

УДК 621.431.7

Слободянюк Д. И.
ОНМА

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОРШНЕВОГО КОЛЬЦА СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ СМАЗЫВАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Рост удельных мощностей в двигателестроении снижает долговечность деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) судового дизеля. Ресурс дизеля до переборки определяется техническим состоянием деталей именно этой группы. Следовательно, очень важно определять наступление момента предельного состояния ЦПГ, начиная с которого эксплуатация должна прекращаться. Нароботка цилиндра до очередного вскрытия определяется работоспособностью поршневых колец (ПК).

Таким образом, первым шагом в решении проблемы повышения эффективности судового дизеля, является получение достоверной оценки технического состояния деталей ЦПГ, которое характеризуется прежде всего работоспособностью ПК.

В этом отношении большие возможности открываются при использовании результатов теории и практики виброакустической диагностики.

Литературный анализ[1-3] показал, что на современных судах проводится мониторинг состояния и выполнения функций отдельными ответственными деталями ЦПГ основанный на виброакустической диагностике.

Специальный быстродействующий датчик установленный выше продувочных окон на цилиндровой втулке двигателя измеряет частоту и амплитуду акустических колебаний возникающих при прохождении кольца мимо датчика. Однако, в применяемых системах мониторинга состояния поршневых колец нет информации о процессах взаимодействия сопряжения «кольцо-втулка» при малых скоростях движения. Особенностью этого процесса является то, что в момент прохождения продувочных окон, режим смазки не является гидродинамическим. В тонком смазочном слое, за счет структурирования молекул пристенных слоев, возникает расклинивающее давление, препятствующее возникновению адгезионного контакта между поршневым кольцом и перемычками окон цилиндра.

Отсутствие сведений о процессах трения при разделении деталей тонкими пленками смазки, находящихся в анизотропном состоянии, являлось серьезным препятствием развития исследований в этом направлении. Полученные нами экспериментальные результаты по величине расклинивающего давления в тонких пленках цилиндрического масла нефтяного происхождения с анизотропными свойствами на металлических поверхностях деталей ЦПГ [5-6] и определение толщины этих пленок, позволяют решить задачу мониторинга и управления процессом трения сопряженных поверхностей при выше указанных условиях.

Задача получения и идентификации сигнала от вибрационного датчика установленного на цилиндрической втулке при прохождении кольцом продувочных окон цилиндра, при малых скоростях движения поршня, не изучалась и ставится впервые, поэтому исследования являются актуальными.

Цель работы – повышение эффективности эксплуатации судовых малооборотных дизелей путем разработкой диагностической модели технического состояния поршневого кольца при прохождении кольцом продувочных окон МОД.

При создании системы диагностирования необходимо, чтобы она решала следующие задачи:

1. Определить, может ли узел трения и система смазывания, обслуживающая его по их состоянию, выполнить возложенные на них функции,
2. Определить характер дефекта, возникшего в сопряжении деталей.
3. Предсказать момент времени, когда диагностические показатели достигнут предельного значения.

Функциональное диагностирование наиболее удобно осуществлять по конечному результату работы т.е. триботехническим характеристикам узлов трения, непосредственно в процессе эксплуатации.

Колебательный процесс, возникающий в зоне трения, распространяется по элементам конструкции машин и механизмов и может быть зарегистрирован на достаточном удалении от зоны трения. Низкочастотная область спектра используется для диагностирования целостности элементов узлов трения. Высокочастотная часть спектра вибрации используется для решения задач определения состояния материалов узла трения, интенсивности изнашивания, оценки остаточного ресурса узла трения.

Рассмотрим систему технического диагностирования деталей ЦПГ построенную на использовании анизотропных свойств смазочных материалов, возникающих в тонких пленках смазки за счет структурирования приповерхностных молекул смазки.

