

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Инженерно-технологического института

Гринь А.М.
Кирдищев Д. В.

ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ФОРСУНОК

Методическое пособие
для студентов инженерно-технологического института,
осваивающих образовательные программы бакалавриата
по направлениям подготовки: 35.03.06 Агроинженерия,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Брянская область 2024

УДК 621.45.034.3 (076)

ББК 31.365

Г 85

Гринь, А. М. Вибродиагностирование дизельных форсунок: методическое пособие для студентов инженерно-технологического института, осваивающих образовательные программы бакалавриата по направлениям подготовки: 35.03.06 Агроинженерия, 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы / А. М. Гринь, Д. В. Кирдищев. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2024. – 41 с.

Учебное пособие предназначено для практической и самостоятельной работы студентов по дисциплине «Диагностика и техническое обслуживание машин», для студентов высших учебных заведений квалификации бакалавр по направлениям подготовки 35.03.06 Агроинженерия, 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы.

Рецензенты: профессор кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор А.И. Купреенко;

и.о. заведующего кафедрой технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, к.т.н. доцент И.П. Адылин.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского ГАУ, протокол № 9 от 26 апреля 2024 года.

© Брянский ГАУ, 2024

© Гринь А.М.

© Кирдищев Д. В.

Содержание

Введение	4
1. Система технического диагностирования дизельных двигателей.	5
2. Способы технического диагностирования дизельных форсунок.	8
2.1. Диагностирование по общему уровню вибрации	10
2.2. Метод ударных импульсов	11
2.3. Пик-фактор	12
2.4. Диагностика по спектру огибающей сигнала	13
3. Принцип работы дизельной форсунки	15
4. Контроль работоспособности форсунок при использовании пресс-насоса (ДД-2122).	20
5. Контроль работоспособности форсунок на компьютерном стенде типа CR-305.	25
6. Измерения виброакустических характеристик форсунок на работающем двигателе.	30
7. Построение диагностической модели дизельных форсунок.	33
Список литературы	39

Введение

В современной промышленности наблюдается тенденция к увеличению размеров, сложности и производительности машинного оборудования, вследствие чего возрастают капитальные затраты на его приобретение, ремонт и техническое обслуживание. Это привело к повышению интереса к таким схемам технического обслуживания, которые обеспечивают максимальное время бесперебойной эксплуатации, поскольку простой оборудования приводит к значительным убыткам из-за потерь продукции.

Кроме того, при применении традиционного подхода к проведению технического обслуживания, заключающегося в эксплуатации машины до отказа, затраты на замену узлов оборудования, вышедшего из строя в результате аварии, значительно превышают стоимость ремонта или технического обслуживания тех же узлов.

Единственным действенным решением проблемы увеличения времени бесперебойной эксплуатации является внедрение современного метода обслуживания по техническому состоянию, при котором безразборный контроль параметров состояния, машинного оборудования обеспечивает проведение ремонта только в случае его необходимости.

Описание технического состояния машинного оборудования может осуществляться путем измерения, анализа и контроля характеристик вибраций, возникающих в процессе работы любых машин, поскольку ухудшение их состояния сопровождается увеличением уровня вибраций

1. Система технического диагностирования дизельных двигателей

Согласно ГОСТ 20911-89 **система технического диагностирования** (контроля технического состояния) – совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным в технической документации.

От каждого компонента системы и взаимодействия между ними зависит надежность и эффективность системы.

Средства технического диагностирования (СТД) – это технические устройства, предназначенные для измерения текущих значений диагностических параметров.

В общем случае любое СТД состоит из следующих элементов (блоков):

- источник воздействия - датчик, каналы связи
- усилитель и преобразователь сигнала (устройство согласования)
- блоки измерения, расшифровки и регистрации (записи) диагностического параметра блок накопления и обработки информации (персональный компьютер или ноутбук)

Классифицировать средства технического диагностирования можно по ряду признаков, определяющих их назначение, задачи, структуру и состав технических средств:

– по степени охвата объекта диагностирования системы технического диагностирования разделяются на локальные и общие. Под локальными понимают СТД, решающие одну или несколько задач диагностирования – определение дефекта или прогнозирования. Общие СТД решают все поставленные задачи;

– по принципу взаимодействия средств диагностирования с объектом диагностирования системы технического диагностирования подразделяются на системы с функциональным диагнозом и системы с тестовым диагнозом. Системы, в которых информация о техническом состоянии объекта поступает в процессе его нормального функционирования называются системами рабочего диагностирования, а когда информация о техническом состоянии объекта по-

ступает в процессе подачи на объект специальных тестовых сигналов называются системами тестового диагностирования;

– по используемым средствам системы технического диагностирования можно подразделить на: на системы с универсальными СТД (например, универсальные информационно-измерительные комплексы в комбинации со специальным ПО); системы со специализированными средствами (стенды, имитаторы, специализированные СТД); системы с внешними средствами, в которых СТД и ОД конструктивно отделены друг от друга; системы со встроенными средствами, в которых ОД и СТД конструктивно представляют одно изделие;

– по степени автоматизации системы технического диагностирования можно подразделить на: автоматические, в которых обработка и получение информации осуществляются без участия человека по заранее разработанной программе; автоматизированные, в которых получение и обработка информации осуществляются с применением средств автоматизации и участием человека; ручные (неавтоматизированные), в которых получение и обработка информации осуществляются человеком-оператором;

-по мобильности СТД подразделяются на стационарные, встроенные и переносные (передвижные): специальные СТД, как правило, являются переносными или стационарными; штатные, могут быть как переносными, так и встроенными.

Структурная схема классификации средства диагностирования представлена на рисунке 1.

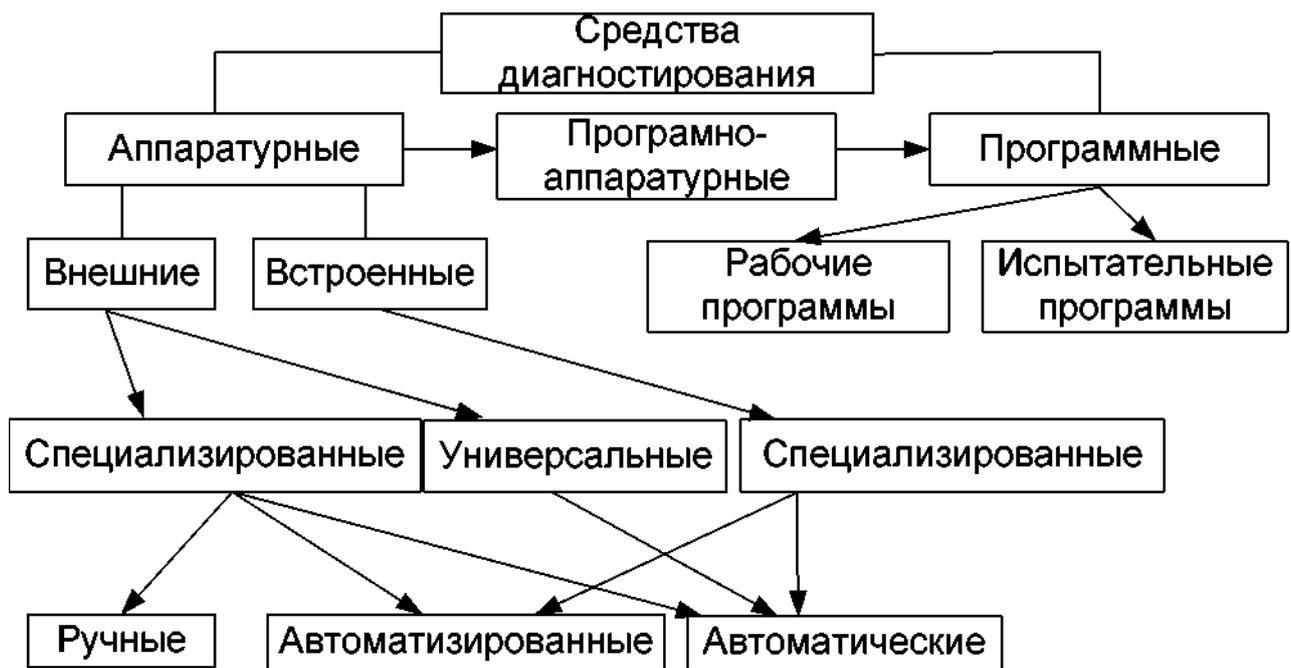


Рис. 1 - Структурная схема классификации средств диагностирования

2. Способы технического диагностирования дизельных форсунок

Вибродиагностика, занимающая особое место среди существующих методов, решает вопросы прогноза и оценки технического состояния оборудования.

Наиболее эффективным и широко применяемым методом повышения надежности оборудования является метод вибродиагностики.

Вибродиагностика – метод неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров вибрации для определения состояния оборудования.

Большой объем информации, полученной при диагностировании, отсутствие влияния на работу оборудования при проведении измерений являются основными причинами применения вибродиагностики.

Вибрация высокочувствительна к изменению технического состояния объекта этим обусловлено использование ее в качестве диагностического параметра.

При диагностировании оборудования с вращающимися частями, как следует из отечественного и зарубежного опыта, эффективность контроля по вибропараметрам составляет 77 %.

В основе диагностики оборудования по параметрам механических колебаний лежат два утверждения:

1. Все работающее оборудование вибрирует, что связано с неточностью изготовления, сборки, монтажа;

2. Вибрационные процессы вращающегося оборудования несут в себе полную информацию о характере дефекта, его локализации и степени развития.

Носителем информации о состоянии оборудования в вибродиагностике является виброакустический сигнал, который является собирательным понятием, включающим информацию о колебательных процессах и акустическом шуме.

Выявление информативных диагностических признаков дефектов из вибродиагностического сигнала по которым строятся эталоны исправного и неисправного состояний и принимаются решения о принадлежности текущего состояния объекта диагностирования к тому или иному состоянию является наиболее сложно формализуемой задачей при разработке методик контроля и диагностирования.

