диаметр под маховик

¹ ГОСТ 6507–90. Межгосударственный стандарт. Микрометры. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2004. 21 с.

Всего было произведено замеров: по 4-й (последней) коренной шейке – 77 замеров, по 1-й коренной шейке – 80 замеров, замеров в поперечной плоскости оси симметрии шек шатунных шеек – 81 замер, по оси симметрии шек – 81 замер.

В исследованиях ученых отмечается, что износы у шатунных шеек больше, чем у коренных, что объясняется их более тяжелыми условиями работы, а у коренных наибольший износ наблюдается у первой коренной шейки, ее износ в среднем на 20–30 % выше, чем у остальных коренных шеек. Меньше всего изнашивается последняя коренная шейка [2–4].

Результаты замеров износа по 4-й (последней) коренной шейке представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные для расчета износа по 4-й (последней) коренной шейке (минимальный износ)

Величина износа, мм	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
Количество замеров, ед.	2	4	7	13	15	13	10	6	4	3

Для определения износа по 4-й коренной шейке вычислим математическое ожидание значения износа по формуле

$$M(X) = x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2 + x_3 \cdot p_3 + \dots + x_n \cdot p_n, \tag{1}$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – возможные значения случайной величины; $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ – вероятность появления значений случайной величины.

$$M(X) = 0,01 \cdot 0,03 + 0,02 \cdot 0,06 + 0,03 \cdot 0,08 + 0,04 \cdot 0,17 + 0,05 \cdot 0,19 + 0,06 \cdot 0,17 + 0,07 \cdot 0,13 + 0,08 \cdot 0,08 + 0,09 \cdot 0,05 + 0,1 \cdot 0,04 = 0,0003 + 0,0012 + 0,0024 + 0,0068 + 0,0095 + 0,0102 + 0,0091 + 0,0064 + 0,0045 + 0,004 = 0,0544.$$

Для определения закона распределения случайной величины и характеристик распределения рассчитаем дисперсию и среднее квадратическое отклонение показателей.

Дисперсия рассчитывается по следующей формуле:

$$D(X) = (x_1 - m)^2 \cdot p_1 + (x_2 - m)^2 \cdot p_2 + (x_3 - m)^2 \cdot p_3 + \dots + (x_n - m)^2 \cdot p_n, \tag{2}$$

$$m = M(X).$$

$$D(X) = (0,01 - 0,0544)^2 \cdot 0,03 + (0,02 - 0,0544)^2 \cdot 0,06 + (0,03 - 0,0544)^2 \cdot 0,08 + (0,04 - 0,0544)^2 \cdot 0,17 + (0,05 - 0,0544)^2 \cdot 0,19 + (0,06 - 0,0544)^2 \cdot 0,17 + (0,07 - 0,0544)^2 \cdot 0,13 + (0,08 - 0,0544)^2 \cdot 0,08 + (0,09 - 0,0544)^2 \cdot 0,05 + (0,1 - 0,0544)^2 \cdot 0,04 = 0,000059 + 0,000071 + 0,000048 + 0,000035 + 0,000004 + 0,000005 + 0,000032 + 0,000052 + 0,000063 + 0,000083 = 0,000452.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{0,000452} = 0,021 \text{ мм.}$$

Результаты замеров износа по 1-й коренной шейке представлены в табл. 2.

Таблица 2

Данные для расчета износа по 1-й коренной шейке (максимальный износ)

Величина износа, мм	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11
Количество замеров, ед.	1	3	5	9	13	15	12	9	7	4	2