Диагностическая модель [1] устанавливает связь между состоянием системы и ее отображением в пространстве диагностических сигналов. В общем случае, диагностические параметры являются функцией нескольких структурных параметров.

$$\begin{cases} P_{\partial_i} = t(P_{C_1}, \dots, P_{C_i}) \\ \dots \\ P_{\partial_j} = t(P_{C_1}, \dots, P_{C_i}) \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения (1) отражают реально существующие функциональные зависимости между структурными и диагностическими параметрами.

Диагностическими параметрами могут быть: сила трения, тепловыделение, интенсивность изнашивания, вибрация и др.

Структурные параметры: физико-механические характеристики смазочных материалов, физико-механические характеристики узлов трения и др.

Техническое состояние деталей может находиться в конечном множестве состояний S_i , которое состоит из подмножества работоспособных состояний S_1 и подмножества неработоспособных состояний S_2 .

Разделение множества S на подмножества определяется условием работоспособности. При этом, условие работоспособности задают в пространстве диагностических показателей – областью работоспособности, в пределах которой поршневые кольца выполняют свое функциональное назначение.

Существует такой параметр $P_{дб}$ который позволяет задать область работоспособности деталей.

Таким образом, если диагностический параметр изменяется в пределах

$$0 < P_{\partial_i} < P_{дб} \quad (2),$$

то система считается работоспособной.

В практических задачах диагностирования технического состояния деталей и систем смазывания необходимо использовать заранее назначенные контрольные уровни. Для повышения достоверности оценки технического состояния используется предупредительный уровень $P_{дс}$.



Рис.1. Оценка отклонения диагностируемого параметра по предельным уровням.

Предупредительный уровень соответствует таким значениям диагностируемых параметров, которые соответствуют переходу работы смазочного материала с квазикристаллических свойств на изотропные т.е. наблюдается деструкция смазочного слоя.

В качестве условия срабатывания предупредительной сигнализации будет неравенство;

$$P_{дс} < P_{дi} < P_{дб} \quad (3)$$

Предельный уровень соответствует таким значениям диагностируемых параметров, которые соответствуют работе узла трения с полностью разрушенным смазочным слоем или в его отсутствии.

Предельный и предупредительный уровни определяются на основании испытаний на моделях трения после удаления из зоны трения смазочного материала.

Экспериментальное исследование значения виброакустических параметров, соответствующих предупредительному и предельному

уровням, в зависимости от условий смазывания, проводилось на установке, блок-схема которой представлена на рис.2.

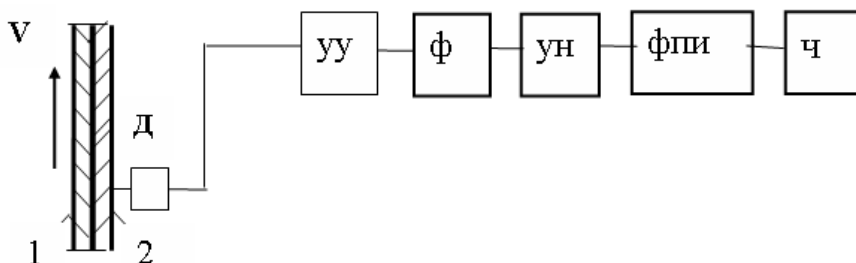


Рис.2. Блок-схема системы диагностики технического состояния поршневых колец.

Д - акустический датчик; УУ – узкополосый усилитель; Ф – фильтр; УН – усилитель напряжения; ФПИ – формирователь прямоугольных импульсов; Ч- частотомер или двухканальный осциллограф.

Для спектрального анализа вибросигналов использовалось дискретное преобразование Фурье.

Усовершенствованная конструкция типового датчика виброускорений, построенного на пьезокерамике ЦТС19. показана на рис. 3.

