

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИРАБОТКИ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Статья посвящена теоретическому и экспериментальному решению проблемы оценки качества приработки подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей. Разработана математическая модель смазочного процесса в подшипниках скольжения; обоснован параметр оценки качества приработки подшипников скольжения в области нагрузочно-скоростного режима; теоретически установлены и экспериментально подтверждены зависимости значений параметров продолжительности существования смазочного слоя в отдельных коренных подшипниках и в системе подшипников коленчатого вала от нагрузочно-скоростного режима и длительности приработки; разработана методика оценки качества приработки подшипников скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей при стендовой обкатке.

Практика эксплуатации автомобильного транспорта свидетельствует о том, что ресурс автомобильных двигателей после ремонта зачастую меньше регламентированного и составляет 30...50% от ресурса новых двигателей. Положение усугубляется низким качеством запасных частей, тенденцией переноса капитального ремонта в условия автотранспортных предприятий и другими причинами. Это указывает на необходимость повышения качества ремонта автомобильных двигателей, в том числе обкатки.

В современных условиях исследования по повышению эффективности обкатки направлены на изыскание новых методов и средств, в том числе обеспечивающих достоверную оценку качества приработки основных подвижных сопряжений автомобильных двигателей.

В настоящее время при обкатке широко используются методы общего диагностирования автомобильных двигателей, их механизмов и систем. Однако оценка качества приработки подшипников коленчатого вала недостаточно изучена из-за сложности процессов приработки и нуждается в дальнейшем совершенствовании. Поэтому совершенствование оценки качества приработки подшипников скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей является актуальным.

К известным безразборным параметрам оценки качества приработки подшипников скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей относятся давление масла в главной масляной магистрали, момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала, температура масла, содержание частиц износа в масле и другие. Ограниченность использова-

ния этих параметров связана с затрудненностью прогнозирования процессов изменения технического состояния подшипников скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей при эксплуатации после обкатки.

Известно, что важными следствиями приработки гидродинамических подшипников скольжения являются повышение несущей способности смазочного слоя и расширение диапазона нагрузок и скоростей, при которых подшипники работают в режиме жидкостного трения [5]. Параметр оценки качества приработки может быть связан с параметрами смазочного процесса в подшипниках скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей. Однако исследование закономерностей смазочного процесса в подшипниках коленчатого вала при приработке автомобильных двигателей не проводилось. Поэтому представляет интерес теоретическое и экспериментальное обоснование использования параметров смазочного процесса для оценки качества приработки подшипников скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей, а также разработка методики оценки качества приработки в условиях стендовой обкатки двигателей.

Одним из параметров смазочного процесса является продолжительность существования смазочного слоя (параметр $P_{эс}$), отражающая долю времени бесконтактного взаимодействия трущихся поверхностей (при $P_{эс} = 0$ происходит постоянное контактное взаимодействие поверхностей, при $P_{эс} = 1$ – постоянное бесконтактное взаимодействие поверхностей, при $0 < P_{эс} < 1$ – наблюдается переходный смазочный процесс) [9].

Разработаны математические модели смазочного процесса как в отдельном подшипнике скольжения, так и в системе подшипников коленчатого вала [3, 4, 8]. Создана автоматизированная система оценки смазочного процесса [2]. В ее основе лежит принцип изменения электрической проводимости подвижного сопряжения в зависимости от наличия либо отсутствия диэлектрического смазочного материала между трущимися поверхностями [7].

Математическая модель смазочного процесса в отдельном подшипнике скольжения коленчатого вала базируется на детерминированно-стохастической природе процесса. Физическому смыслу параметра продолжительности существования смазочного слоя $P_{эс}$ соответствует средняя вероятность неразрушения смазочного слоя за рабочий цикл двигателя:

$$P_{эс} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{\alpha=4\pi} \left[\int_{P=0}^{P=1} P dP \right] d\alpha, \quad (1)$$

где α – угол поворота коленчатого вала;

P – вероятность неразрушения смазочного слоя.