Для определения износа по 1-й коренной шейке вычислим математическое ожидание значения износа:

$$M(X) = 0,01 \cdot 0,01 + 0,02 \cdot 0,04 + 0,03 \cdot 0,06 + 0,04 \cdot 0,11 + 0,05 \cdot 0,17 + 0,06 \cdot 0,18 + 0,07 \cdot 0,15 + 0,08 \cdot 0,11 + 0,09 \cdot 0,08 + 0,1 \cdot 0,05 + 0,11 \cdot 0,02 = 0,0001 + 0,0008 + 0,0018 + 0,0044 + 0,0085 + 0,0108 + 0,0105 + 0,0088 + 0,0072 + 0,005 + 0,0022 = 0,0601,$$

$$D(X) = (0,01 - 0,0601)^2 \cdot 0,01 + (0,02 - 0,0601)^2 \cdot 0,04 + (0,03 - 0,0601)^2 \cdot 0,06 + (0,04 - 0,0601)^2 \cdot 0,11 + (0,05 - 0,0601)^2 \cdot 0,17 + (0,06 - 0,0601)^2 \cdot 0,18 + (0,07 - 0,0601)^2 \cdot 0,15 + (0,08 - 0,0601)^2 \cdot 0,11 + (0,09 - 0,0601)^2 \cdot 0,08 + (0,1 - 0,0601)^2 \cdot 0,05 + (0,11 - 0,0601)^2 \cdot 0,02 = 0,000025 + 0,000064 + 0,000054 + 0,000044 + 0,000017 + 0,000015 + 0,000044 + 0,000071 + 0,00008 + 0,00005 = 0,000464.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{0,000464} = 0,021 \text{ мм.}$$

Данные расчетов по износу коренных шеек представим на рис. 3.

По данным расчетов математического ожидания, среднего квадратического отклонения и графиков на рис. 3 можно сделать вывод о том, что износ коренных шеек, при вышеуказанной наработке, подчиняется нормальному закону распределения (закону Гауса). Это подтверждается тем, что в диапазоне $M(X) \pm \sigma$ находится 83,1 % замеров по 4-й (последней) коренной шейке, 87,5 % замеров по 1-й коренной шейке. В результате проведенного исследования подтверждается вывод о том, что износ 1-й коренной шейки больше износа 4-й или последней коренной шейки на 9,5 %, что подтверждается нашими расчетами.

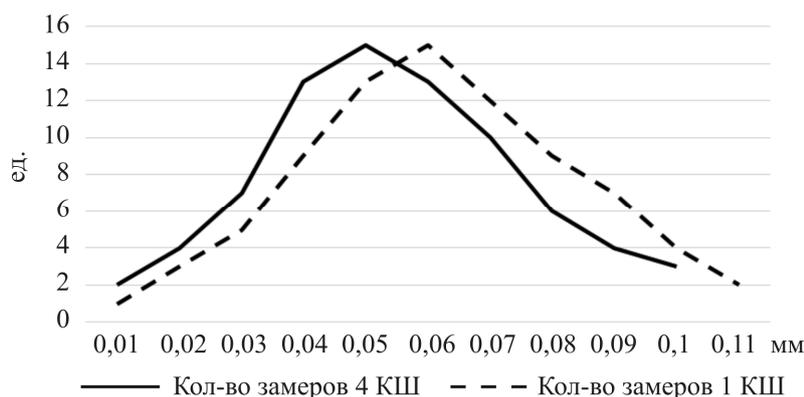


Рис. 3. Количественные характеристики износа коренных шеек

Для расчетов предлагаем следующую формулу:

$$\Delta I_k = M(X)_{1КШ} - M(X)_{4КШ}, \tag{3}$$

$$\Delta I_k = 0,0601 - 0,0544 = 0,0057 \text{ мм.}$$

Результаты замеров износа в поперечной плоскости оси симметрии щек шатунных шеек представлены в табл. 3.