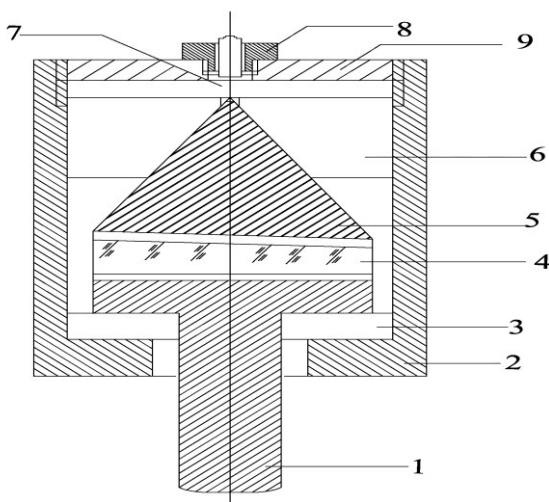


Рис.3. Акустический датчик

1. Входной волновод датчика
2. Корпус датчика
3. Виброизоляционная прокладка
4. Пьезокерамическая шайба (датчик)
5. Ультразвуковая ловушка
6. Вибрационная прокладка
7. Вывод электрического сигнала
8. Сальниковое уплотнение
9. Крышка датчика

Наличие смазки в соединении «кольцо-штулка» варьировалось от толстого слоя с изотропными свойствами до ее полного отсутствия, при котором возникал адгезионный контакт.

При проведении исследований были получены частотные характеристики, которые можно принять за эталонные ввиду отсутствия вибраций и шумов имеющихся на судовом дизеле.

Установлено следующее.

Регистрация акустического сигнала с частотой $0 \div 100$ Гц означает, что техническое состояние колец исправно.

При частичном нарушении смазывания на отдельных перемычках втулок частота сигнала увеличивается до $100 \div 200$ Гц. Однако площадь, занимаемая пленкой смазки с анизотропными свойствами на много превышает площадь контакта с сухим трением, поэтому в данном случае схватывания не наблюдается и вмешательства в процесс эксплуатации не требуется.

Появление частоты $200 \dots 300$ Гц (рис.4) свидетельствует об отсутствии пленки на отдельных перемычках, что требует выработки сигнала на увеличение подачи смазки. Очевидно, это связано с продувкой, при которой пленка смазки частично сдувается.

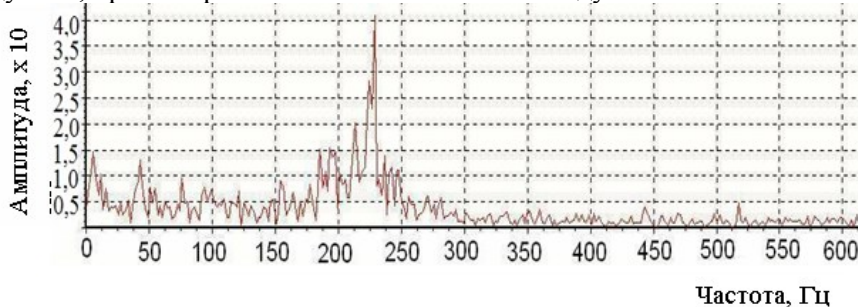


Рис.4. Амплитудно-частотная характеристика сигнала при нарушении смазки на отдельных перемычках.

Сигнал частоты 300÷500Гц (рис.5) соответствует тяжелому режиму граничного трения с адгезионным схватыванием поршневых колец и перемычек втулки цилиндра. Требуется дополнительное увеличение подачи масла, или снижением нагрузки на цилиндр на 25 %.

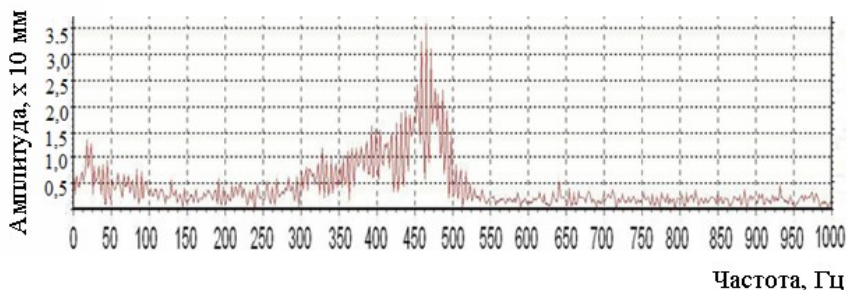


Рис.5. Амплитудно-частотная характеристика сигнала, соответствующая началу процесса схватывания при нарушении смазки на отдельных перемычках.