Вероятность неразрушения P определяется соотношением значений внешней нагрузки N на смазочный слой и предельной несущей способности смазочного слоя $N_{эс}$. С учетом допущения, что плотности распределения N и $N_{эс}$ (а также обуславливающих их факторов) подчинены нормальному закону распределения с математическими ожиданиями ($mN_{эс}$, mN) и среднеквадратическими отклонениями ($\sigma N_{эс}$, σN), вероятность P определяется по формуле:

$$P = 1 - \Phi \left(- \frac{mN - mN_{эс}}{\sqrt{\sigma N^2 + \sigma N_{эс}^2}} \right), \quad (2)$$

где $\Phi(\cdot)$ – интеграл вероятностей Лапласа.

Математическое ожидание $mN_{эс}$ (Н) определяют по формуле:

$$mN_{эс} = 9,55 \frac{ml \, md^3 \, m\mu \, mn \, mS}{m\Delta^2}, \quad (3)$$

где ml , md , $m\mu$, mn , mS , $m\Delta$ – математические ожидания соответственно опорной длины (м), диаметра подшипника (м), дина-

мической вязкости масла (Па·с), частоты вращения вала (мин⁻¹), коэффициента нагруженности и диаметрального зазора (м).

Среднеквадратическое отклонение $\sigma N_{эс} = \sqrt{vN_{эс} \, mN_{эс}}$, где $vN_{эс}$ – коэффициент вариации $N_{эс}$, определяемый как:

$$vN_{эс} = \sqrt{v\mu^2 + vn^2 + 2v\Delta^2 + \left(\frac{2\gamma mh_{кр} \sqrt{vh_{кр}^2 + v\Delta^2}}{m\Delta - 2mh_{кр}} \right)^2}, \quad (4)$$

где $v\mu$, vn , $v\Delta$, $vh_{кр}$ – коэффициенты вариации соответственно динамической вязкости масла, частоты вращения вала, диаметрального зазора и критической толщины смазочного слоя; γ – переменный показатель степени в зависимости $mS = m\chi\gamma$ (где $m\chi$ – математическое ожидание относительного эксцентриситета); $mh_{кр}$ – математическое ожидание критической толщины смазочного слоя (м).

Внешняя нагрузка N на смазочный слой в подшипниках переменна по углу поворота коленчатого вала α и определяется прежде всего крутящим моментом M и частотой вращения n . Величина mN определяется при динамическом расчете кривошипно-шатунного механизма, а σN – через коэффициент вариации vN , значение которого задается априорно (ввиду сложности учета возможных причин вариации, появляющихся и развивающихся в эксплуатации, например, дополнительного нагружения вследствие биений осей шеек и постелей, неидентичности протекания рабочих процессов в цилиндрах и т. п.).

Математическая модель смазочного процесса в системе подшипников базируется на замене этой системы одним абстрактным «суммарным» подшипником, для которого вращающимся элементом является коленчатый вал, а не вращающимся – блок цилиндров. Для оценки смазочного процесса в таком подшипнике используется суммарный параметр $P_{эс}^{сум}$. Анализ вероятности непрохождения электрического тока через все подвижные сопряжения при подводе напряжения между коленчатым валом и картером позволил обосновать формулу для определения параметра $P_{эс}^{сум}$:

$$P_{эс}^{сум} = \prod_{i=1}^{i=k} P_{эс.к.л.i} \prod_{j=1}^{j=m} P_{эс.ш.л.j}, \quad (5)$$

где $P_{эс.к.л.i}$ – параметр $P_{эс}$ в i -м коренном подшипнике;

$P_{эс.ш.л.j}$ – параметр $P_{эс}$ в j -м шатунном подшипнике;

k и m – число коренных и шатунных подшипников соответственно.

Частным случаем формулы (5) является значение параметра продолжительности существования смазочного слоя в системе коренных подшипников $P_{эс.к.л}^{сум}$, определяемое по формуле:

$$P_{эс.к.л}^{сум} = \prod_{i=1}^{i=k} P_{эс.к.л.i}. \quad (6)$$

Параметр $P_{эс}^{сум}$ неприменим для сравнительной оценки к двигателям с различными системами подшипников коленчатого вала. В связи с этим для приведения подобных систем к равным условиям используется понятие «эквивалентный подшипник», обобщенно оценивающее смазочный процесс в шатунных и коренных подшипниках. Для оценки смазочного процесса в таком подшипнике используется параметр $P_{эс}^{экв}$, который рассчитывают по формуле:

$$P_{эс}^{экв} = \sqrt[L]{P_{эс}^{сум}}, \quad (7)$$

где $L = k + m$ – общее количество коренных и шатунных подшипников в автомобильном двигателе.