Таблица 3

Данные для расчета износа в поперечной плоскости оси симметрии щек шатунных шеек (минимальный износ)

Величина износа, мм	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11
Количество замеров, ед.	3	6	8	8	10	15	13	9	4	3	2

Для определения износа в поперечной плоскости оси симметрии щек шатунных шеек вычислим математическое ожидание значения износа:

$$M(X) = 0,01 \cdot 0,04 + 0,02 \cdot 0,07 + 0,03 \cdot 0,1 + 0,04 \cdot 0,1 + 0,05 \cdot 0,12 + 0,06 \cdot 0,18 + \\ + 0,07 \cdot 0,15 + 0,08 \cdot 0,11 + 0,09 \cdot 0,05 + 0,1 \cdot 0,04 + 0,11 \cdot 0,02 = 0,0004 + 0,0014 + 0,003 + \\ + 0,004 + 0,006 + 0,0108 + 0,0105 + 0,0088 + 0,0045 + 0,004 + 0,0022 = 0,0556,$$

$$D(X) = (0,01 - 0,0556)^2 \cdot 0,04 + (0,02 - 0,0556)^2 \cdot 0,07 + (0,03 - 0,0556)^2 \cdot 0,1 + (0,04 - 0,0556)^2 \cdot 0,1 + \\ + (0,05 - 0,0556)^2 \cdot 0,12 + (0,06 - 0,0556)^2 \cdot 0,18 + (0,07 - 0,0556)^2 \cdot 0,15 + (0,08 - 0,0556)^2 \cdot 0,11 + \\ + (0,09 - 0,0556)^2 \cdot 0,05 + (0,1 - 0,0556)^2 \cdot 0,04 + (0,11 - 0,0556)^2 \cdot 0,02 = \\ = 0,000083 + 0,000089 + 0,000065 + 0,000024 + 0,000004 + 0,000003 + 0,000031 + 0,000065 + \\ + 0,000059 + 0,000079 + 0,000059 = 0,000561.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{0,000561} = 0,024 \text{ мм.}$$

Результаты замеров износа по оси симметрии щек шатунных шеек представлены в табл. 4.

Таблица 4

Данные для расчета износа по оси симметрии щек шатунных шеек (максимальный износ)

Величина износа, мм												
0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
Количество замеров, ед.												
3	5	7	8	9	10	11	8	7	6	4	2	1

Для определения износа по оси симметрии щек шатунных шеек, вычислим математическое ожидание значения износа:

$$M(X) = 0,02 \cdot 0,03 + 0,03 \cdot 0,06 + 0,04 \cdot 0,09 + 0,05 \cdot 0,1 + 0,06 \cdot 0,11 + 0,07 \cdot 0,12 + \\ + 0,08 \cdot 0,14 + 0,09 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 0,09 + 0,11 \cdot 0,07 + 0,12 \cdot 0,05 + 0,13 \cdot 0,02 + 0,14 \cdot 0,01 = \\ = 0,0006 + 0,0018 + 0,0036 + 0,005 + 0,0066 + 0,0084 + 0,0112 + 0,009 + 0,009 + \\ + 0,0077 + 0,006 + 0,0026 + 0,0014 = 0,0729,$$

$$D(X) = (0,02 - 0,0729)^2 \cdot 0,03 + (0,03 - 0,0729)^2 \cdot 0,06 + (0,04 - 0,0729)^2 \cdot 0,09 + \\ + (0,05 - 0,0729)^2 \cdot 0,1 + (0,06 - 0,0729)^2 \cdot 0,11 + (0,07 - 0,0729)^2 \cdot 0,12 + (0,08 - 0,0729)^2 \cdot 0,14 + \\ + (0,09 - 0,0729)^2 \cdot 0,1 + (0,1 - 0,0729)^2 \cdot 0,09 + (0,11 - 0,0729)^2 \cdot 0,07 + (0,12 - 0,0729)^2 \cdot 0,05 + \\ + (0,13 - 0,0729)^2 \cdot 0,02 + (0,14 - 0,0729)^2 \cdot 0,01 = 0,000084 + 0,00011 + 0,000097 + 0,000052 + \\ + 0,000018 + 0,000001 + 0,000007 + 0,000029 + 0,000066 + 0,000096 + 0,000111 + 0,000065 + \\ + 0,000045 = 0,000781.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{0,000781} = 0,028 \text{ мм.}$$

Данные расчетов по износу шатунных шеек представим на рис. 4.