В настоящее время разработаны различные методы обработки вибрационных сигналов. Выбор метода анализа и эффективное его применение – основная задача вибрационной диагностики.

Использование вибродиагностики, контроля и мониторинга состояния оборудования позволяет: выявить и локализовать дефект, определить причины и условия его возникновения, снизить интенсивность проявления дефекта при наиболее ответственных режимах работы, разработать и внедрить мероприятия по устранению дефекта, проконтролировать их эффективность и оценить экономическую выгоду ранней диагностики.

Основным недостатком вибродиагностирования является определение ложного дефекта, что влечет за собой возможность досрочного вывода оборудования из эксплуатации. Стоит отметить, что вибродиагностика проводится в условиях неполноты информации о дефекте, причинах его возникновения и факторах, влияющих на его развитие, особенно на начальном этапе построения систем диагностирования, поэтому необходим компромисс между пропуском дефекта или ошибочным заключением о неисправности объекта диагностики и необоснованным выводом оборудования из эксплуатации. Для уменьшения ошибок при вибродиагностировании следует последовательно корректировать алгоритм диагностирования при накоплении достаточного количества информации о дефектах оборудования, уточнять параметры перехода оборудования из нормального режима в предаварийный режим. Возможна экономическая неэффективность систем диагностирования при небольшом парке эксплуатируемых изделий, так как построение подобных систем требует трудоемких и сложных исследований при разработке методик диагностирования объекта с целью определения его технического состояния, что, безусловно, не относится к высокоэнергетическим объектам, где отказ оборудования может грозить катастрофическими последствиями.

2.1. Диагностирование по общему уровню вибрации

Способ диагностирования по общему уровню вибросигнала можно отнести к простейшим способам оценки общего технического состояния.

Основным достоинством данного способа является использование вибромеров простейшей конструкции используемых обслуживающим персоналом без специальной вибродиагностической подготовки.

Определение дефектов на последней стадии их развития является основным недостатком диагностирования по общему уровню, иными словами -это предаварийное диагностирование дефектов.

В данном способе критерии развития дефекта привязаны к определенным нормативным уровням вибрации, соответствующим определенному механизму. Решение о необходимости дальнейшей эксплуатации механизма принимается при превышении вибрации допустимых значений.

При превышении общепринятой нормы вибрации, механизм признается дефектным.

Оценка общего уровня вибрации, как правило, осуществляется по среднеквадратичному значению виброскорости. Пересчет виброскорости должен производиться с учетом сложения всех гармонических составляющих.

Диагностические параметры должны быть однозначны, стабильны и информативны только при этих условиях достигается необходимая достоверность диагностирования. К диагностическим параметрам можно отнести: мощность, расход топлива, вибрация, шум, свободный ход, биение, люфт, зазор. [

Учитывая высокие требования к надежности топливной аппаратуры, этих данных явно недостаточно для распознавания ранних стадий тех или иных дефектов и для осуществления динамики развития тренда изменения её фактического технического состояния. Очевидно, что комплексный анализ результатов штатного контроля в сочетании с данными виброакустического контроля позволит значительно повысить достоверность текущей оценки фактического технического состояния топливной аппаратуры и своевременно предотвратить

наступление внезапного отказа. В свою очередь ведение базы данных текущего фактического состояния топливной аппаратуры позволит осуществлять своевременное и качественное её целевое техническое обслуживание и ремонт. Комплексный подход использования методов контроля технологических параметров в сочетании с современными методами и средствами виброакустической диагностики в процессе эксплуатации топливной аппаратуры позволит:

- выявлять дефекты на ранних стадиях развития;
- определять тенденции состояния;
- прогнозировать состояние топливной аппаратуры.

2.2. Метод ударных импульсов

Назначение ударных импульсов – определение состояния подшипников качения и качество их смазки у электродвигателей, насосов, сепараторов, вентиляторов, турбокомпрессоров для наддува дизелей и т. д. Метод ударных импульсов используется для оценки состояния топливных насосов высокого давления и форсунок дизелей, клапанов поршневых компрессоров. Метод также используется для оценки срывных явлений и кавитации в различных типах насосов.

Столкновение двух тел вызывает механические ударные волны на их измерении и регистрации основан метод ударных импульсов. Волна сжатия, вызванная ускорением частиц материала в точке удара, распространяется в виде ультразвуковых колебаний. В начальной фазе удара заметной деформации не происходит, так как период времени столкновения тел мал.

На ускорение частиц материала оказывает влияние только скорость столкновения и не влияет соотношение размеров тел.

Мерой скорости столкновения двух тел является величина фронта волны. Во второй фазе удара энергия движения отклонит тело и вызовет в нем колебания, при этом поверхности двух тел деформируются.

Для измерения ударных импульсов используется пьезоэлектрический преобразователь, на который не оказывает влияние фон вибрации и шум. Пре-

образователь механически и электрически настроен на частоту резонанса датчика в 28÷32 кГц. Фронтальная волна сжатия, вызванная механическим ударом, возбуждает затухающие колебания в преобразователе, пиковые значения амплитуды которых прямо пропорциональны скорости удара. Затухающий переходный процесс можно отфильтровать от других сигналов вибрации, так как он хорошо определяется и имеет постоянную величину затухания. В основе метода ударных импульсов лежит измерение и анализ амплитуды ударного импульса. Величина ударных импульсов, генерируемых подшипником, увеличивается в 1000 раз, начиная с нового подшипника до его значительного повреждения, требующего замены. Для анализа таких больших значений используют логарифмическую шкалу в дБ, характеризующую абсолютную степень удара.

2.3 Пик-фактор

Для более глубокого анализа, следствием которого является выявление ранних стадий дефектов оборудования, систем и механизмов используется метод пик-факторного и спектрального анализа.

Метод имеет несколько примерно одинаковых по эффективности модификаций:

- HFD (High Frequency Detection) - обнаружение высокочастотного сигнала;
- SPM (Shock Pulse Measurement) - измерение ударных импульсов;
- SE (Spike Energy) - измерение энергии импульса.

Модификации позволяют выявить дефекты агрегатов на достаточно ранних стадиях, начиная с конца первого этапа развития. Для реализации метода применяются достаточно простые и дешевые приборы.

Пик-фактор - быстро рассчитываемый и удобный параметр, который позволяет пользователю определить количество ударных импульсов во временном сигнале. Эта информация полезна, тем более что не всегда может быть получена при анализе спектров, т. к. на спектрах отсутствуют различия между ударами и «белым шумом».

Пик-фактор определяется отношением амплитуды (максимального значения) сигнала к действующему (среднеквадратичному) значению сигнала:

$$П = \frac{A_{\max}}{A_{\text{СКЗ}}}$$

Превышение пик-фактором среднего значения для данной точки измерения требует поиска дефектов с использованием спектрального анализа. При анализе спектра выявляется наличие гармоник на частотах вращения валов, подшипников, шестерных деталей; оценивается тенденция роста или снижения гармоник, учитывается направление вибрации.

2.4 Диагностика по спектру огибающей сигнала

Спектр огибающей вибрации – узкополосный спектр огибающей, предварительно выделенных из полного сигнала, высоко частотных составляющих сигнала.

Метод диагностики по спектрам огибающих менее остальных подвержен помехам и в результате более достоверен при обнаружении дефектов на ранних стадиях.

Параметры спектра огибающей (частоты и амплитуды гармонических составляющих) позволяют определить свойства случайной вибрации, приобретающей амплитудную модуляцию из-за дефектов в узлах трения.

Уровень возбуждаемой случайной вибрации в бездефектных узлах стабилен во времени. При отсутствии дефектов спектр огибающей имеет только фоновые (случайные) составляющие с близкими по величине уровнями, т. к. в выбираемой третьоктавной полосе сигнал вибрации является стационарным случайным процессом. Гармонические составляющие в спектре огибающей вибрации таких узлов отсутствуют. Если силы трения и вибрация из-за дефекта приобретают амплитудную модуляцию, то частота модуляции определяет вид, а глубина модуляции - величину дефекта. В спектре огибающей они определяются частотами и амплитудами появившихся гармонических составляющих.

Дефект поверхности трения приводит к модуляции вибрации с определенной частотой. В спектре появляется ряд гармонических составляющих на частотах kf_i причем k может иметь как одно значение, например $k=1$, так и группу: $k=1, 2, 3, \dots$ Вид дефекта определяется частотой модуляции f_i и числом k обнаруженных гармонических составляющих.

Диагностирование цилиндропоршневой группы (ЦПГ) требует особого подхода, связанного с анализом огибающей сигнала вибрации. При работе дизеля циклически и в неизменном порядке повторяются следующие шесть событий: достижение поршнем внутренней мертвой точки, начало открытия выпускных окон, начало открытия впускных окон, закрытие выпускных окон, закрытие впускных окон, достижение наружной мертвой точки и начало впрыска топлива. Каждый поршень проходит ряд впускных и ряд выпускных окон.

С целью диагностики ЦПГ предлагается сравнение эталонной огибающей с усредненной огибающей сигналов вибрации. Под усредненной огибающей понимаются усредненные среднеквадратичные значения показаний по всем датчикам на периоде обращения вала. Сравнение предполагает наложение усредненной и эталонной огибающей. Выявленное при наложении несовпадение пиков является признаком неравномерности вращения коленвала. Несовпадение пиков в момент впрыска топлива является специфическим признаком отклонения фактического угла впрыска топлива (ФУВТ). Несовпадение пиков в моменты прохождения наружной и внутренней мертвых точек связывается с увеличением зазоров в сочленении поршень-шатун. Повышение амплитуды относительно среднего значения в моменты открытия и закрытия впускных или выпускных окон свидетельствует об износе поршневых колец. Выявляемые дефекты - отклонение ФУВТ, увеличение зазоров в сочленении, износ уплотнительных колец - однозначно на основании известной очередности событий связываются с конкретными цилиндрами.

3 Принцип работы дизельной форсунки

Форсунка предназначена для впрыска и распыливания топлива, подаваемого насосом высокого давления в цилиндр двигателя. Качество работы форсунки непосредственно влияет на протекание рабочего процесса в цилиндре и, как следствие, определяет показатели работы дизеля.

