

2.Гюлев Н.У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.01. – Х.: ХАДИ, 1993. – 174 с.

3.Вакуленко К.С. Вибір автотранспортного засобу на міському пасажирському транспорті: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Харківська національна академія міського господарства. – Харків, 2009. – 23 с.

*Получено 02.12.2010*

УДК 629.43

Л.М.КРУТИЙ, канд. техн. наук

*Харьковский учебно-консультационный комбинат*

Н.А.ГОЛТВЯНСКИЙ, канд. техн. наук, О.С.ГОРДИЕНКО

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТОЛЩИНОМЕРА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Исследована возможность применения ультразвукового толщиномера, используемого при выполнении технологического процесса дефектации, для измерения кавитационных разрушений гильз цилиндров дизельного двигателя при их диагностировании, а также рассмотрены пути повышения разрешающей способности этого толщиномера.

Досліджено можливість застосування ультразвукового товщиноміра, що використовується в технологічному процесі дефектації, для вимірювання кавітаційних руйнувань під час діагностування гільз циліндрів дизельного двигуна, а також розглянуто шляхи підвищення роздільної здатності цього товщиноміру.

Ultrasonic thickness-measure application possibility, which used for defekation technological process implementation, for measuring of cavitations destructions of diesel engine cylinders shells at their diagnosing is explored, and also the ways of this thickness-measure settling ability increase are considered.

*Ключевые слова:* дефектация, диагностирование, толщиномер, кавитация, гильза цилиндра, разрешающая способность прибора.

Дизельные двигатели являются самыми экономичными источниками получения механической энергии. Их используют как на транспорте, так и других отраслях производства.

В связи с расширением парка дизельных двигателей значительно возрастают требования к надежности и долговечности их работы. Одной из проблем на пути увеличения срока службы современных двигателей является защита деталей системы охлаждения от кавитационных разрушений, которые относят к основным дефектам в ремонтном производстве [1-3].

Кавитационные разрушения наиболее интенсивно проявляются на форсированных, быстроходных двигателях. Учитывая современную тенденцию к форсированию двигателей по среднему эффективному

давлению, следует ожидать, что проявление кавитационных разрушений гильз цилиндров будет являться одним из наиболее характерных дефектов. Дефекты концентрируются в виде язв воронкообразной формы диаметром до 10 мм и глубиной до 1,5 мм на боковой их поверхности в плоскости перекладки поршня [4, 5].

Анализ литературных источников показал, что недостаточная эффективность мероприятий по защите деталей системы охлаждения от кавитационных разрушений требует проведения диагностирования как при техническом обслуживании, так и перед проведением ремонта [2, 3]. Из анализа технической литературы, проспектов зарубежных фирм и патентных материалов известно, что для двигателей малого и среднего мощностного ряда неизвестны методы и средства определения кавитационных разрушений гильз цилиндров без разборки двигателей. Фирмы «MAN» и «Бурмейстр и Вайн» для тихоходных морских дизельных двигателей большой мощности применяют контактную ультразвуковую дефектоскопию гильз цилиндров без выемки из станин, но с демонтажем головки цилиндров и поршней. Поэтому создание методов и средств диагностирования гильз цилиндров дизельных двигателей и прогнозирование скорости их кавитационных разрушений является актуальным вопросом.

Анализ работ [6-10] свидетельствует, что для диагностирования гильз цилиндров можно использовать параметры методов неразрушающего контроля, используемые при дефектации, в частности, скорость распространения упругих волн в различных структурных направлениях, диэлектрическую и магнитную проницаемость, коэффициенты теплопроводности, теплоизлучения и теплопередачи, спектральный анализ продуктов износа, радиоактивацию деталей. Учитывая специфику изготовления и работы гильз цилиндров двигателя, на наш взгляд, наиболее удобно в данном случае использовать в качестве диагностического параметра протекающие в металле гильз цилиндров упругие волны, которые могут быть возбуждены и определены импульсным ультразвуковым методом. Его эффективность обусловлена тем, что он позволяет диагностировать гильзу без непосредственного контакта с ее поверхностью и с односторонним доступом к ней [10-12]. Эта возможность и является основным фактором, снижающим трудоемкость технологического процесса диагностирования гильз цилиндров двигателя и прогнозирования скорости их кавитационных разрушений.

На разработку нового прибора, как правило, отводят время не более трех лет, это во-первых, а во-вторых – этот прибор должен быть унифицированным [10].