По данным расчетов математического ожидания, среднего квадратического отклонения и графиков на рис. 4 можно сделать вывод о том, что износ шатунных шеек также подчиняется нормальному закону распределения (закону Гауса). Это подтверждается тем, что в диапазоне $M(X) \pm \sigma$ находится 77,8 % замеров в поперечной плоскости оси симметрии щек шатунных шеек, 74,1 % замеров в плоскости оси симметрии щек шатунных шеек. В результате проведенного исследования подтверждается вывод о том, что износ в плоскости оси симметрии щек шатунных шеек больше износа в поперечной плоскости оси симметрии щек шатунных шеек, что подтверждается нашими расчетами.

Для расчетов предлагаем следующую формулу:

$$\Delta I_{\text{ш}} = M(X)_{\text{ос.шшш}} - M(X)_{\text{пп.шшш}}, \quad (4)$$

$$\Delta I_{\text{ш}} = 0,0729 - 0,0556 = 0,0173 \text{ мм.}$$

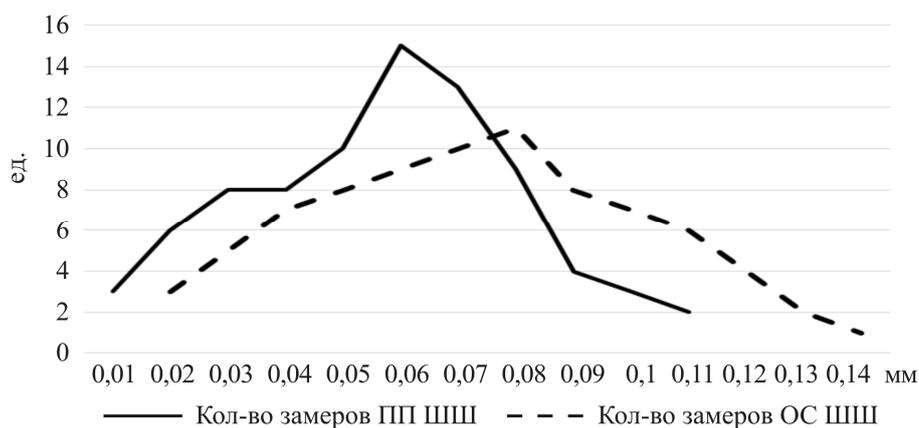


Рис. 4. Количественные характеристики износа шатунных шеек

Авторами по результатам исследований в данном направлении опубликовано несколько публикаций [5, 6], кроме того, вопросами изучения износа узлов и агрегатов транспортно-технологических машин занимается ряд отечественных и зарубежных ученых [7–14].

А.К. Агафонов, А.Е. Ломовских, Ю.В. Родионов и др. [7] провели исследование физико-химических свойств химических элементов, входящих в состав антифрикционных смазочных материалов (АСМ), используемых для восстановления геометрических размеров поверхностей пар трения, и разработали оптимальную формулу. Испытания проводились на двигателе КамАЗ-740 в сопряжении шатунная шейка – вкладыш. Авторы утверждают, что зазор в сопряжении до обработки двигателя АСМ составлял 0,5 мм (больше предельного), после обработки двигателя АСМ зазор составил 0,0225 мм (меньше, чем номинальный). Кроме того, увеличилось давление масла в главной масляной магистрали на 2,1 %.

Д.С. Черняков, А.С. Птицын, Н.А. Зарипова [8] рассмотрели методы повышения долговечности работы подшипников скольжения в двигателе, позволяющие повысить эффективность работы подшипников и предотвратить износ в период высоких нагрузок двигателя внутреннего сгорания. Приведена оценка материалов изготовления подшипников скольжения и их влияния на работу самого подшипника. Авторы делают вывод, что на долговечность подшипников скольжения ДВС влияет их конструкция, качество антифрикционного покрытия, а также конструктивные особенности самого двигателя, делают заключение, что степень износа и соотношение износов коренных и шатунных подшипников зависят от подачи масла из главной магистрали в коленчатый вал.