В автотракторных и комбайновых дизелях применяются закрытые форсунки с многодырчатыми распылителями различного конструктивного исполнения. Каждый из российских заводов по производству Та выпускает практически всю номенклатуру применяемых в отечественных дизелях распылителей.

В основном форсунки закрытого типа делят на многодырчатые и штифтовые. Форсунки с штифтовыми распылителями обычно устанавливаются на двигатели с разделенной камерой сгорания, с многодырчатыми - на двигатели с неразделенной камерой.

В корпусе штифтового распылителя имеется одно центральное отверстие, поэтому при подъеме иглы топливо впрыскивается через кольцевую щель, образуемую краями отверстия и шрифтом. При подъеме иглы многодырчатого распылителя топливо впрыскивается в камеру сгорания через сопловые отверстия, количество которых может достигать пяти и более.

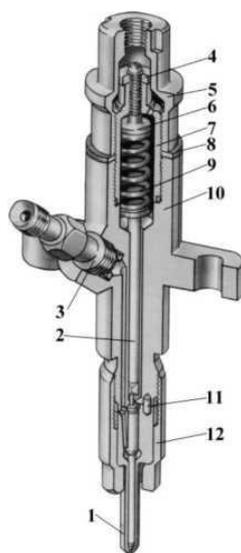


Рис. 2 - Форсунка: 1 - распылитель; 2 - штанга; 3 - штуцер подвода топлива; 4- контргайка; 5 - колпак форсунки; 6 - регулировочный винт; 7 - гайка пружины; 8 - пружина; 9 - упорная шайба; 10 - корпус форсунки; 11 - направляющая иглы; 12 - упорная шайба иглы.

жины; 8 - прокладка; 9 - пружина; 10 - корпус форсунки; 11 - штифты; 12 - гайка распылителя.

Основными деталями многодырчатой форсунки ФД-22 дизелей МТЗ и СМД (рис. 2) являются корпус 10 и распылитель 1 в сборе с иглой, удерживаемый гайкой 12. В нижней части распылителя имеются несимметрично расположенные сопловые отверстия, обеспечивающие равномерное распределение топлива в камере сгорания. В связи с несимметричностью отверстий корпус распылителя строго фиксируется относительно корпуса форсунки двумя штифтами 11. Доступ топлива к отверстиям перекрывается запорной иглой.

Сопряженные поверхности иглы и распылителя выполняют с высокой точностью обработки. Зазор между иглой и направляющей поверхностью распылителя не превышает 1.5...3 мкм. Для надежного уплотнения запорный конус седла в распылителе выполняют под углом 55°, а конус иглы — под углом 60°. Такое исполнение уплотняющих поверхностей иглы и распылителя позволяет обходиться без их взаимной притирки.

Запорная игла прижимается к седлу распылителя через штангу 2 пружиной 9. Верхний конец пружины опирается на регулировочный винт 4, который ввернут в стакан пружины, и удерживается в заданном положении контргайкой 10. На стакан сверху наверх колпак 5, служащий для отвода топлива из внутренней полости форсунки и ограничивающий доступ к регулировочному винту. Винтом 6 устанавливают натяг пружины 9, определяющий давление впрыска. Топливо к форсунке подводится через штуцер 3, который ввернут в резьбовое отверстие корпуса форсунки.

Топливо в кольцевую камеру подается по наклонному каналу. Когда нет подачи топлива насосом, давление в камере составляет 2.4 МПа. Оно давит на дифференциальную площадку иглы, но его сила меньше силы пружины 9, которая перекрывает распыливающие отверстия.

В момент подачи топлива насосом сила давления топлива на дифференциальную площадку иглы становится больше усилия пружины 9, игла под-

нимается и через образовавшуюся кольцевую щель топливо поступает к распыливающим отверстиям. Подъем иглы ограничен упором ее торца в корпус форсунки и составляет 0,2-0,28 мм. После прекращения подачи топлива насосом давление в кольцевой камере резко снижается и под действием пружины 9 игла прижмется запорным конусом к седлу распылителя, перекрывая распыливающие отверстия. Топливо, просачивающееся через зазор между иглой и распылителем, отводится через отверстие в колпаке 5 и сливной штуцер в топливный бак или фильтр тонкой очистки.

Прекращение (отсечка) подачи топлива должно быть резким, без повторного подъема иглы, в противном случае в конце впрыскивания топливо образует у выходных отверстий распылителя капли, которые, сгорая не полностью, вызывают его закоксовывание.

Давление начала впрыскивания топлива регулируется винтом 6. Обычно оно составляет для тракторных дизелей 17,5 МПа, автомобильных - 21 МПа, для дизелей выполняющих нормы токсичности Евро-2 - 24 МПа и выше.

Схемы конструкций форсунок отечественного и зарубежного производства приведены на рис. 3.

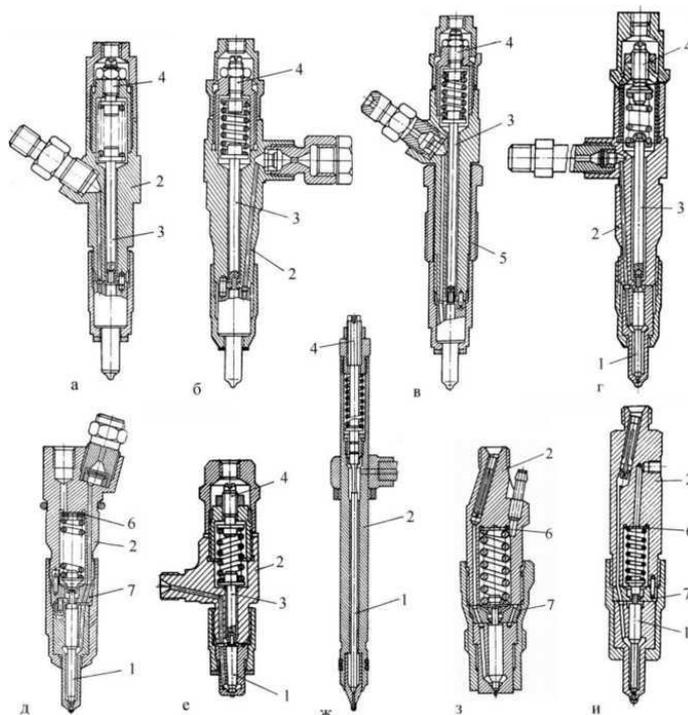


Рис. 3 - Форсунки: а - ФД-22; б - 6Т2; в - 6А1; г - ЯМЗ; д - КамАЗ; е - ФШ 6-2005; ж - фирмы Stanadyne; з, и - фирмы Bosch. 1 - игла распылителя; 2 - кор-

пус; 3 - штанга; 4 - регулировочный винт; 5 - гайка крепления; 6 - регулировочные прокладки; 7 - проставка

Отличия форсунок для других дизелей заключаются в расположении топливоподводящего штуцера и способе крепления их на двигатель. В форсунке 6А1 для дизелей Алтайского ТЗ (рис. 3 в) штуцер подвода топлива выполнен под углом 90° и имеет внутреннюю резьбу, а в форсунке 6Т2 для Владимирского ТЗ (рис. 3 б) - под углом 55° . На двигателе такая форсунка крепится специальной гайкой.

Форсунка серии 80 Ярославского МЗ (рис. 3 г) аналогична форсунке 6А1, но имеет удлиненный топливоподающий штуцер с резиновым сальником. Форсунка Б2СБ (ЯМЗ-240) отличается от базовой модели 236 расположением топливоподающего штуцера и наличием установочного штифта для ориентировки на двигателе.

Форсунка дизеля КамАЗ-740(рис. 3 д) крепится в гнезде головки цилиндра скобой, уплотнение осуществляется в верхнем пояске резиновым кольцом, а в нижнем пояске - стальным конусом и медной шайбой. Давление впрыска топлива форсунками двигателей КамАЗ-740, 741 в отличие от форсунок других марок регулируется изменением числа регулировочных шайб, устанавливаемых между пружиной и корпусом форсунки.

Штифтовые форсунки (рис. 3 е) чаще применяются в судовых дизелях и двигателях легковых автомобилей зарубежного производства. Обозначение штифтовых форсунок - ФШ6-2005, что означает: Ф - форсунка, Ш - штифтовая, 6 - диаметр направляющей цилиндрической поверхности иглы, 2 - диаметр штифта, 005 - угол при вершине конуса штифта распылителя.

Конструкции форсунок дизелей зарубежного производства (рис. 3 ж, з, и) отличаются весьма широким разнообразием. Диаметры гайки и иглы распылителя в них существенно меньше в сравнении с отечественными аналогами, а давление регулируется преимущественно прокладками.

В настоящее время идет тенденция к снижению диаметра направляющей

иглы распылителя, что позволяет снизить утечки топлива в зазорах между иглой и распылителем и уменьшить его габариты. Такие форсунки освоили Вильнюсский ЗТА «Курроаппаратура» для дизеля Д-245 и Алтайский ЗПИ для дизеля ЯМЗ-7511.

При сборке форсунки марка распылителя должна строго соответствовать типу двигателя, что необходимо для правильного соотношения между угловым расположением сопловых отверстий и камеры сгорания. Кроме того, различается также и ход иглы распылителя, который определяет его эффективное проходное сечение.

Габаритные размеры распылителей унифицированы для всех заводов, за исключением Челябинского ТЗ и зарубежных форсунок. Для правильного подбора распылителя в соответствии с моделью двигателя они имеют маркировку по ГОСТ 26828, содержащую:

товарный знак или условное наименование предприятия-изготовителя;
марку или обозначение (полное и (или) сокращенное);
дату изготовления (месяц, год - две последние цифры);
обозначение группы пропускной способности, если их разделяют на группы.

При ремонте форсунок особое внимание следует уделять состоянию торцовых поверхностей форсунки и распылителя, так как от них зависит герметичность топливной системы. При затяжке гаек распылителей не рекомендуется применять никаких усилителей на ключ. Гайки штифтовых распылителей затягивают с усилием 100...120 Н-м, многодырчатых - 70...80 Н-м, гайки пружины - 100...200 Н-м, колпак форсунки - 80...100 Н-м.