Проведено имитационное моделирование смазочного процесса при приработке подшипников коленчатого вала автомобильного двигателя 4Ч 8,2/7 ($m = 4, k = 5$). Исходные данные для моделирования: среднее значение диаметрального зазора $m\Delta$ увеличивается с 30 до 50 мкм; среднее значение критической толщины смазочного слоя $m\dot{h}_{кр}$ уменьшается с 7 до 2 мкм; средний диаметр шатунных подшипников 54 мм, коренных 60 мм; средняя температура масла на входе в подшипники 80°C ; давление масла 0,4 МПа; коэффициенты вариации вязкости 0,04, частоты вращения 0,005, внешней нагрузки на смазочный слой 0,02, зазора 0,1, критической толщины 0,2; частота вращения варьируется от 1500 до 2500 мин⁻¹, крутящий момент – от 0 до 60 Н · м.

Результаты моделирования показаны на рисунках 1 и 2.

Моделирование показало [6], что проявлением приработки является прирост значения параметра $P_{эс}$ во времени τ ($dP_{эс}/d\tau > 0$). Критерием завершения приработки служит условие, когда скорость изменения параметра равна нулю ($dP_{эс}/d\tau = 0$) при стремлении значения параметра к единице ($P_{эс.л} \rightarrow 1$).

Величина параметра $P_{эс}$ зависит от нагрузочно-скоростного режима работы двигателя. Поэтому оценка качества приработки по параметру $P_{эс}$ не может ограничиваться одним нагрузочно-скоростным режимом. В связи с этим, выдвинута гипотеза, что параметром оценки качества приработки может выступать среднее значение параметра

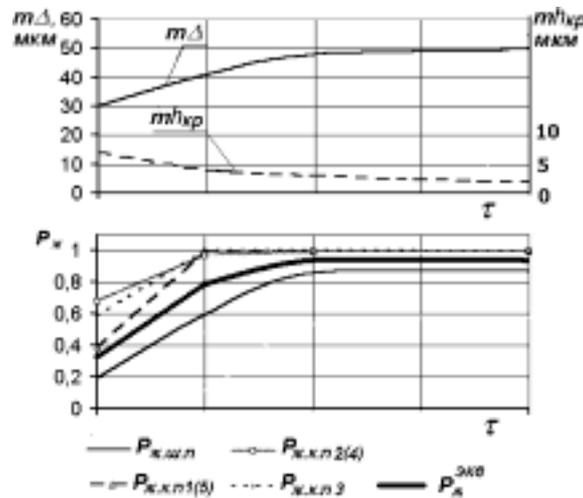


Рисунок 1. Изменение значений параметра $P_{эс}$ в шатунном, пяти коренных и эквивалентном подшипниках при приработке (при $M=30 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $n=2000 \text{ мин}^{-1}$)

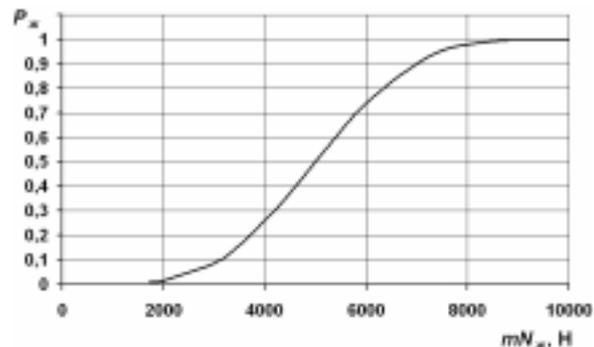


Рисунок 2. Зависимость значения параметра $P_{эс}$ от величины несущей способности смазочного слоя $mN_{эс}$ ($mN = 5000 \text{ Н}$, $m\dot{d} = 60 \text{ мм}$, $m\Delta = 30 \text{ мкм}$, $m\dot{h}_{кр} = 2 \dots 7 \text{ мкм}$)

$P_{жс}$ в заданной области нагрузочно-скоростного режима работы двигателя (в координатах крутящий момент M – частота вращения коленчатого вала n). В общем случае нагружения двигателя параметр оценки приработности Π определяют по формуле:

$$\Pi = \frac{\int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \int_{n_{\min}}^{n_{\max}} P_{жс}(M, n) dn dM}{\int_{n_{\min}}^{n_{\max}} M(n) dn}, \quad (8)$$

где M_{\min} и M_{\max} , n_{\min} и n_{\max} – минимальные и максимальные значения соответственно крутящего момента и частоты вращения коленчатого вала.