Исходя из этих требований, для диагностирования гильз цилиндров двигателя и прогнозирования скорости кавитационных разрушений целесообразно применять ультразвуковой эхо-импульсный специализированный толщиномер «Металл-8» с использованием иммерсионных пьезоэлектрических излучений акустических сигналов, который был разработан во ВНИИНК г.Кишинева [13-15]. Но при этом разработчикам данного прибора следует решить ряд специфических задач, среди которых наиболее важными являются поиск путей повышения разрешающей способности специализированных толщиномеров и выяснение необходимой и достаточной величины отражающей способности ультразвуковых колебаний от кавитационных язв на гильзе цилиндров двигателя.

Разрешающая способность прибора – это минимальное расстояние между двумя кавитационными язвами или их удаление от поверхности отражения «данных» или «поверхностных» эхо-сигналов и их минимальные геометрические размеры, при которых эхо-сигналы могут быть определены раздельно.

В [14] изложены основные пути повышения разрешающей способности ультразвуковых эхо-импульсных приборов. Но так как на амплитуду эхо-сигналов оказывают влияние большое количество факторов, то определение отражающей способности ультразвуковых колебаний от кавитационных язв на гильзе необходимо устанавливать экспериментально, используя для этого изготовленный (рис.1) из реальной гильзы цилиндров дизельного двигателя 3Дб специальный образец. Для снижения уровня помех, которые могут создавать отложения накипи и продукты химического разрушения гильз на наружной ее поверхности, верхний слой гильзы был подвергнут обработке на токарном станке.

Специальный образец гильзы цилиндра двигателя затем был испытан при помощи ультразвукового эхо-импульсного толщиномера "Кристалл-16" с пьезоэлектрическими ультразвуковыми излучателями, имеющими различные формы диаграмм излучения. В результате измерений было установлено, что при использовании головок, выполненных по совмещенной схеме с широкой диаграммой излучения, наблюдалось сильное рассеивание ультразвуковых волн конусообразными кавитационными язвами.

Это рассеивание приводит к высвечиванию на экране цифрового табло одних нулей, что соответствует бесконечно большому расстоянию, т.е. соответствует уходу эхо-сигнала за зону измерений.

Наблюдение за формой кавитационных язв показало, что они не имеют явно выраженного конуса, а имеют притупленную вершину.

Последнее дает определить расстояние до вершины кавитационной язвы, применяя пьезоизлучатели с острой диаграммой излучения сигналов. Это было подтверждено при испытании специального образца, вырезанного из гильзы дизеля ЗДб, прибором «Металл-8», снабженным совмещенной испытательной головкой с узкой диаграммой излучения (диаметр излучаемого конуса ультразвуковых волн менее 2 мм) и с повышенной собственной частотой пьезоэлемента до 10 МГц. Это еще раз подтверждает правильность решения о применении прибора «Металл-8» для создания аппаратуры раннего обнаружения кавитационных разрушений гильз цилиндров дизельных двигателей.

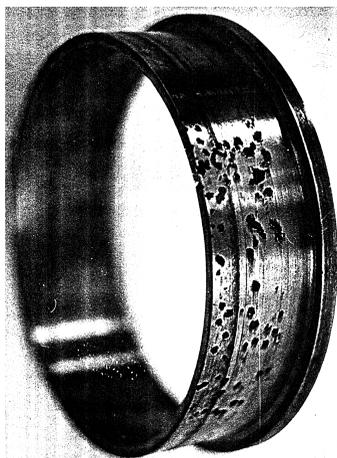


Рис.1 – Образец со следами кавитационных разрушений, вырезанный из гильзы цилиндра дизеля ЗДб

Из проведенных испытаний специального образца гильзы с кавитационными разрушениями ультразвуковыми эхо-импульсными толщиномерами «Кристалл-16» и «Металл-8» вытекает, что необходимо иметь как можно более узкую диаграмму излучения ультразвуковых сигналов.

Основные размеры иммерсионной совмещенной головки пьезоизлучателя в радиальном направлении гильзы цилиндра дизеля семейства Дб определяются с учетом диаметра цилиндра ( $D = 150$  мм) и основных геометрических соотношений гильзы. Удаление от оси цилиндра до пьезоэлемента  $L_{конст}$ , как показано на рис.2, выбирается из конструктивных особенностей сканирующей головки [14]

$$L_{конст} = 17 \text{ мм.}$$

Толщина пьезоэлемента, изготовленного из пьезокерамики ЦТС – 19  $l_{изл} = 3$  мм, а диаметр  $D_{изл} = 5$  мм.

Ультразвуковая линия задержки  $l_{лз}$  выполнена из алюминия.