4. Контроль работоспособности форсунок при использовании пресс-насоса (ДД-2122)

В настоящее время в связи с повышением требований к качеству работы элементов топливной аппаратуры существенно жестче стали критерии оценки качества работы дизельных форсунок. Если ранее для проверки форсунок рекомендовали использовать простейшие приспособления и приборы типа эталонной форсунки с тройником или максиметр, то теперь необходимо применять специальные приборы отечественного или зарубежного производства.

Стенды для испытания форсунок могут быть оборудованы манометром или электронной индикацией давления и включать в себя колбу для сбора распыленного топлива с пневмоотсосом или отдельное приспособление для этого. Для проверки и регулировки двухпружинных форсунок используется приставка, создающая продолжительный импульс повышенного давления.

Согласно ГОСТ 10579 и РТМ 10.0062-00 качество распыливания топлива форсунок проверяется на устройствах (стендах) прокачкой топлива через форсунку, отрегулированную на заданное давление начала впрыскивания при частоте 60-80 впрыскиваний в минуту. Для проверки качества распыливания делают несколько впрысков топлива через форсунку. Струи должны быть симметричными в туманообразном виде и не отклоняться от заданного направления. Нужно обязательно сосчитать количество струй, при необходимости используя бумажный экран. В связи с увеличением числа и уменьшением диаметра сопловых отверстий растёт вероятность засорения сопел и возможность этого не заметить при испытаниях форсунки. Если из сопел выходят вялые струи ("усы"), значит, напора нет. Он теряется в конусе из-за затруднённого подъёма иглы. Возможно устранение дефектов путем прочистки сопел или восстановлением подвижности иглы.

Форсунки диагностируют по показателям герметичности, давления впрыска и качества распыливания топлива на приборах различного типа. Для испытания и регулировки форсунок по качеству распыливания и давлению

начала впрыскивания используют специальные приборы отечественного и зарубежного производства EPS 100 фирмы Bosch (Германия); ДД-2110 ОАО «Мопаз» (Россия); М-106Э Красноуфимского ОЭЗ (Россия)).



Рис. 4 - ДД-2110 ОАО «Мопаз» (Россия)

Принцип работы этих известных устройств в целом идентичен. В корпус вмонтирована плунжерная пара и клапан, обеспечивающие создание давления рабочей жидкости (за счет перемещения рукояти рычага), которое фиксируется манометром.

Форсунку устанавливают на прибор, заворачивают регулировочный винт и рычагом плунжерного насоса прибора доводят давление до 30 МПа, которое контролируют манометром. Наблюдают за снижением давления и замеряют время его уменьшения от 28 до 23 МПа.

Для новых форсунок время падения должно быть не менее 15...20 секунд, для подношенных – не менее 5 с.

Давления начала подъема иглы форсунки должно быть для легковых автомобилей 11...15 МПа, для грузовых – 16...22 МПа, причем большие значения устанавливаются для двигателей с турбонаддувом. После регулировки необходимо затянуть контргайку регулировочного винта и вновь проверить правильность регулировки на приборе. Проверка герметичности (по запорному конусу иглы) производится при выдерживании форсунки в течение 20 с под давлением $P=P_{\text{Фo}} - (1... 1,5 \text{ МПа})$, т.е. с максимальной разгрузкой конуса от запирающей

силы. Перед испытанием нужно сделать несколько энергичных впрыскиваний. При этом допустимо "потение", незначительное увлажнение носика, но не образование капли. Это испытание работавшие форсунки часто не выдерживают, что приводит к закоксовыванию внешних поверхностей распылителей.

Помимо сказанного, о затрудненном движении иглы свидетельствует отсутствие дробящего впрыскивания новой форсунки. При этом форсунка должна "звенеть" (точнее - скрипеть). Однако поработавшие форсунки с частично смятыми конусами, оставаясь еще работоспособными, не "звенят" (в этом - ошибочность требований ГОСТ). Другой признак малоподвижности - увлажнение носика распылителя после впрыскивания (он должен оставаться сухим, но может увлажняться также и из-за негерметичности запорного конуса). Наконец, рекомендован прямой контроль подвижности: игла, вынутая на 1/3 из распылителя, промытого в топливе и наклоненного по 45° к горизонту, должна свободно опускаться под действием тяжести.

Проведя исследования форсунок на стенде ДД-2110 ОАО «Мопаз» (Россия) показали, что физика работы форсунок на стенде и на работающем двигателе совершенно разная (рис. 5-7). Это обусловлено разным законом подачи топлива в форсунку. Чтобы на стенде создать необходимое давление топлива в форсунке нужно несколько раз нажать на ручку насоса. На работающем двигателе топливо в форсунку подается топливным насосом высокого давления за доли секунды. Поэтому на стенде не всегда можно в полном объеме выполнить регулировку форсунки.

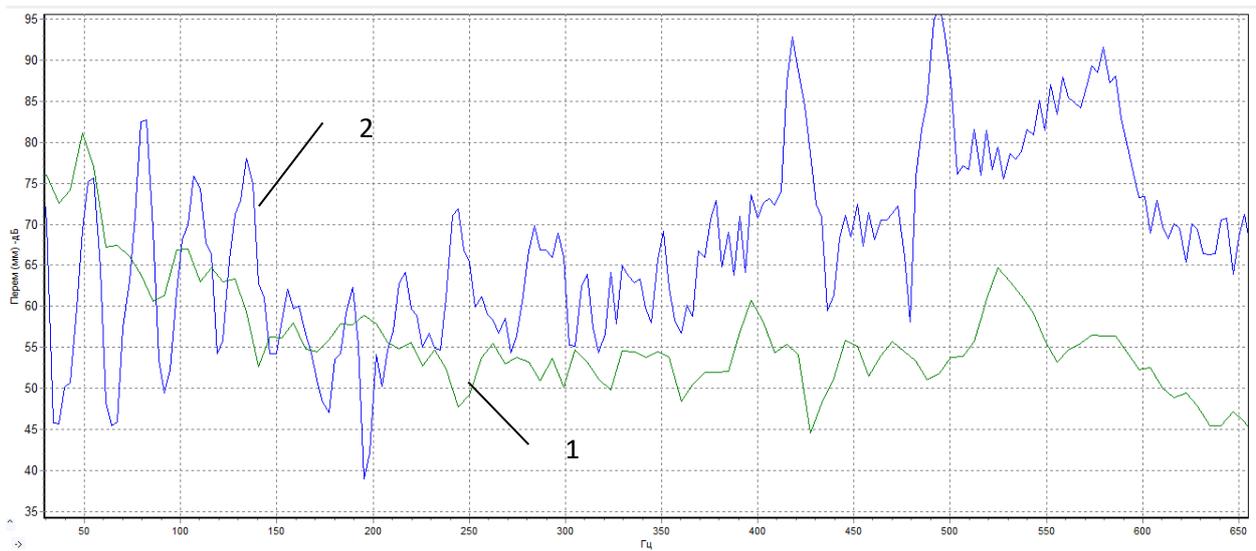


Рис. 5 - Спектр вибрации дизельных форсунок (1 зеленая - на ДД-2110 ОАО «Мопаз»; 2 синяя - на работающем двигателе, 700 об/мин (300 моточасов))

На работающем двигателе на спектре вибрации всегда четко прослеживаются информативные частоты работы форсунки. Тогда как на пресс насосе информативные частоты отсутствуют полностью, будь то абсолютно новая форсунка или форсунка предремонтного состояния.

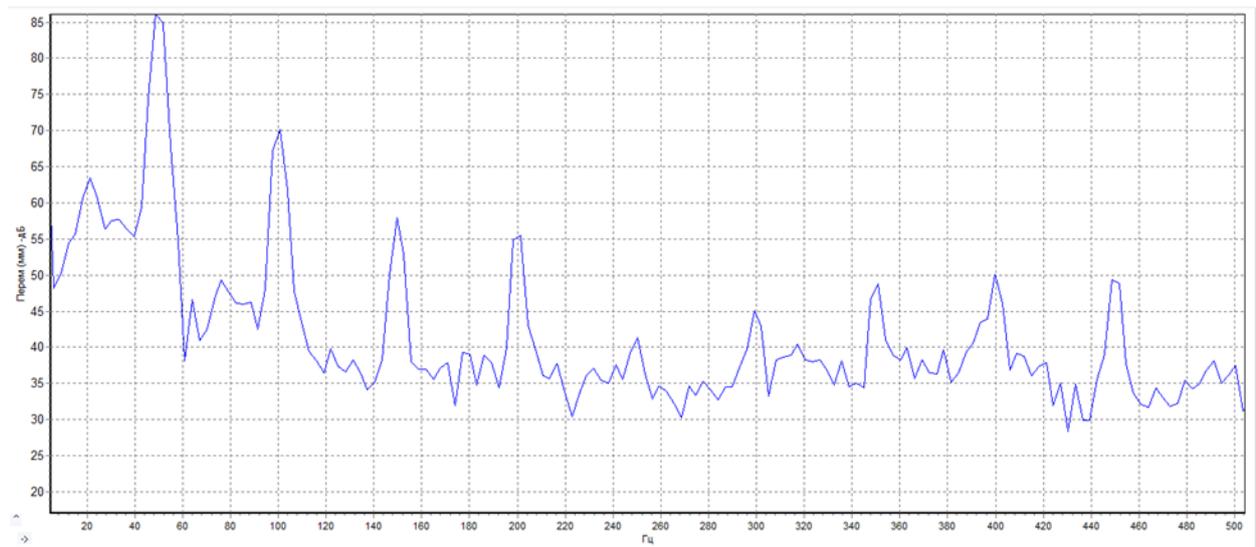


Рис. 6 - Спектр вибрации дизельной форсунки на пресс-насосе ДД-2110 ОАО «Мопаз», распыление отсутствовало, была капельная течь

