

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра эксплуатации и ремонта машин

Направление подготовки – 35.04.06 «Агроинженерия»

Магистерская программа – «Технический сервис в сельском хозяйстве»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

ТЕМА: РАЗРАБОТКА ИНВАРИАНТНОГО МЕТОДА ВИБРАЦИОННОЙ
ДИАГНОСТИКИ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Студент магистратуры Б.А. Билалов А.А.

Научный руководитель,
д.т.н., профессор Валиев Валиев А.Р.

Рецензент
к.т.н., доцент Хусаинов Хусаинов Р.К.

Обсуждена на заседании кафедры и допущена к защите

(протокол № 310 от 31.01. 2020 г.)

Зав. кафедрой, профессор Адигамов Адигамов Н.Р.

Казань-2020

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	5
1.	АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА	8
1.1	Анализ состояния вопроса и обоснование темы	8
1.2	Обзор методов и способов проведения технического обслуживания	12
1.3	Классификация методов диагностирования технического состояния автомобилей и сельскохозяйственной техники	19
1.4	Обзор существующих конструкций	25
1.5	Выводы по главе 1	35
2.	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	37
2.1	Теоретические основы вибродиагностирования	37
2.1.1	Определение вибрации	37
2.1.2	Простейшее гармоническое колебание	38
2.1.3	Уравнения колебаний	39
2.1.4	Динамика механических систем	40
2.1.5	Измерения амплитуды вибрации	41
2.1.6	Понятие фазы	42
2.2	Разработка метода инвариантного вибродиагностирования	43
2.3	Разработка инвариантного классификатора и его обучение	47
2.4	Выводы по главе 2	51
3.	ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	53
3.1	Общая программа экспериментальных исследований	53
3.2	Методика определения величины компрессии двигателя внутреннего сгорания	58
3.3	Порядок проведения экспериментальных исследований	60
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	62
4.1	Результаты вибродиагностирования цилиндропоршневой группы	62
4.2	Результаты определения величины компрессии	70
5.	ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ	74
5.1	Установление базы для сравнения	74
5.2	Расчет технико-экономических показателей СПТО	74
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
	ЛИТЕРАТУРА	81

АННОТАЦИЯ

к магистерской диссертации на тему: «Разработка инвариантного метода вибрационной диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания»

Объем ВКР: текстовый документ содержит: 94 страниц, в т.ч. пояснительная записка 88 стр.; включает: таблиц 9, рисунков и графиков 21, фотографий 4 штук, список используемой литературы 93 наименований.

Перечень ключевых слов: цилиндропоршневая группа, двигатель внутреннего сгорания, методы диагностирования двигателей внутреннего сгорания, инвариантный метод вибродиагностирования цилиндропоршневой группы, неисправности двигателей внутреннего сгорания, износ цилиндропоршневой группы.

Цель работы: разработать и обосновать инвариантный метод вибрационной диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания.

Сведения об актуальности, новизне, эффективности: инвариантный метод вибрационной диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания ранее не исследовался, метод эффективно определяет остаточный ресурс.

Инвариантный метод вибрационной диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания достаточно точно определяет остаточный ресурс, не используя большое количество нормо-часов. При данном методе нет необходимости разбирать двигатель. Рекомендован к использованию на предприятиях технического сервиса и ремонта в сельском хозяйстве, может использоваться при диагностике двигателей любых типов и модельных рядов.

Для более глубокого исследования данного метода необходимо исследование на более широком модельном ряде двигателей внутреннего сгорания.

ANNOTATION

to the master's thesis on the topic: "Development of an invariant method for vibration diagnostics of a cylinder-piston group of an internal combustion engine"

The volume of the WRC: a text document contains: 94 pages, including explanatory note 88 pp .; includes: tables 9, figures and graphs 21, photographs of 4 pieces, a list of references 93 items.

The list of keywords: cylinder-piston group, internal combustion engine, methods for diagnosing internal combustion engines, the invariant method of vibration diagnostics of the cylinder-piston group, malfunctions of internal combustion engines, wear of the cylinder-piston group.

Objective: to develop and justify an invariant method for vibration diagnostics of a cylinder-piston group of an internal combustion engine.

Information on relevance, novelty, efficiency: the invariant method of vibration diagnostics of the cylinder-piston group of an internal combustion engine has not been previously studied, the method effectively determines the residual resource.

The invariant method of vibration diagnostics of the cylinder-piston group of an internal combustion engine determines the residual life quite accurately without using a large number of standard hours. With this method, there is no need to disassemble the engine. Recommended for use in enterprises of technical service and repair in agriculture, can be used in the diagnosis of engines of any type and model range.