В частном случае при фиксированном количестве $N_{опыт}$ исследуемых режимов нагружения параметр Π определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{\sum_{M=M_{\min}}^{M_{\max}} \sum_{n=n_{\min}}^{n_{\max}} P_{жс}}{N_{опыт}}. \quad (9)$$

Обоснованность этого параметра подтверждают результаты проведенного моделирования. Так, подставив в формулу (9) значения параметра $P_{жс}^{экв}$ на соответствующих режимах нагружения двигателя, получим значения параметра $\Pi_{экв}$ до приработки $\Pi_{экв}^{до} = 0,362$ и после $\Pi_{экв}^{после} = 0,938$. Значение параметра $\Pi_{экв}$ возросло при приработке в 2,6 раза.

Параметр Π удовлетворяет важным требованиям – зависит от повышения несущей способности смазочного слоя ($N_{жс}$), является безразмерным, принимает значения от 0 до 1, с увеличением Π расширяются диапазоны M и n , в которых подшипники коленчатого вала работают в режиме жидкостного трения со значением параметра $P_{жс} \rightarrow 1$. При значении $\Pi_{экв} = 1$ на всех заданных нагрузочно-скоростных режимах работы двигателя во всех подшипниках коленчатого вала существует режим жидкостного трения ($P_{жс}^{экв} = 1$). Значение $\Pi_{экв} = 0$ свидетельствует о том, что как минимум в одном подшипнике $P_{жс} = 0$ ($P_{жс}^{экв} = 0$). В литературном источнике [1] отмечено, что для подшипников скольжения безопасным является доля времени существования жидкостного трения свыше 80%. Поэтому в работе регламентированным значением параметра принято $[\Pi] = 0,8$.

Экспериментальное исследование проведено на специально подготовленном рядном автомобильном двигателе 4Ч 8,2/7. От базовой конструкции он отличается электрической изоляцией коренных подшипников от блока цилиндров за счет нанесенного на постели подшипников слоя высокопрочного материала с диэлектрическими свойствами. От каждого из пяти коренных вкладышей выводится провод за пределы масляного картера и соединяется с пятиканальным разъемом. На носке коленчатого вала двигателя крепится ртутный токосъемник.

Электрическая изоляция каждого коренного подшипника позволяет замерять параметр $P_{жс.к.п}$ в подшипнике в «чистом виде». Для замера параметров смазочного процесса используется автоматизированная система оценки смазочного процесса.

В основу экспериментальной методики оценки параметров смазочного процесса в подшипниках коленчатого вала при их приработке положены укрупненные модели, содержащие входные и выходные переменные. Для i -го коренного подшипника входные переменные – M , n и τ , выходная переменная – $P_{жс.к.п.i}$, определяемые зависимости – $P_{жс.к.п.i} = f(i, M, n, \tau)$ и $\Pi_{жс.к.п.i} = f(i, \tau)$. Для подшипников двигателя входные переменные – M , n и τ , выходная переменная – $P_{жс}^{экв}$, определяемые зависимости – $P_{жс}^{экв} = f(M, n, \tau)$ и $\Pi_{экв} = f(\tau)$.

Исследуемый двигатель с внесенными в конструкцию изменениями соответствовал неприработанному состоянию после изготовления или ремонта. Поэтому исследования проводились в два этапа. Первый этап – стендовая обкатка по режимам, рекомендованным заводом-изготовителем. Второй этап – периодически повторяющийся установившийся режим нагружения двигателя на обкаточно-тормозном стенде КИ-5543 при определенных сочетаниях значений крутящего момента M и частоты вращения коленчатого вала n по двухфакторному плану, построенному с ис-

Таблица 1. План эксперимента

Параметры режима испытаний	Номер опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
M , Н·м	30	45	45	0	15	15	60
n , мин ⁻¹	2000	1600	2400	2000	2400	1600	2000

пользованием положений математического планирования экспериментов (таблица 1).