При появлении частоты сигнала 500÷1000 Гц (рис.6) происходит необратимая деструкция поршневых колец и перемычек втулки цилиндра. Получение сигнала о наступлении сухого трения позволяет своевременно увеличить подачу смазки, а в случае повторения сигнала вырабатывается сигнал на аварийную остановку двигателя.

Продолжение эксплуатации двигателя может привести к характерной в таком случае поломке поршневых колец.

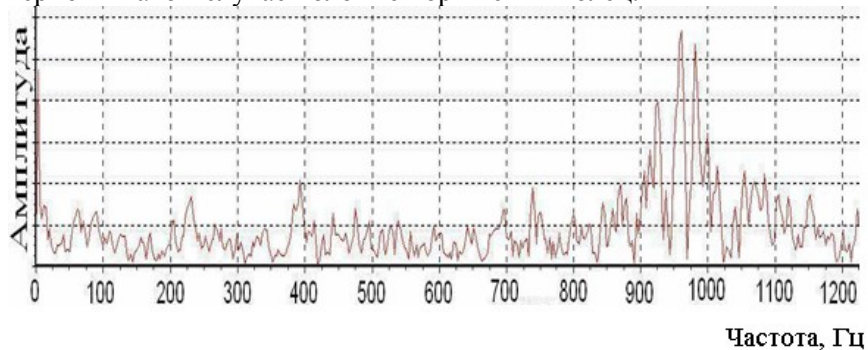


Рис.6. Амплитудно-частотная характеристика сигнала, соответствующая процессу схватывания.

Таким образом, акустический сигнал в результате его идентификации может быть использован:

- в системе автоматического управления подачи масла в цилиндр двигателя;
- в системе сигнализации при выработке сигнала о нарушении процессов смазывания;
- в системе защиты двигателя для исключения аварийных ситуаций в работе деталей ЦПГ.

Полученные результаты положенные в основу диагностической модели работоспособности поршневых колец при реализации квазикристаллических свойств смазочных материалов представленной на рис.7.

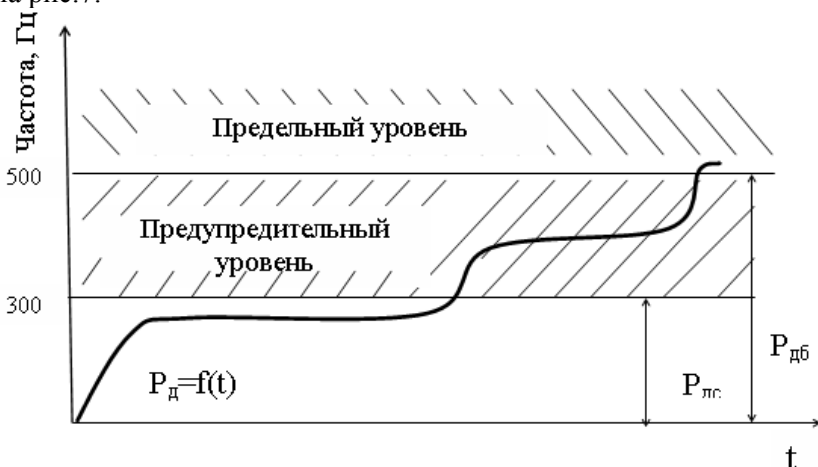


Рис. 7. Диагностическая модель технического состояния поршневых колец МОД.

Сравнивая полученные экспериментальные данные с расчетными, полученными в работе [5], видно, что экспериментальные данные подтверждают полученные теоретически.