For a deeper study of this method, research on a wider range of internal combustion engines is necessary.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развитие двигателестроения в Российской Федерации и зарубежных странах характеризуется тенденциями к более широкому использованию систем контроля и технических составляющих в ходе эксплуатации, что оказывает влияние на эффективную работу машины и увеличение надежности на всех уровнях использования.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что в мире около 40 – 50% производства относится к производству двигателей внутреннего сгорания. В Российской Федерации и странах СНГ, как показывает практика, доля, приходящаяся на производство двигателей внутреннего сгорания, выше и составляет около 80%.

В автомобилях с установленным двигателем внутреннего сгорания, по причине того, что характер движения поршня является возвратно – поступательным, образовывается нестационарность динамических воздействий, что приводит к сложному характеру состояния вибраций и возникновению следующих дополнительных ее источников:

- образование источника, связанного с неуравновешенными инерционными силами вращающихся и поступательно движущихся масс;
- образование источника, связанного с моментом инерционных сил M_i вращающихся и поступательно движущихся масс;
- образование источника, связанного с моментом опрокидывающегося характера;
- образование источника, связанного с крутильными колебаниями коленчатого вала;
- образование источника, связанного с пульсацией давления газа в цилиндрах и межступенчатых коммуникациях;
- образование источника, связанного с ударами элементов механизма движения, цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и клапанов.

Для диагностирования этого состояния необходимы установки для вибродиагностики. В нашей стране по причине того, что наблюдается недостаток денежных средств серийный выпуск диагностических приборов, стендов, оборудования в АПК резко уменьшился, также и уменьшилось финансирование научных разработок в данной области. На это повлиял также тот факт, что большее количество заводов, которые специализируются на выпуске средств диагностики, остались на территории ближнего зарубежья.

В связи с этим, **актуальность темы** заключается в том, что в настоящее время назрела острая необходимость в усовершенствовании средств и методов диагностирования, особенно автотракторных двигателей.

Цель исследования: разработать и обосновать инвариантный метод вибрационной диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания.

Для достижения данной цели были обозначены следующие **задачи**:

провести анализ отказов цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания и современных методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания, применяемые в отечественной и мировой практик;

- обосновать инвариантный метод вибрационной диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания;
- Разработать и обосновать характеристики инвариантного метода вибрационной диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания., а также экономическую эффективность применения инвариантного метода вибродиагностирования.

Объект исследования: цилиндропоршневая группа двигателя внутреннего сгорания.

Предмет исследования: взаимосвязь процесса износа цилиндропоршневой группы и характеристик разрабатываемого метода вибродиагностирования.

Был использован статистический метод исследования (наблюдение, сводки и группировки, вычисление обобщающих показателей, экономический анализ и прогнозирование).

Разрабатываемый метод инвариантного вибродиагностирования отличается от аналогов, тем что в данном методе исследовалось изменение вибрационных характеристик отдельных спектров цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания.

Во время исследования был разработан и апробирован метод инвариантного вибродиагностирования, результаты экспериментов совпали с уже существующими теоретическими исследованиями в данной области.

Данный метод выгодно отличается от ранее применяемых экономичностью и временем, затраченным на диагностирование цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания.

Теоретическое значение диссертации заключается изучении преждевременного выхода из строя цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания, а также разработка и обоснование инвариантного метода вибродиагностирования цилиндропоршневой группы.

Практическая значимость заключается в разработке инвариантного метода для вибродиагностирования цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания, а также рекомендации для использования в производстве.

По основным положениям диссертации опубликовано 2 статьи.

Апробация метода проводилась на конференциях Казанского ГАУ.

Положения выносимые на защиту:

1. Функциональные зависимости между диагностическими параметрами и техническим состоянием цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания и характеристиками инвариантного метода вибродиагностирования.
2. Методика расчета остаточного ресурса цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания по косвенным параметрам.
3. Закономерности изменения степени износа цилиндропоршневой группы и его вибрационных параметров.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Анализ состояния вопроса и обоснование темы

С целью выявления технического состояния агрегатов механизмов и систем машины без проведения их разборки, а также прогнозирования длительности службы узлов проводится диагностирование машин с использованием внутренних и внешних систем контроля. Процедура диагностирования машин позволяет следить за их состоянием в техническом плане, организовывать необходимые работы по предупреждению досрочного износа и своевременно проводить техническое обслуживание, а также ремонт.