Проведено семь серий опытов. В каждой серии проводился прогрев двигателя, затем, в соответствии с планом, устанавливался требуемый режим испытания. На каждом режиме производился двукратный замер параметров последовательно в каждом i -м коренном подшипнике (параметр $P_{ж.к.п.i}$) и системы подшипников (параметр $P_{ж.с.п.}$). За время одного измерения в каждом состоянии, составлявшее около 30 секунд, фиксировались значения параметра $P_{ж.с.п.}$ с интервалом 1 с. Во время исследований контролировались значения давления масла, температуры охлаждающей жидкости и масла, велся хронометраж, в результате чего для каждого номера опыта серии фиксировалось среднее время с начала приработки двигателя.

Для проверки обоснованности теоретических положений после каждой серии опытов производились последовательно двукратные замеры в течение 5 секунд в каждом i -м коренном подшипнике (параметра $P_{ж.к.п.i}$) и во всех пяти коренных подшипниках (параметра $P_{ж.с.п.}$) при работе двигателя без нагрузки на холостом ходу при частоте вращения коленчатого вала $n = 2000$ мин⁻¹ (вкладыши подшипников при этом электрически замыкались между собой).

Анализ результатов экспериментального исследования подтвердил обоснованность теоретических положений, методик и средств оценки качества приработки подшипников двигателя.

Анализ изменения во времени значений математических ожиданий параметров $P_{ж.к.п.i}$ и $P_{ж.с.п.}$ показал следующее:

– аппроксимирующие зависимости имеют вид

$$P_{ж.к.п.i} = a(b - e^{-c\tau}) \text{ и } P_{ж.с.п.} = g/(1 + e^{-z-w\tau})^{1/d},$$

где τ – время с начала приработки, мин;

a, b, c, d, g, w, z – коэффициенты (рисунок 3);

– имеется выраженный прирост значений параметров во времени ($dP_{ж.с.п.}/d\tau > 0$), причем с увеличением времени скорость изменения параметров снижается и стремится к нулю, а их значения – к единице (рисунок 4);

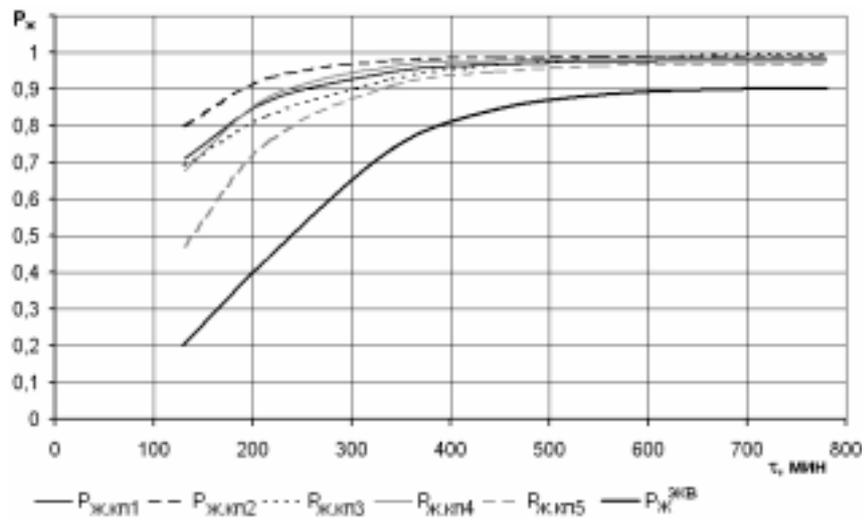


Рисунок 3. Зависимости значений математических ожиданий параметра $P_{ж.с.п.}$ в пяти коренных и эквивалентном подшипниках от времени с начала приработки двигателя (опыт $M = 30$ Н·м, $n = 2000$ мин⁻¹)