Таким образом, система обеспечивает мониторинг технического состояния поршневых колец в моменты прохождения продувочных окон, когда в тонком слое цилиндровой смазки с анизотропными свойствами возникает расклинивающее давление, которое противодействует образованию адгезионного контакта между кольцом и перемычками втулки,

Выводы

1. Впервые разработана диагностическая модель технического состояния поршневых колец МОД, разделенных с втулкой тонким слоем смазки с анизотропными свойствами, используя методы вибродиагностики,
2. Экспериментально подтверждены теоретические результаты расчета акустической частоты сигнала при движении с малой скоростью кольца.
3. Установлен интервал частотных характеристик 0÷500 Гц, при которых система считается работоспособной. Сигнал с частотой до 500 Гц идентифицируется системой как диагностический, свыше 500 Гц - как опасный.
4. Установлены предупредительные и предельные уровни частотных характеристик требующих вмешательства оператора.
 - Интервал частот акустического сигнала 300÷500 Гц соответствует предупредительному уровню, соответствующего тяжелому режиму граничного трения с адгезионным схватыванием колец и перемычек втулки цилиндра. При поступлении такого сигнала требуется дополнительное увеличение подачи масла, или снижение нагрузки на цилиндр на 25 %.
 - Интервал частот 500÷1200 Гц соответствует предельному уровню. При этом происходит необратимая деструкция поршневого кольца. Вырабатывается сигнал на аварийную остановку двигателя.

Диагностическая модель технического состояния поршневых колец позволит повысить эффективность эксплуатации современных форсированных судовых малооборотных дизелей путем организации своевременного изменения смазки сопряжения «кольцо-втулка», а также предупреждения от аварийной ситуации.

Методика идентификации состояния поршневых колец при прохождении продувочных окон втулок прошла испытание на двигателе МАН В&W 7S 46MC-C мощностью 9170 кВт, производства 2006 года, на т/х «Seine Highwax», что подтверждено соответствующим Актом внедрения.

Перспективой развития виброакустической диагностики является применение современных аналого-цифровых преобразователей для ввода сигналов от датчиков в ПЭВМ, что позволит обрабатывать вибросигналы при помощи специальных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханмамедов С.А. Совершенствование функциональных свойств систем смазывания судовых энергетических установок. Дисс. докт. техн. наук, – Николаев; 1990 – с.672.
2. Hellingman, G.J. and Barrow, S.: “Shipboard investigations with Selected Fuels of Tomorrow”, CIMAC 1981, Helsinki.
3. Neate R.J. and Barrow S.: “*SIPWA-A* Shipowner’s Point of View”, New Sulzer Diesel Ltd, December 1990.
4. Слободянюк Д.И. Совершенствование методики идентификации состояния поршневых колец МОД на основе экспериментального исследования частоты акустического сигнала. //Проблемы техніки: Науково-виробничий журнал.–Одеса: ДиолПринт, 2012.№3.–С. 68-75.
5. Ханмамедов С.А., Слободянюк Д.И., Горюк А.А., Шақун К.С. Изотермы расклинивающего давления в структурированной пленке цилиндрического масла судового дизеля. //Проблемы техніки: Науково-виробничий журнал.–Одеса: ДиолПринт, 2011.–№1.–С. 90-101.
6. Слободянюк Д.И., Ханмамедов С.А. Экспериментальные изотермы расклинивающего давления в пленках цилиндрического масла и их применение для повышения надежности судового дизеля. //Проблемы техніки: Науково-виробничий журнал.–Одеса: ДиолПринт, 2011.–№2.–С. 136-147.
7. Слободянюк Д.И., Колегаев М.А., Слободянюк И.М. Расклинивающее давление в тонких пленках цилиндрического масла на чугунных поршневых кольцах судовых дизелей. //Проблемы техніки: Науково-виробничий журнал.–Одеса: ДиолПринт, 2013.–№2.–С.43-52.