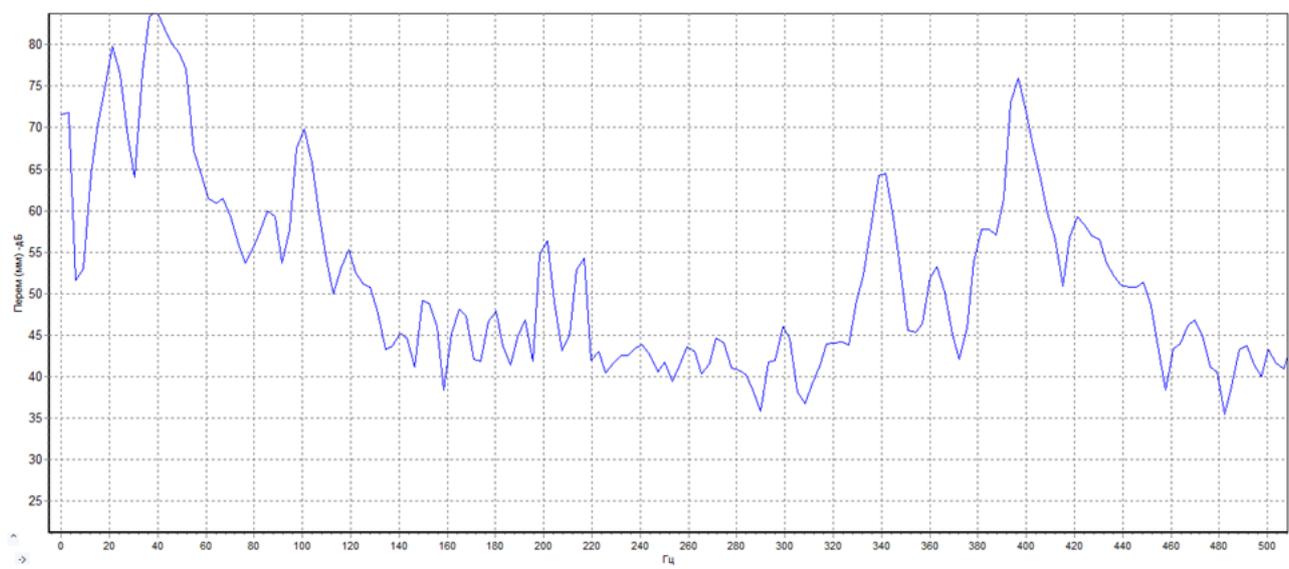


Рис. 7 - Спектр вибрации дизельной форсунки на пресс насосе ДД-2110
ОАО «Мопаз» с дробящим распылением

Из выше показанных спектров вибрации можно сделать вывод:

диагностирование на пресс насосе не дает полной информации о техническом состоянии форсунки.

5. Контроль работоспособности форсунок на компьютерном стенде типа CR-305

Для испытания электроуправляемых форсунок аккумуляторных топливных систем типа Common Rail применяется специальное оборудование. Особенности современных испытательных стендов для форсунок дизелей, в основном, состоят в цифровой регистрации результатов испытаний, возможности сопряжения с РС (ЭВМ) и соответствующей технологией протоколирования, хранения и вывода результатов, а также в возможности испытаний двухпружинных форсунок или иных форсунок, реализующих ступенчатое впрыскивание. Кроме того, большинство электронных стендов позволяют оценивать гидроплотность направляющей части распылителя по времени падения давления. Универсальный стенд НН-701 фирмы Hartridge (рис. 8) применим для упомянутых работ с любыми гидромеханическими форсунками (контроль визуальный, герметичности, гидроплотности, давления начала впрыскивания и др.). Максимальное давление, создаваемое прибором около 50 МПа. Возможна установка форсунок диаметром 17,8...33 мм. Предусмотрен принтер и связь с РС. Для проверки и регулировки форсунок со ступенчатой подачей используется приставка НН720, создающая продолжительный импульс повышенного давления.



Рис. 8 - Стенд НН-701 фирмы Hartridge

Электронная система регистрации расшифровывает записанную кривую и выводит на дисплей два уровня давлений срабатывания (например, по первой и по второй пружине).

Безмоторные топливные стенды для испытания CR появились в начале XXI в. и применимы для самой разнообразной дизельной аппаратуры. На испытательном стенде французской фирмы EFS частота вращения электродвигателя 1 привода ТНВД регулируется оператором, технологическая жидкость нагнетается в аккумулятор под давлением до 200 МПа. В соответствии с сигналами стендовой САУ, электрогидравлическая форсунка впрыскивает жидкость в камеру впрыскивания с поршневым измерителем. Для моделирования условий дизеля под поршень камеры подается азот под давлением до 10 МПа. По окончании измерений вытесненная жидкость за заданное число впрыскиваний позволяет оценить цикловую подачу. Работой стенда, оценкой измерений управляет ПЭВМ.

Работа форсунок обеспечивается генератором силовых импульсов, в свою очередь управляемым логическими сигналами системы управления. Напряжение его питания 10...35 В. В нем электронным способом подключаются до 6 конденсаторов емкостью $(10...20) \pm 0,01$ мФ для формирования форсирующего импульса. Напряжение их питания $100 \pm 0,1$ В.

Расходомер, механическая часть которого представляет камеру впрыскивания с измерительным поршнем, позволяет фиксировать величины единичных впрыскиваний и статистически усредненные их величины за заданное число циклов. Объем подач - от 0 до 600 мм³ с точностью измерения 0,6 мм³. Дифференцированная регистрация предварительной, основной и последующей фаз трехфазной цикловой подачи до 100 мм³ производится с точностью до 0,2%. Электронная система управления с монитором и клавиатурой предлагает пользователю меню в рамках дружественного интерфейса. Максимальная температура топлива 130°C. Цикличность впрыскиваний - 30.. 3000 мин⁻¹. Входные сигналы - стандартные TTL, выходные - 15В, чувствительность по подаче - 17,6 мВ/мм³, по характеристике впрыскивания - 6 мВ/(мм³/с).

Регулятор стенда независимо управляет работой клапанов давления и расхода ТНВД системы Common Rail. Тарировка измерений производится сбросом и измерением объема 1000 цикловых подач и осуществляется без перемон-

тажа ЭГФ. Тарировочное устройство с электронными весами собирает до 1510 г топлива с точностью 0,02 г.

Стенд CR-305 (рис. 9) мало похож на традиционные безмоторные, отличается компактностью, мощностью и функциональностью. К достоинствам стенда относят универсальность (возможно испытание и традиционных систем), удобство работы и управления, модульность, стабильность частоты вращения вала, выносной пульт, подсветка.



Рис. 9 - Стенд CR-305

Стандартный тест состоит из шести последовательных шагов, во время которых производится тестирование форсунки на всех режимах работы, после чего формируется итоговый отчет.

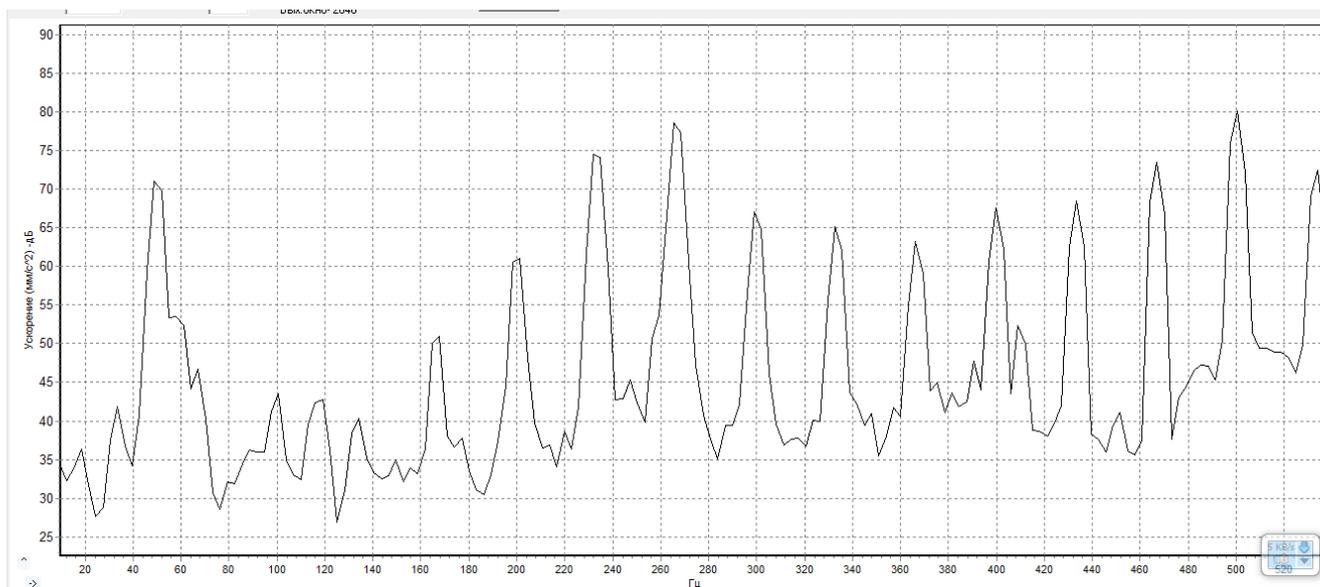


Рис. 10 - Спектр вибрации дизельной форсунки на стенде CR-305 (режим холостого хода)