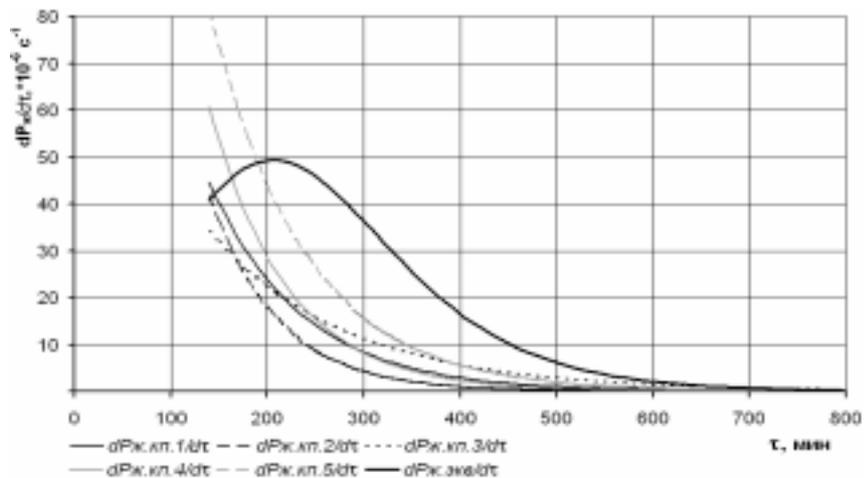


Рисунок 4. Зависимости скоростей изменения значений математических ожиданий параметра $P_{ж.с.п.}$ в пяти коренных и эквивалентном подшипниках от времени с начала приработки двигателя (опыт $M = 30$ Н·м, $n = 2000$ мин⁻¹)

– отмеченные особенности являются характерными признаками приработки как направленного детерминированного переходного процесса;

– значения параметров $P_{ж.к.п.}$ и $P_{жс}^{экв}$ зависят от значений параметров нагрузочно-скоростного режима испытания.

По аппроксимирующим зависимостям $P_{ж.к.п.i} = f_1(\tau)$ и $P_{жс}^{экв} = f_2(\tau)$ для каждой опытной точки M и n по формуле (9) рассчитаны значения параметра оценки качества приработки. Получены зависимости значений параметров $\Pi_{ж.к.п.i} = f_3(\tau)$ и $\Pi_{экв} = f_4(\tau)$, представленные на рисунке 5, а также скорости их изменения (рисунок 6).

Анализ полученных результатов показывает, что значения параметра Π после стендовой обкатки двигателя по режимам, реко-

мендованным заводом-изготовителем, не достигли регламентированного уровня $[\Pi] = 0,8$ и составляют $\Pi_{ж.к.п.i} = 0,51 \dots 0,75$ для коренных подшипников и $\Pi_{экв} = 0,56$ для эквивалентного подшипника. Максимальные значения параметра $\Pi_{ж.к.п.i}$ у каждого коренного подшипника достаточно близки друг к другу (от 0,9785 до 0,9815, т. е. расхождение относительно среднего 0,9800 составляет $\pm 1,53\%$). Время τ достижения регламентированного уровня в каждом коренном подшипнике отличается (от 156 до 264 мин., т. е. $\pm 25,7\%$). Это свидетельствует о различной приспособленности коренных подшипников у исследуемого двигателя к приработке. Система подшипников прирабатывается на 81,9% дольше (382 мин.). Можно считать, что при использованных режимах обкатки и условиях приработки подшипники за время $\tau = 700$ мин. достигнуто максимальное значение параметра качества приработки $\Pi_{экв} = 0,888$.

Закономерности изменения значений параметров Π и $P_{жс}$ обладают сходными характерными признаками. Это подтверждает возможность использования параметра Π в качестве оценочного показателя процесса приработки подшипников.

Анализ полученных результатов свидетельствует о незначительной ошибке (не более 2%) между опытными и расчетными значениями параметра продолжительности существования смазочного слоя в системе коренных подшипников $P_{ж.к.п}^{сум}$.

Методика оценки качества приработки подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей апробирована в условиях ЗАО «Автоколонна 1825» (г. Оренбург) при стендовой обкатке двигателей модели ЗМЗ-672 автобусов

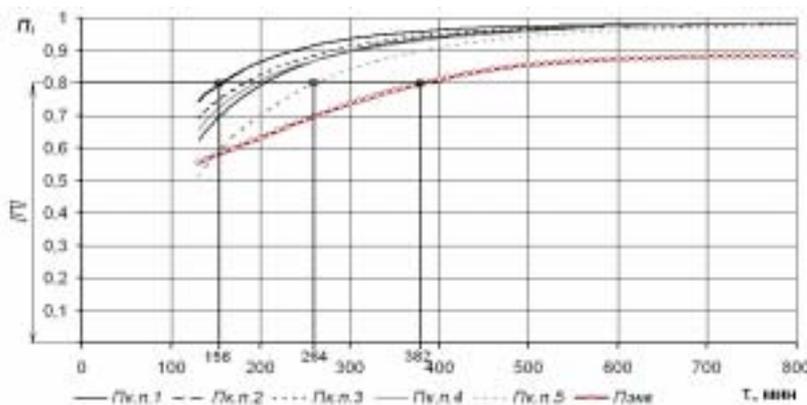


Рисунок 5. Зависимости значений параметра Π в пяти коренных и эквивалентном подшипниках от времени с начала приработки двигателя