А.Е. Королев [9] считает, что одним из более эффективных и информативных методов определения износа двигателей является спектральный анализ смазочных масел. Достоинство данного метода в том, что его можно использовать при ремонте, а также и при эксплуатации транспортно-технологических машин. Автором предложена экспериментально-расчетная методика определения допустимого содержания элементов износа в моторном масле. Массовое количество продуктов износа в моторном масле характеризует техническое состояние двигателя. Автором представлены металлы, входящие в то или иное сопряжение двигателя, и предельная концентрация элементов износа в картерном масле. Особый интерес представляет формула (№ 6 в статье), по которой, зная массовый износ, можно определить текущее значение диаметра шейки коленчатого вала и износ.

Р.Ф. Шаихов в своем исследовании [10] рассматривает методы «по допустимому уровню безотказной работы», «по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния» для установления оптимальной периодичности технического обслуживания как фактора, определяющего себестоимость грузоперевозок. Критерием оптимизации автор выбрал «снижение затрат на эксплуатацию». Автор установил взаимосвязь между удельными затратами на поддержание технической готовности и вероятностью отказа транспортного средства на основе функции распределения по экспоненциальному распределению. На наш взгляд,

можно бы было получить более точные выводы, если бы автор использовал дополнительно вероятность безотказной работы.

Ларри Х. Кроу в своем исследовании [13] для определения надежности сложных ремонтируемых систем предлагает использовать модель степенного закона, которая учитывает каждый последующий отказ после первого и близка к экспоненциальному распределению (автор сделал вывод, что «время до первого отказа соответствует распределению Вейбулла»). Автор вводит понятие «процесс обновления», представляющее собой последовательность отказов, делает вывод о том, что при увеличении износа будет повышаться частота отказов. Доктор Ларри Х. Кроу делает, на наш взгляд, очень важный вывод о том, что если изделие спроектировано в соответствии с предъявляемыми требованиями, при производстве использовались соответствующие материалы и соответствующие технологии, все недостатки выявлены и устранены во время испытаний и обкатки (у автора *of infant mortality* – «детская смертность»), то частота отказов будет минимальна.

Объем статьи не позволяет рассчитать теоретические законы распределения, в инженерных расчетах, где уже примерно известны законы распределения, закон распределения достаточно определить через коэффициент вариации.

Выводы. Наши исследования говорят о том, что износ коренных и шатунных шеек, определенный через математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение случайной величины, далек от предельного практически по всем обследованным двигателям. Износ по коренным шейкам составил от 0,0544 до 0,0601 мм, по шатунным шейкам – от 0,0556 до 0,0729 мм. Износ до предельного состояния по двигателям семейства ЯМЗ, КамАЗ-740 по коренным шейкам – от 0,043 до 0,064 мм; по шатунным шейкам – от 0,013 до 0,041 мм; по двигателям семейства Д-240 по коренным шейкам – от 0,027 до 0,048 мм; по шатунным шейкам – от 0,012 до 0,04 мм; по двигателям семейства СМД по коренным шейкам – от 0,039 до 0,06 мм; по шатунным шейкам – от 0,019 до 0,047 мм. Без расчета остаточного ресурса коленчатых валов, можно предположить, что по 4-й коренной шейке до КР имеют ресурс 91 % коленвалов, по 1-й коренной шейке – 92 % по шатунным шейкам в поперечной плоскости к оси симметрии шатунных шеек – 94 %, по оси симметрии – 84 %.

Расчеты остаточного ресурса по представленным и рассчитанным данным – тема следующего исследования.