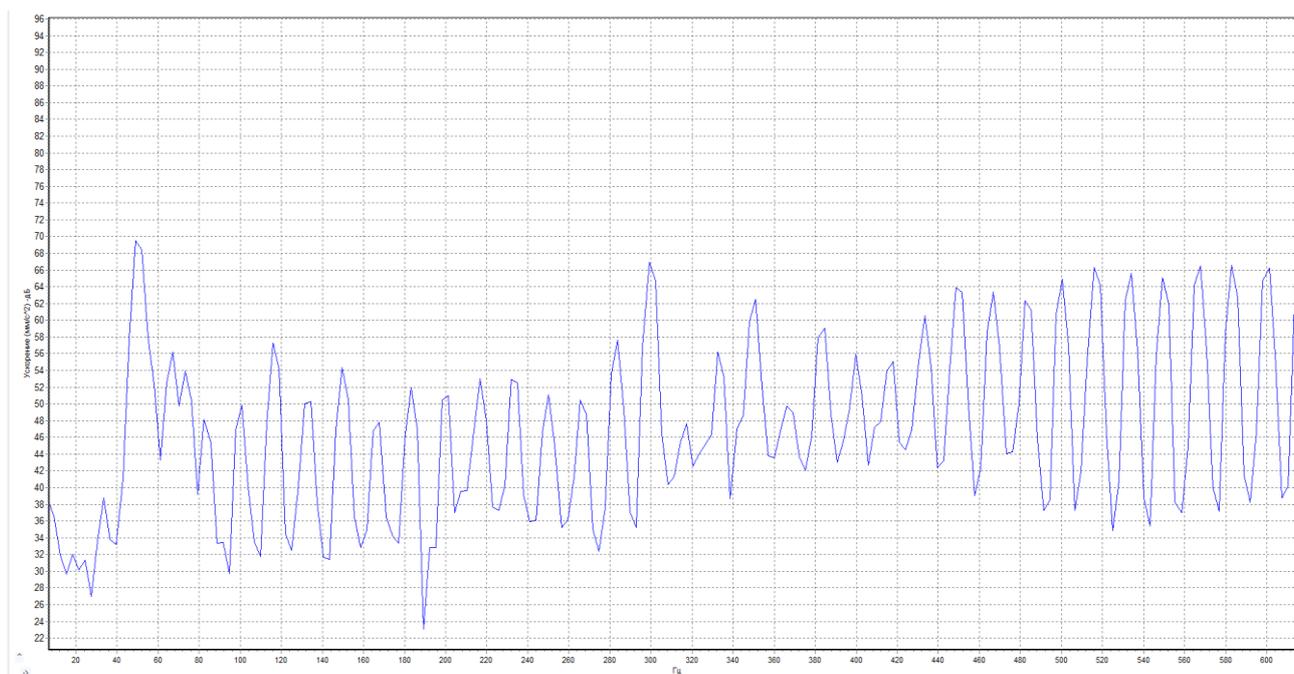


Рис. 11 - Спектр вибрации дизельной форсунки на стенде CR-305 (режим нагрузки)

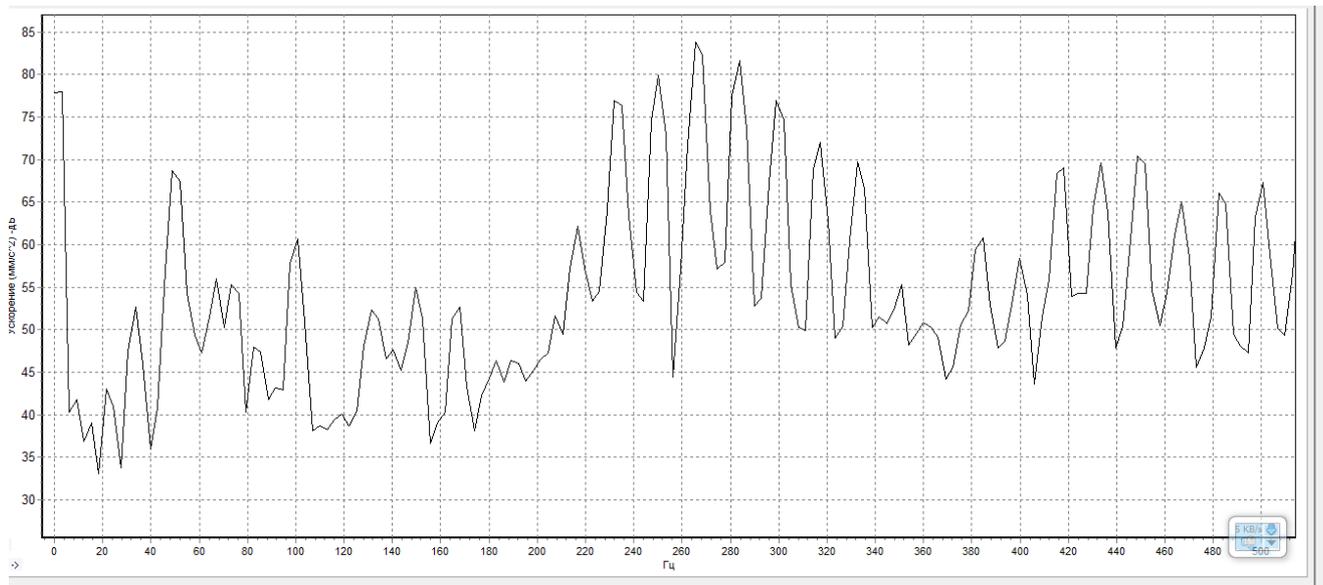


Рис. 12 - Спектр вибрации дизельной форсунки на стенде CR-305 (режим перегрузки)

К достоинствам этого стенда относится высокая точность диагностирования, широкий спектр режимов работы. К недостаткам использования - высокая стоимость, наличие высококвалифицированного персонала.

Основным недостатком двух вышеописанных способов является необходимость демонтажа форсунок с двигателя.

Для снижения трудоемкости и продолжительности процедур проверки форсунок целесообразнее использовать методы, не предусматривающие демонтажные работы.

6. Измерения виброакустических характеристик форсунок на работающем двигателе.

Вращение коленчатого вала через шестерни передается топливному насосу при соотношении

$$\frac{n_B}{n_H} = \frac{1}{0,5} = 2.$$

Из спектра вибрации можно определить оборотную частоту, которая составляет $\approx 11,6$ Гц что соответствует ≈ 700 об/мин двигателя.

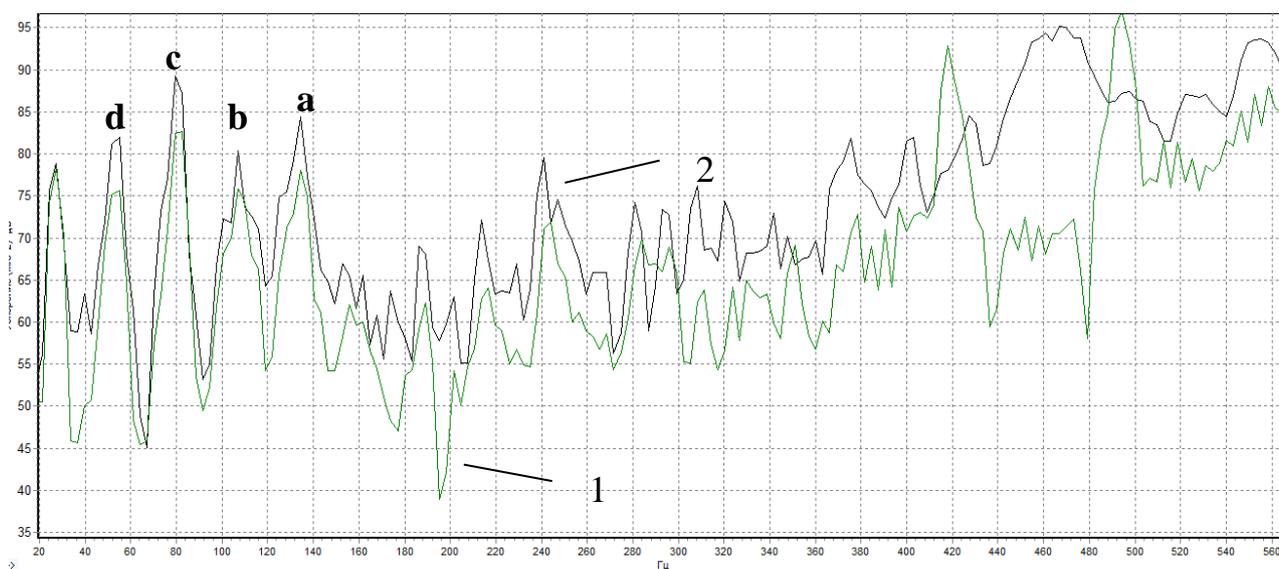


Рис. 14 - Спектр вибрации дизельных форсунок Д-240 на 700 об/мин 300 моточасов (зеленая кривая (1) - вторая форсунка; черная кривая (2) - четвертая форсунка). Амплитуды вибрации форсунок: а-поступление топлива в полость форсунки; б-подъем иглы; с- впрыск топлива в камеру сгорания; д-опускание иглы

При поступлении топлива от топливного насоса высокого давления в форсунку (импульс «а» рисунок 14) сила давления топлива на дифференциальную площадку и углы становится больше усилий пружины, игла поднимается, ударяясь о корпус форсунки (импульс «б», рисунок 14). Через образовавшуюся кольцевую щель и распыливающее отверстие (топливо поступает в камеру сгорания. Детонация топлива - импульс «с», рисунок 14.

Подъем иглы ограничен упором ее торца в корпус форсунки и составляет 0,2-0,28 мм. После прекращения подачи топлива насосом давление в кольцевой камере резко снижается и под действием пружины игла прижмется запорным конусом к седлу распылителя (импульс «d» рисунок 14), перекрывая распыливающие отверстия. Топливо, просачивающееся через зазор между иглой и распылителем, отводится через отверстие в колпаке и сливной штуцер в топливный бак или фильтр тонкой очистки.

При снижении давления затяжки пружины форсунки и чрезмерно большой разгрузке топливопроводов высокого давления, особенно при работе на малой подаче, давление топлива в форсунке может оказаться ниже давления газов в камере сгорания. По этой причине газы, имеющие высокую температуру, проникают в полость распылителя и нагревают находящееся там топливо. Вместе с газами во внутреннюю полость распылителя заносятся частички нагара. На рабочих поверхностях иглы и корпуса распылителя образуются лаковые пленки и налет нагара, которые снижают теплопроводность металла. Поэтому происходит дальнейшее повышение температуры распылителя, вследствие чего лаковая пленка и нагар превращаются в твердые отложения кокса. Все это ускоряет износ иглы и корпуса распылителя, вызывает образование на их поверхностях неровностей, а следовательно, ухудшает качество распыливания топлива.