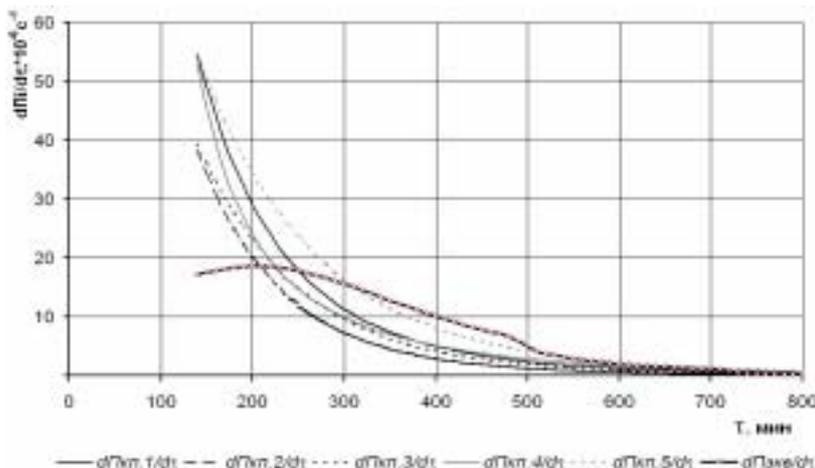


Рисунок 6. Зависимости скоростей изменения значений параметра Π в пяти коренных и эквивалентном подшипниках от времени с начала приработки двигателя

ПАЗ-3205. Были решены следующие частные задачи:

1) проведены стендовые обкатки капитально отремонтированных двигателей ЗМЗ-672 на режимах согласно техническим условиям;

2) после завершения стендовой обкатки проведены испытания двигателей по разработанному плану;

3) для каждого двигателя установлены значения параметра $P_{ис}^{экр}$ в зависимости от крутящего момента M и частоты вращения вала n и рассчитаны значения параметра $\Pi_{экр}$. Среднее значение параметра $\Pi_{экр}$ составило 0,47, что свидетельствует о недостаточной эффективности типового режима приработки исследованных двигателей.

Анализ эффективности использования разработанной методики основан на полученной зависимости значений относительного ресурса R подшипников коленчатого вала от значений параметра $\Pi_{экр}$ после стендовой обкатки.

Относительный ресурс R , %, подшипника рассчитывают по формуле:

$$R = 100 \left(1 - \frac{\pi k d n \left(\frac{N}{l d} \right)^x \int_0^{T_{эо}} (1 - \Pi_{экр}) d\tau}{S\Delta} \right), \quad (10)$$

где k – коэффициент пропорциональности;

l и d – опорная длина и диаметр эквивалентного подшипника, м;

n – среднее значение частоты вращения коленчатого вала при эксплуатации, мин⁻¹;

N – среднее значение внешней нагрузки на эквивалентный подшипник при эксплуатации, Н;

x – показатель степени;

$T_{эо}$ – время работы двигателя при эксплуатационной обкатке, мин.;

$S\Delta$ – запас диаметрального зазора на износ в эквивалентном подшипнике, м;

Согласно полученным результатам при существующем уровне (среднее значение $\Pi_{экр} = 0,47$) качества приработки подшипников скольжения коленчатого вала автомобильного двигателя ЗМЗ-672 на ЗАО «Автоколонна 1825» относительный ресурс подшипников составляет около 35%.

Анализ эффективности использования полученных результатов показал, что повышение качества приработки подшипников

эффективно в области низких значений параметра $\Pi_{экр}$. При увеличении значения параметра $\Pi_{экр}$ на каждые 0,1 относительный ресурс подшипников повышается на 5...30%. При повышении эффективности стендовой обкатки до значений параметра $\Pi_{экр} = 0,8$ расчетный послеремонтный относительный ресурс подшипников может увеличиться с 35% до 87%.