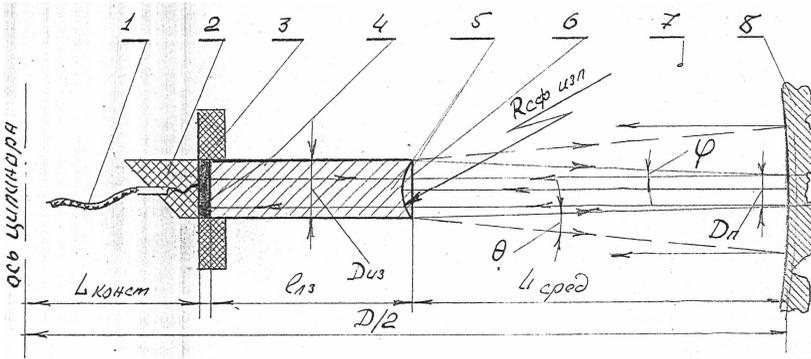


Рис.2 – Конструктивная схема пьезоэлектрического излучателя:

1 – провод, 2 – механический демпфер, 3 – конус-держатель, 4 – пьезоэлемент, 5 – линия задержки из алюминия, 6 – акустическая линза, 7 – иммерсионная среда – моторное масло МС – 20, 8 – гильза цилиндра дизеля, пораженная кавитацией.

Суммарное расстояние от гильзы до пьезоэлемента  $L_{из}$  равно

$$L_{изл} = D/2 - (L_{констр} + l_{изл}) = 75 - (17 + 3) = 55 \text{ мм.}$$

Из условия кратности времени сигналов:

$$\begin{cases} \frac{t_{сред}}{t_{лз}} = \frac{2(L_{сред}/c_{сред})}{2(l_{лз}/c_{лз})} = n \\ \text{где } n = 1, 2, 3, \dots \\ t_{лз} \gg t_{см} = 2h_{см}/c_{см} \end{cases}$$

Здесь  $t_{сред}, t_{лз}, t_{см}$  – двойное время прохождения сигнала в иммерсионной среде, линии задержки и в стенке гильзы;  $L_{сред}, l_{лз}$  – длина пути прохождения сигнала в масле, и в линии задержки;  $h_{см} = 8$  – толщина стенки гильзы;  $c_{сред} = 1477$ ,  $c_{лз} = 6260$ ,  $c_{см} = 5700$  – скорость распространения ультразвука в масле, алюминии и в стали;  $n = 1, 2, 3, \dots$  – кратность времени (целое число раз).

Очевидно при  $n = 4$ :

$$l_{лз} = \frac{L_{лз} c_{лз}}{c_{лз} + n c_{сред}} = \frac{55 \cdot 6260}{6260 + 4 \cdot 1477} = 28,27 \text{ мм};$$

$$t_{лз} = 2 \frac{l_{лз}}{c_{лз}} = \frac{2 \cdot 28,27}{6260 \cdot 10^3} = 9 \text{ мкс};$$

$$t_{см} = 2 \frac{h_{см}}{c_{см}} = \frac{2 \cdot 8}{5700 \cdot 10^3} = 3 \text{ мкс},$$

т.е. выполняется условие  $t_{лз} > t_{см}$  в три раза.

Половина угла раствора конуса  $\Theta$ , в котором полностью концентрируется энергия, излучаемая линией задержки при ее выполнении, равной диаметру пьезоэлемента с плоским торцом излучения:

$$\Theta = \arcsin 1,22 \frac{C_{сред}}{f_0 D_{изл}} = \arcsin 1,22 \frac{1,477 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^7} = 2,065^{\circ},$$

где  $f_0 = 10^7$  Гц – собственная частота пьезоэлемента;  $D_{изл} = 5$  мм – диаметр линии задержки равной диаметру пьезоэлемента.

Расстояние от поверхности излучателя до внутренней стенки гильзы  $L_{сред}$  равно:

$$L_{сред} = L_{лз} - l_{лз} = 55 - 28,27 = 26,73 \text{ мм}.$$

При заданном диаметре пучка ультразвуковых лучей на внутренней поверхности гильзы равном  $D_n = 1,5$  мм, угол сужения ультразвукового луча должен быть:

$$\varphi = \arctg \frac{D_{изл} - D_n}{2L_{сред}} = \arctg \frac{5 - 1,5}{2 \cdot 26,73} = 3,75^{\circ}.$$

Тогда линия задержки должна иметь ультразвуковую линзу с радиусом сферы  $R_{сф.изл.}$  равным :

$$R_{сф.изл.} = \frac{D_{изл}}{2 \sin \varphi} = \frac{5}{2 \sin 3,75^{\circ}} = 38,22 \text{ мм}.$$

Для уточнения полученных теоретических расчетов была собрана схема (рис.3) из генератора измерительных импульсов Г5-13, осциллографа С1-31, системы согласования на диоде V и омическом резисторе R. Исследуемый образец гильзы помещался в ванну, заполненную моторным маслом МС-20, в нее же вводился пьезоизлучатель при помощи координатного устройства. Результаты опыта дали уточненные

данные:

- длина линии задержки  $l_{лз} = 28,25$  мм;
- радиус сферы поверхности излучения  $R_{сф.изл.} = 39,50$  мм.