При повышении вязкости топлива (например, в случае переохлаждения двигателя), уменьшении давления затяжки пружины форсунки и увеличении противодействия газов в камере сгорания ухудшается дробление частиц топлива, факел распыленного топлива становится неоднородным, искажается его форма и уменьшается дальность. Форма факела зависит также от формы штифта иглы, которая изменяется при его изнашивании, коррозии и обгорании. Форма и направление факела искажаются вследствие закоксовывания сопловых отверстий и штифта. Закоксовывание распылителя может также происходить при дроблении впрыскиваемого топлива, или так называемом подвпрыске. Последний происходит вследствие вибрации иглы распылителя при чрезмерно малой разгрузке топливопроводов высокого давления, которая наблюдается в случае значительного износа разгружающего пояса распылителя.

В противном случае при увеличенной силе предварительной затяжки пружины приводит к повышению давления топлива в момент начала перемещения иглы и общего уровня давлений в линии нагнетания. Посадка иглы на седло происходит с большей скоростью, впрыскивание топлива кончается более резко. Увеличение скорости посадки иглы вызывает повышенный износ поверхностей запирающих конусов, поэтому значительное увеличение силы предварительной затяжки пружины нецелесообразно. Ее выбирают экспериментально такой, чтобы обеспечивались эффективное протекание рабочего цикла, четкое окончание процесса впрыскивания топлива и надежная работа распылителя. Величина предварительной затяжки снижается в процессе работы из-за износов запирающих конусов, поверхностей иглы и деталей, передающих силу пружины, а также торцов ее опорных витков. Происходит также усадка и изменение жесткости пружины. В результате уменьшается давление начала впрыскивания топлива. Для устранения указанных нарушений, возникающих в процессе работы, выполняется периодическое обслуживание топливной системы дизелей с необходимыми регулировками форсунок и топливных насосов высокого давления.

Эффективное проходное сечение распылителя существенно влияет на давление в насосе и форсунке. Уменьшение площади сопловых отверстий в следствии закоксованности проходных сечений распылителя увеличивает время впрыска топлива в камеру сгорания. Увеличение сечения сопловых отверстий и скругление их входных кромок происходит из-за износа при эксплуатации. Соответственно возрастает и эффективное сечение. С другой стороны постоянное закоксовывание сопловых отверстий, наличия в сопловых отверстиях топлива, остающегося там по окончании впрыска и подвергающегося физико-химическим изменениям под действием высокой температуры газов в камере сгорания, приводят к снижению проходного сечения сопловых отверстий. Различаются и скорости изменения эффективных сечений распылителей, так как условия работы форсунок и качество изготовления их деталей не идентичны. Это приводит к нарушению равномерности подачи топлива по цилиндрам и, как следствие, к ухудшению эксплуатационных показателей дизеля.

7. Построение диагностической модели дизельных форсунок

Любая диагностическая модель должна отражать изменение диагностических параметров при изменении технического состояния диагностируемого объекта или, как правило, отдельного узла этого объекта. Следовательно, диагностические параметры должны в меньшей мере изменяться под воздействием различных помех. В данном случае датчик виброускорения (диапазон частот 5 - 5000Гц) устанавливается на форсунку работающего дизеля. Все физические процессы, которые происходят в форсунке во время работы регистрируются вибродатчиком и передаются в компьютер. Было обследовано более 10 дизельных двигателей с разными ресурсами: новые трактора и трактора с временем наработки более 8000 часов.

Для построения диагностической модели для форсунок мы используем метод нахождения диапазона амплитуд колебаний топливной форсунки.

Амплитудные значения вибрации на информативных частотах были определены в результате анализа виброакустических характеристик дизеля с наработкой 300, 2638, 8425 м.ч., нового дизеля и дизельного двигателя без известной наработки.

Таблица 1 - Вибрация форсунок на информативных частотах при 700 об/мин

f, Гц	24-27	49-58	73-88	98-115	137
1	2	3	4	5	6
0 моточасов (новый трактор)					
A _{Ф1} , дБ	83	65	79	69	62
A _{Ф2} , дБ	82	62	76	67	56
A _{Ф3} , дБ	66	72	86	72	71
A _{Ф4} , дБ	82	63	77	69	56
300 моточасов					
A _{Ф1} , дБ	86	69	74	70	67
A _{Ф2} , дБ	78	76	83	76	77
A _{Ф3} , дБ	88	73	68	71	63
A _{Ф4} , дБ	78	82	89	80	85
2638 моточасов					
A _{Ф1} , дБ	85	77	81	72	65
A _{Ф2} , дБ	86	71	76	70	61
A _{Ф3} , дБ	86	76	72	64	62
A _{Ф4} , дБ	84	76	78	71	63

Продолжение таблицы 1

8425 моточасов					
A _{Ф1} , дБ	63	82	70	65	65
A _{Ф2} , дБ	73	87	78	69	65
A _{Ф3} , дБ	78	88	75	68	67
A _{Ф4} , дБ	82	82	72	64	78
Пробег неизвестен					
A _{Ф1} , дБ	87	71	68	69	59
A _{Ф2} , дБ	69	72	68	69	57
A _{Ф3} , дБ	82	68	61	65	59
A _{Ф4} , дБ	82	74	72	72	55
Пробег неизвестен Гомельоблагро					
A _{Ф1} , дБ	85	70	66	72	64
A _{Ф2} , дБ	84	73	64	74	63
A _{Ф3} , дБ	85	72	64	70	60
A _{Ф4} , дБ	83	100	66	73	67
518 моточасов					
A _{Ф1} , дБ	89	73	79	72	70
A _{Ф2} , дБ	87	72	82	72	71
A _{Ф3} , дБ	88	64	76	66	64
A _{Ф4} , дБ	77	75	83	71	72
480 моточасов					
A _{Ф1} , дБ	83	75	66	76	65
A _{Ф2} , дБ	94	75	71	77	65
A _{Ф3} , дБ	92	71	67	66	66
A _{Ф4} , дБ	75	80	71	76	67

Из таблицы 1 на каждой информативной частоте определяем минимальные и максимальные значения амплитуды вибрации. Например, на частоте 137 Гц $A_{\min}=55\text{дБ}$, $A_{\max}=85\text{дБ}$.

После анализа результатов измерения получаем данные для построения модели (таблица 2).

Таблица 2 – Максимальное и минимальное значение вибрации на каждой информативной частоте

f, Гц	24-27 Работа ТНВД	49-58 Опускание иглы	73-88 Поступление топлива в цилиндр (Детонация)	98-115 Подъем иглы	137 Поступление топлива в форсунку
max	94	100	89	80	85
min	63	62	61	64	55

На основании данных таблица 2 откладываем на координатной плоскости: ось ординат – уровень вибрации дБ, ось абсцисс - частота вибрации (Гц)

(без масштаба). Строим эталоны технического состояния в зависимости от режима работы форсунки.

Частоты вибрации выбираем не единичным значением, а небольшим промежутком (на основании опытных данных и погрешности цифровых входов прибора ± 5 Гц).

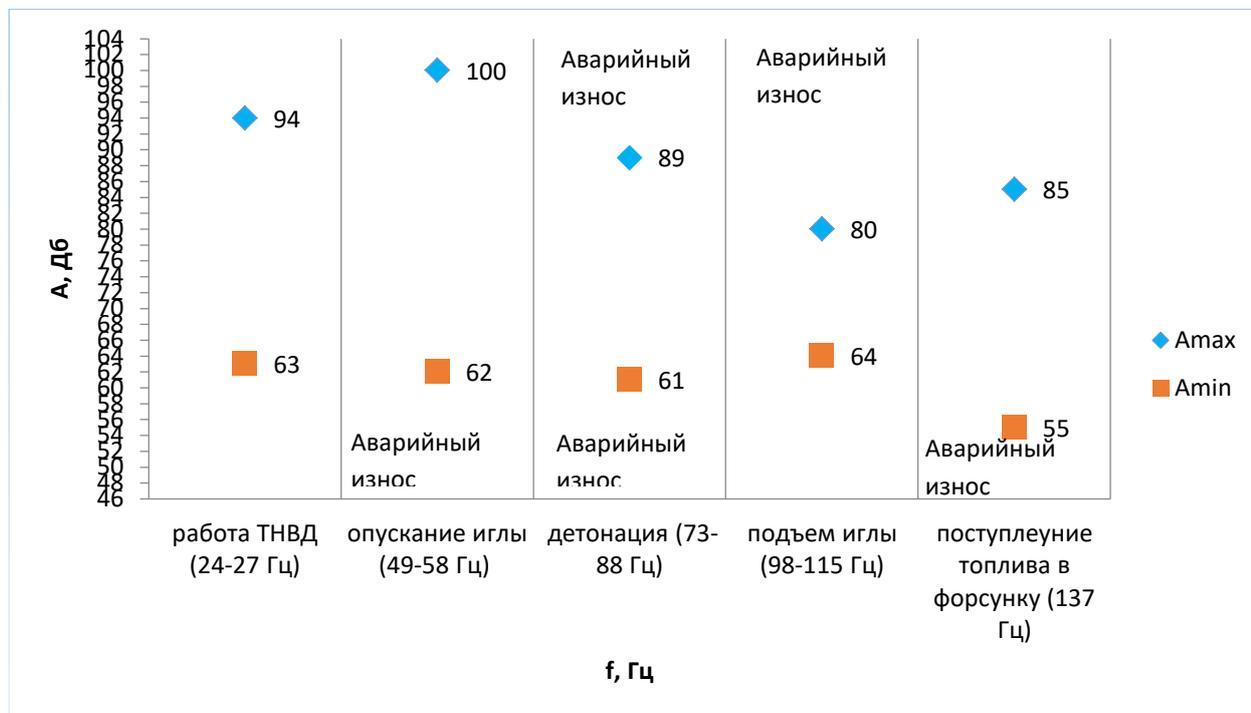


Рис. 15 - Диагностическая модель форсунки

Проведенные исследования показали, что уровень вибрации на частоте 137 Гц (700 об/мин) характеризует техническое состояние топливного насоса, поступление топлива в форсунку. Амплитуда 85 дБ указывает на хорошее давление топлива приходящего из ТНВД.