Основываясь на изложенном, можно утверждать, что:

1) разработана математическая модель смазочного процесса в подшипниках скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей, позволяющая определить завершенность приработки коренных и шатунных подшипников различных автомобильных двигателей и являющаяся базой для определения интенсивности изменения технического состояния подшипников в эксплуатации;

2) обоснован параметр оценки качества приработки подшипников скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей, представляющий среднее значение параметров продолжительности существования смазочного слоя в коренных и шатунных подшипниках в области нагрузочно-скоростного режима;

3) теоретически установлены и экспериментально подтверждены зависимости значений параметров продолжительности существования смазочного слоя в отдельных коренных подшипниках и в системе подшипников коленчатого вала от нагрузочно-скоростного режима и длительности приработки. Результаты свидетельствуют о различной интенсивности приработочных процессов в отдельных коренных подшипниках. Общее время приработки системы подшипников коленчатого вала составило 700 мин., что существенно уточняет регламентированные требования к процессам приработки автомобильных двигателей;

4) разработана методика оценки качества приработки подшипников скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей при стендовой обкатке. Она базируется на замере автоматизированной системой оценки смазочного процесса среднего значения параметров продолжительности существования смазочного слоя в коренных и

шатунных подшипниках при испытании двигателя на обкаточно-тормозном стенде в определенной области нагрузочно-скоростного режима. Методика может быть использована при оценке качества приработки автомобильных двигателей, управлении смазочным процессом в подвижных сопряжениях, определении допустимых к использованию моторных масел и присадок к ним, назначении рациональных нагрузочно-скоростных режимов стендовой и эксплуатационной обкаток;

5) полученные результаты и предложенная оценка качества приработки подшипников скольжения коленчатых валов автомобильных двигателей позволяют повысить эффективность обкатки автомобильных двигателей. Источником эффективности является увеличенный послеремонтный ресурс автомобильных двигателей за счет снижения интенсивности изнашивания подшипников скольжения, имеющих более высокую степень приработки и благоприятные условия смазки перед эксплуатацией.

Список использованной литературы:

1. Вырубов, Д.Н. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей: учебник для втузов / Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
2. Калимуллин, Р.Ф. Автоматизированная система оценки смазочного процесса в подшипниках скольжения: экспресс-информация / Р.Ф. Калимуллин, Н.Н. Якунин. – Оренбург: Оренбургский ЦНТИ, 2004. – №50-003-04. – 2 с.
3. Калимуллин, Р.Ф. Расчетная оценка условий смазки коренных подшипников автомобильных двигателей / Р.Ф. Калимуллин, Н.Н. Якунин // Вестник Оренбургского государственного университета, 2000. – №1. – С. 54 – 58.
4. Калимуллин, Р.Ф. Метод оценки трибологического состояния подвижных сопряжений автомобильных двигателей / Р.Ф. Калимуллин, Н.Н. Якунин, И.В. Тюняев // Вестник Оренбургского государственного университета, 2005. – №12 (Приложение «Прогрессивные технологии в транспортных системах»). – С. 50 – 55.
5. Карасик, И.И. Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения: монография / И.И. Карасик. – М: Наука, 1978. – 136 с.
6. Сологуб, В.А. Разработка параметра и метода контроля приработанности подшипников коленчатого вала автомобильных двигателей по показателям смазочного процесса / В.А. Сологуб, Р.Ф. Калимуллин // Вестник Оренбургского государственного университета, 2005. – №12 (Приложение «Прогрессивные технологии в транспортных системах»). – С. 116 – 120.
7. Якунин, Н.Н. Способ определения нарушения жидкостного режима трения подшипников скольжения: авт. св. СССР №1312444 / Р.Т. Абдрашитов, А.И. Шевченко, Н.Н. Якунин (СССР) // Открытия. Изобретения, 1987. – №19.
8. Якунин, Н.Н. Переходный смазочный процесс в коренных подшипниках автомобильных двигателей / Н.Н. Якунин, Р.Ф. Калимуллин, А.Ю. Алемасцев, С.В. Баловнев, В.А. Сологуб // Справочник. Инженерный журнал, 2002. – №7. – С. 14 – 20.
9. Якунин, Н.Н. Теоретическое исследование условий работоспособности подшипников скольжения машин / Н.Н. Якунин, Р.Ф. Калимуллин // Трение и износ, 1999. – Том 20. – №4. – С. 358 – 363.