Список литературы

1. Мигачев В.А. Технологические процессы технического обслуживания, ремонта и диагностики автомобилей: сборник лабораторных работ. Ч. 2. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 48 с.
2. Кулаков А.Т., Барыльникова Е.П., Галипова А.П. Условия смазывания и развитие предотказного состояния подшипников коленчатого вала // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 3–9.
3. Хлопотов Р.А., Анисимов И.А. Анализ параметров коленчатых валов современных двигателей автомобилей // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. – 2017. – № 2. – С. 52–58.
4. Обеспечение долговечности покрытий шеек коленчатых валов автотракторной техники / А.И. Фомин, П.В. Сенин, В.А. Комаров, Е.А. Нуянзин // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 2. – С. 44–48.
5. Инструменты диагностики и регулировки работ двигателя автомобиля / М.Л. Юсупов, Г.А. Иовлев, И.И. Голдина, А.М. Кивирян // Инженерно-технические решения: сб. студ. техн. решений. – 2019. – С. 133–134.
6. Иовлев Г.А. Управление технической готовностью транспортно-технологических машин // АПК: регионы России. – 2013. – № 1. – С. 6–9.
7. Исследование влияния антифрикционного смазочного материала на эксплуатационные и экологические характеристики двигателей внутреннего сгорания / А.К. Агафонов, А.Е. Ломов

ских, Ю.В. Родионов, Г.В. Берестевич, А.А. Свиридов, И.С. Армянинов // Наука в центральной России. – 2020. – № 5 (47). – С. 82–95.

8. Черняков Д.С., Птицын А.С., Зарипова Н.А. Долговечность подшипников скольжения двигателя внутреннего сгорания и методы ее повышения // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2018. – № 1 (12). – С. 22.

9. Королев А.Е. Расчетно-экспериментальный метод определения допускаемого износа двигателей // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2016. – № 1 (32). – С. 135–139.

10. Шаихов Р.Ф. Определение оптимальной периодичности обслуживания грузовых автомобилей на автотранспортном предприятии // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 2. – С. 80–86.

11. Исследование работоспособности вкладышей коленчатого вала автотракторных двигателей / Б.С. Антропов, В.В. Капралов, В.В. Гуменный, В.А. Генералов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2020. – № 3. – С. 58–61.

12. Nikola P. Žegarac. Development of a method for determining the size of clearance in sliding bearings // Vojnotehnički Glasnik / Military Technical Courier. – 2020. – Vol. 68, iss. 3. – P. 530–553.

13. Larry X.C. Practical Methods for Analyzing the Reliability of Repairable Systems. – URL: <https://www.reliasoft.com> (дата обращения: 20.12.2020).

14. Jodejko-Pietruczuk A., Werbińska-Wojciechowska S. Analysis of maintenance models' parameters estimation for technical systems with delay time // Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. – 2014. – Vol. 16 (2). – P. 288–29.

References

1. Migachev V.A. Tekhnologicheskiye protsessy tekhnicheskogo obsluzhivaniya, remonta i diagnostiki avtomobiley: sbornik laboratornykh rabot. [Technological processes of maintenance, repair and diagnostics of cars: a collection of laboratory works]. Part 2. / V.A. Migachev. - Ulyanovsk: UISTU, 2009.- 48 p.

2. Kulakov A.T., Barylnikova E.P., Talipova A.P. Usloviya smazyvaniya i razvitiye predotkaznogo sostoyaniya podshipnikov kolenchatogo vala [Lubrication conditions and the development of the pre-failure state of crankshaft bearings] *Mechanical engineering: network electronic scientific journal*. 2019. Vol. 7.no. 3. pp. 3-9.

3. Khlopotov R.A., Anisimov I.A. Analiz parametrov kolenchatykh valov sovremennykh dvigateley avtomobiley [Analysis of the parameters of crankshafts of modern car engines] *Transport and mechanical engineering of Western Siberia*. 2017. no. 2. pp. 52-58.

4. Fomin A.I., Senin P.V., Komarov V.A., Nuyanzin E.A. Obespecheniye dolgovечnosti pokrytiy sheyek kolenchatykh valov avtotraktornoy tekhniki [Ensuring the durability of the coatings of the necks of the crankshafts of automotive vehicles] *Technics and equipment for the village*. 2016. no. 2. pp. 44-48.