Уровень вибрации на частоте 98-115 Гц (700 об/мин) характеризует упругость пружины форсунки, при перемещении иглы вверх, заплешико иглы ударяет в торец корпуса форсунки. Амплитуда 80 дБ на частоте 98-115 Гц указывает на сниженную упругость пружины. При снижении давления затяжки пружины форсунки и чрезмерно большой разгрузке топливопроводов высокого давления, особенно при работе на малой подаче, давление топлива в форсунке может оказаться ниже давления газов в камере сгорания. По этой причине газы, имеющие

высокую температуру, проникают в полость распылителя и нагревают находящееся там топливо. Вместе с газами во внутреннюю полость распылителя заносятся частички нагара. На рабочих поверхностях иглы и корпуса распылителя образуются лаковые пленки и налет нагара, которые снижают теплопроводность металла. Поэтому происходит дальнейшее повышение температуры распылителя, вследствие чего лаковая пленка и нагар превращаются в твердые отложения кокса. Все это ускоряет износ иглы и корпуса распылителя, вызывает образование на их поверхностях неровностей, а следовательно, ухудшает качество распыливания топлива.

При повышении вязкости топлива (например, в случае переохлаждения двигателя), уменьшении давления затяжки пружины форсунки и увеличении противодействия газов в камере сгорания ухудшается дробление частиц топлива, факел распыленного топлива становится неоднородным, искажается его форма и уменьшается дальноточность. Форма факела зависит также от формы штифта иглы, которая изменяется при его изнашивании, коррозии и обгорании. Форма и направление факела искажаются вследствие закоксовывания сопловых отверстий и штифта. Закоксовывание распылителя может также происходить при дроблении впрыскиваемого топлива, или так называемом подвпрыске. Последний происходит вследствие вибрации иглы распылителя при чрезмерно малой разгрузке топливопроводов высокого давления, которая наблюдается в случае значительного износа разгружающего пояса распылителя.

Уровень вибрации на частоте 73-88 Гц (700 об/мин) зависит от количества топлива в цилиндре. Амплитуда вибрации на этих частотах на 700 об/мин характеризует впрыск топлива через сопловые отверстия. При значительном износе деталей давление начала впрыскивания топлива уменьшается, а следовательно, увеличивается объем впрыскиваемого топлива и угол начала впрыскивания. Снижение вибрации на этой частоте свидетельствует о закоксовывании сопловых отверстий, подтекать из распылителя после посадки иглы в седло, ухудшению качества распыливания, что в свою очередь, является следствием значительного снижения давления впрыскивания топлива.

Дробящее впрыскивание возможно при работе дизеля на низких скоростных режимах, однако способность к нему у форсунок изменяется в зависимости от конструктивных и регулировочных параметров, в частности, она снижается у бывших в эксплуатации форсунок в результате изнашивания запирающих конусов и уменьшения разности их углов. Амплитуда 61дБ указывает на наличие закоксованности сопловых отверстий.

Величина вибрации форсунки на частоте 49-58 Гц (700 об/мин), зависит от технического состояния пружины форсунки, а также от износа посадочного конуса иглы. Эта вибрация возникает при опускании иглы в посадочный конус. Амплитуда 100 дБ указывает на четкое запираение форсунки без подтекания топлива.

Численное значение вибрации на частоте 24-27 Гц (700 об/мин) характеризует работу ТНВД, а именно износ кулачкового вала на участке сбегания ролика толкателя.

Основное достоинство представления знаний в виде эталонов заключается в том, что процесс получения знаний о предметной области автоматизируется. Задача эксперта состоит только в составлении математической модели объекта диагностирования с помощью компьютера.

Пример:

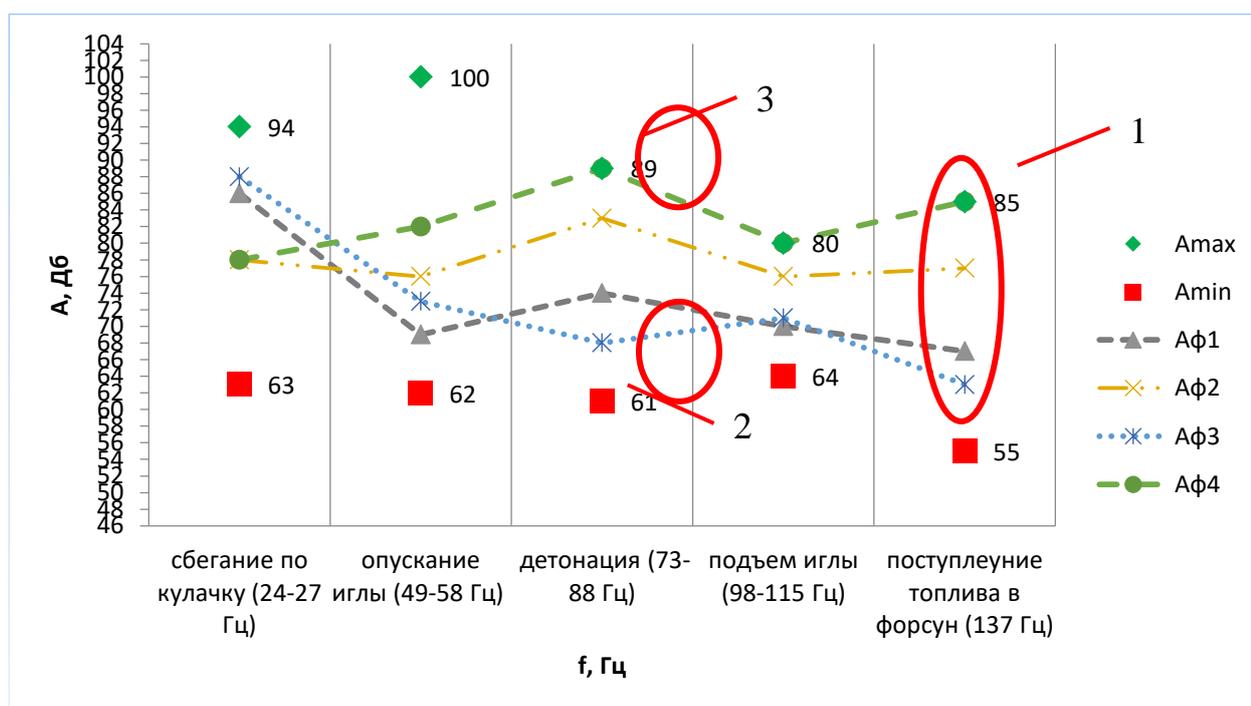


Рис. 16 - Диагностическая модель форсунки 300 моточасов

На диагностической модели форсунки 300 моточасов видна полная разрегулировка форсунок относительно друг друга. На частоте 137 Гц видна удовлетворительная работа ТНВД (рис. 16 поз. 1) топливо поступает в форсунку с различной интенсивностью. На частоте 73-88 Гц. - детонация видна как закоксованность сопловых отверстий третья форсунка (рис. 16 поз. 2) таки увеличение сопловых отверстий четвертая форсунка (рис. 16 поз. 3). Как итог всего сказанного долгий пуск и нестабильная работа двигателя.

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 62508-2014. Менеджмент риска анализ влияния на надежность человеческого фактора. М.: Стандартиформ, 2015.
2. Бобровников Я.Ю., Стецюк А.Е. Диагностические комплексы электроподвижного состава: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2012. 94 с.
3. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. СПб.: Изд. центр СПб ГМТУ, 2000. 169 с.
4. Вибродиагностика / Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. М.: Машиностроение, 2005. 829 с.
5. Ширман А., Соловьев А. Соловьев А. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. М.: Спектр-инженеринг, 1996. 272 с.
6. Эльдарханов Х.Ю., Эльдарханов Э.Х. Техническое обслуживание и ремонт транспортных средств: учеб. пособие. Пятигорск: ИЦ ИСИТ, 2014.
7. Габитов И.И., Неговора А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. Уфа: Изд-во БашГАУ, 2004. 216 с.
8. Кирдищев Д.В., Лавров В.И. Техническое диагностирование топливных форсунок на стендах в ремонтных мастерских // Вестник Брянской ГСХА. 2016. № 5 (57).
9. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей: учеб. пособие. Уфа: Изд-во БГАУ, 2008. 240 с.
10. Грунтович Н.В., Кирдищев Д.В. Методика технического диагностирования топливной аппаратуры дизельных двигателей по виброакустическим спектрам // Сборник научных трудов по материалам Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ярославль, 2021. С. 17-22.
11. Грунтович Н.В., Кирдищев Д.В., Попов В.Б. Разработка диагностической модели дизельных форсунок по результатам вибродиагностирования // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2017. № 2 (69). С. 18-24.

12. Способ определения технического состояния форсунок на работающем двигателе: пат. 2667738 Рос. Федерация: МПК F02M 65/00 / Грунтович Ник. Вас., Грунтович Над. Влад., Кирдищев Д.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный аграрный университет». - №2667738; заявл. 10.03.2017; опубл. 24.09.2018. Бюл. № 27.

13. Грунтович Н.В., Кирдищев Д.В Методика технического диагностирования топливной аппаратуры дизельных двигателей по виброакустическим спектрам // Модернизация и повышение качества технического обслуживания сельскохозяйственной техники: сб. науч. тр. по материалам Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ярославль, 2021. С. 17-22.

Учебное издание

Гринь Александр Михайлович
Кирдищев Дмитрий Владимирович

ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ФОРСУНОК

Методическое пособие
для студентов инженерно-технологического института,
осваивающих образовательные программы бакалавриата
по направлениям подготовки: 35.03.06 Агроинженерия,
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 31.05.2024 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 2,38. Тираж 25 экз. Изд. № 7675.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