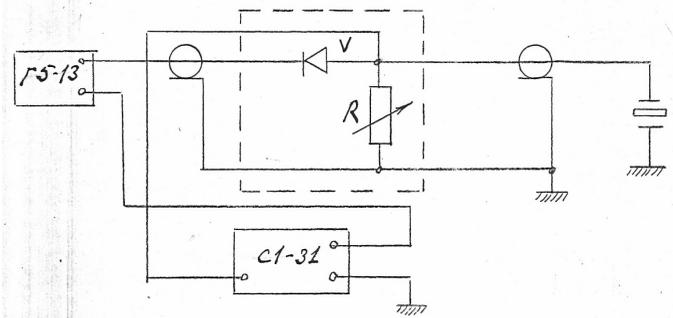


Рис.3 – Схема соединения приборов

Таким образом, для раннего обнаружения, диагностирования и прогнозирования технического состояния гильз цилиндров дизелей до уровня кавитационных разрушений можно использовать специальные иммерсионные ультразвуковые эхо-импульсные толщиномеры. Для получения достоверных данных о кавитационных разрушениях гильз необходимо принять ряд мер по повышению разрешающей способности ультразвуковых эхо-импульсных толщиномеров:

- сочетание электрического и механического демпфирования пьезоэлемента, снабженного алюминиевой линией задержки, и регулируемого усиления двухканальных однополярных усилителей "поверхностных" и "донных" эхо-сигналов;
- выбор острой диаграммы направленности совмещенной ультразвуковой головки, у которой пьезоэлемент имеет собственную частоту  $10^7$  Гц;
- обеспечение зондирующих импульсов генерирования однополярных одиночных импульсов с амплитудой свыше 50 В и крутизной переднего фронта не менее 20 нс. Кроме того предусмотрена отсечка возможных положительных полувольт при возникновении колебательного процесса;
- применение двух видов измерения толщины стенки гильзы цилиндра по "поверхностному" и по первому "донному" или по первым двум "донным" эхо-сигналам;
- вынос зоны измерений за "мертвую зону" и специальная схема в блоке синхронизации для отстройки от помех в районе начала шкалы

измерений;

- использование толстого пьезоэлемента из пьезокерамики ЦТС-19;
- оптимальное сочетание параметров излучателя, иммерсионной среды и объекта измерения.

1. Далека В.Х., Голтвянский М.А. Ремонт рухомого складу міського електротранспорту. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 308 с.

2. Балабанов В.И. Повышение долговечности двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники реализацией избирательного переноса при сгорании. – М.: Моск. агроинженерный ун-т им. В.П.Горячкина, 1999. – 305 с.

3. Зайцев В.О. Удосконалення технології контролю та діагностування гільз циліндрів тепловозних дизелів. – К.: Наук. думка, 2001. – 156 с.

4. Основы технической диагностики / Под ред. П.П.Пархоменко. – М.: Энергия, 1986. – 464 с.

5. Палипанов И.С. Защита системы охлаждения дизеля от кавитационных разрушений. – Л.: Машиностроение, 1988. – 152 с.

6. Иванченко Н.Н. и др. Кавитационные разрушения в дизелях. – Л.: Машиностроение, 1980. – 154 с.

7. ГОСТ 20911-85. Техническая диагностика. Основные термины и определения. – М.: Госстандартиздат, 1985. – 16 с.

8. Мозгалевский Н.А. и др. Техническая диагностика. – М.: Высш. шк., 1975. – 368 с.

9. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Р.Шарпа. – М.: Мир, 1985. – 494 с.

10. Контроль качества продукции машиностроения / Под ред. А.Э.Артеса. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 447 с.

11. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение, 1971. – 224 с.

12. Шрайбер Д.С. Ультразвуковая дефектоскопия. – М.: Металлургия, 1975. – 391 с.

13. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия. – М.: Металлургия, 1974. – 240 с.

14. Королев М. В. Эхо-импульсные толщиномеры. – М.: Машиностроение, 1980. – 111 с.

15. Ультразвуковой толщиномер для измерения толщины стенок штырьковых лопаток газотурбинных двигателей. – Кишинев: ТО ВНИИНК, 1987. – 17 с.

*Получено 13.01.2011*

УДК 629.427

А.А.ВЕРХУША

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ВОПРОСЫ ЛИКВИДАЦИИ ПРОЦЕССА БУКСОВАНИЯ РЕЛЬСОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Рассматривается вопрос повышения сцепных свойств подвижного состава и ликвидации процесса буксования колёсных пар.

Розглядається питання підвищення зчпних властивостей рухомого складу і ліквідації процесу буксування колісних пар.