5. Yusupov M.L., Iovlev G.A., Goldina I.I., Kiviryan A.M. Instrumenty diagnostiki i regulirovki rabot dvigatelya avtomobilya [Diagnostic and adjustment tools for car engine operation] *In the collection: Engineering solutions. collection of student technical solutions*. 2019. pp. 133-134.

6. Iovlev G.A. Upravleniye tekhnicheskoy gotovnost'yu transportno-tekhnologicheskikh mashin [Management of technical readiness of transport and technological machines] *APK: regions of Russia*. 2013. no. 1. pp. 6-9.

7. Agafonov A.K., Lomovskikh A.E., Rodionov Yu.V., Berestevich G.V., Sviridov A.A., Armeninov I.S. Issledovaniye vliyaniya antifriktsionnogo smazochnogo materiala na ekspluatatsionnyye i ekologicheskiye kharakteristiki dvigateley vnutrennego sgoraniya [Investigation of the influence of antifriction lubricant on the operational and environmental characteristics of internal combustion engines] *Science in Central Russia*. 2020. no. 5 (47). pp. 82-95.

8. Chernyakov D.S., Ptitsyn A.S., Zaripova N.A. Dolgovечnost' podshipnikov skol'zheniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya i metody yeye povysheniya [Durability of sliding bearings of an internal combustion engine and methods of its improvement] *Electronic scientific-methodical journal of Omsk State Agrarian University*. 2018. no. 1 (12). P. 22.

9. Korolev A.E. Raschetno-eksperimental'nyy metod opredeleniya dopuskayemogo iznosa dvigateley [Calculation-experimental method for determining the permissible wear of engines] *Bulletin of the State Agrarian University of the North-eastern Trans-Urals*. 2016. no. 1 (32). pp. 135-139

10. Shaikhov R.F. Opredeleniye optimal'noy periodichnosti obsluzhivaniya gruzovykh avtomobiley na avtotransportnom predpriyatii [Determination of the optimal frequency of servicing trucks at a motor transport enterprise] *Transport. Transport facilities. Ecology*. 2019. no. 2. pp. 80-86.

11. B.S. Antropov, V.V. Kapralov, V.V. Humienny, V.A. Generals. Issledovaniye rabotosposobnosti vkladyshey kolenchatogo vala avtotraktornykh dvigateley [Investigation of the performance of the crankshaft liners of automotive engines] *Bulletin of the APK of the Upper Volga region* - 2020. no. 3. pp. 58-61.

12. Nikola P. Žegarac. Development of a method for determining the size of clearance in sliding bearings // Vojnotehnički Glasnik / Military Technical Courier, 2020, Vol. 68, Issue 3, pp. 530-553.

13. Larry H.C. Practical Methods for Analyzing the Reliability of Repairable Systems. URL: <https://www.reliasoft.com> (12/20/2020).

14. Jodejko-Pietruczuk A., Werbińska-Wojciechowska S. Analysis of maintenance models 'parameters estimation for technical systems with delay time. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability. 2014. 16 (2). pp. 288-29.

Получено 03.12.2020

Об авторах

Иовлев Григорий Александрович (Екатеринбург, Россия) – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования в АПК» Уральского государственного аграрного университета (620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42, e-mail: gri-iovlev@yandex.ru).

Голдина Ирина Игоревна (Екатеринбург, Россия) – старший преподаватель кафедры «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования в АПК» Уральского государственного аграрного университета (620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42, e-mail: ir.goldina@mail.ru).

About the authors

Grigory A. Iovlev (Yekaterinburg, Russian Federation) – Ph.D. in Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Service of Transport and Technological Machines and Equipment in Agroindustrial Complex, Ural State Agrarian University (42, K. Libknekht st., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation, e-mail: gri-iovlev@yandex.ru).

Irina I. Goldina (Yekaterinburg, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Service of Transport and Technological Machines and Equipment in the Agro-Industrial Complex, Ural State Agrarian University (42, K. Libknekht st., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation, e-mail: ir.goldina@mail.ru).