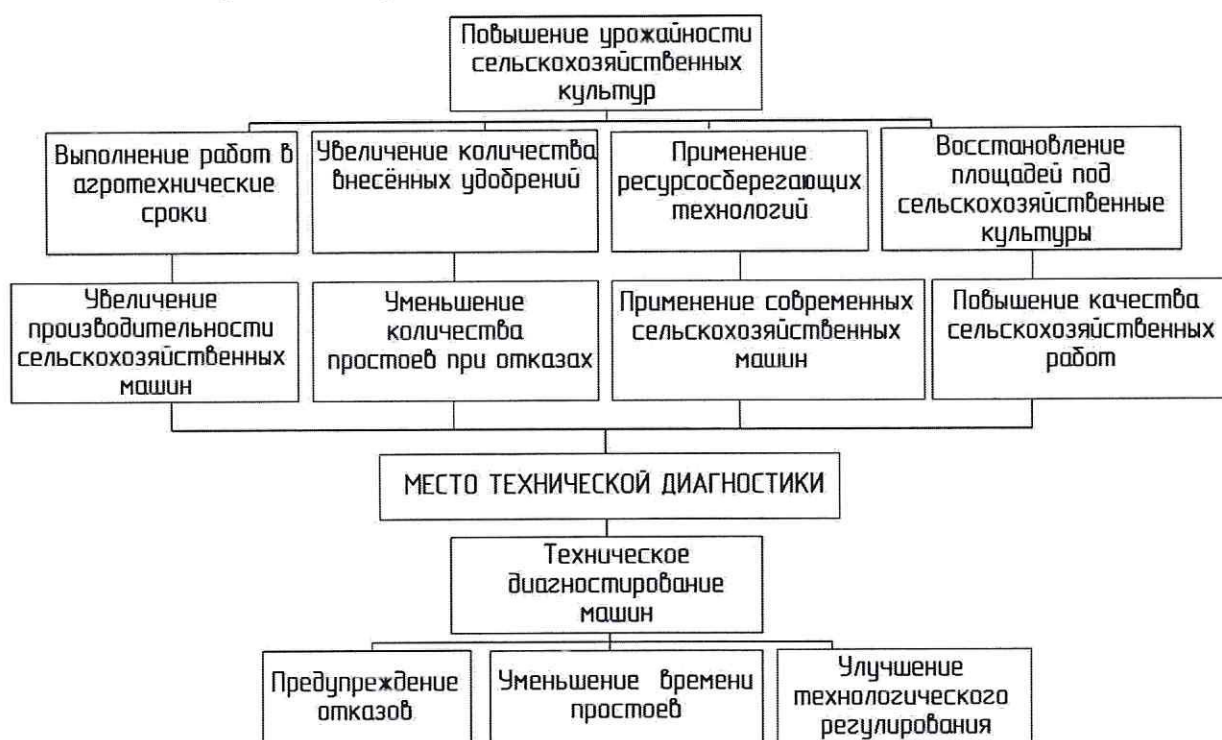


Рисунок 1.1 – Роль диагностирования машин в повышении производства сельскохозяйственной продукции

Подобные процедуры позволяют достичь уменьшения времени простоя машины и обеспечить большую экономию материальных средств на техническое обслуживание и ремонт.

Процесс диагностирования машин играет большое значение на фоне интенсивности эксплуатации техники через коэффициент готовности.

Если во время обнаружить дефекты, быстро и качественно их устранить, то

можно достичь уменьшения времени простоя машин по причинах технического несоответствия, повысить их работоспособность и качество исполнения операций в сельском хозяйстве, что окажет положительное влияние на продолжительности выполнения операций и поспособствует увеличению прибыли.

Процедура диагностирования машин и оборудования необходима в большей части видов технического обслуживания и ремонта. Исключая стандартные работы, такие как периодические ТО, текущий, капитальные ремонты, хранение машин, в последние десятилетия процедура диагностирования машин стала применяться и в их доброске в процессе обслуживания перед продажей, сертификации сервисных работ, техническом осмотре, выявлении стоимости при покупке и продаже машин бывших в употреблении и агрегатов.

Основываясь на увеличении производства машин с повышенной конструктивной сложностью сфера применения процедуры диагностирования машин также увеличилась в связи с их контролем при технической настройке, автоматизации многих процессов, в число которых входят сельскохозяйственные.

Среди основополагающих задач процесса технического диагностирования имеет смысл выделить следующие:

- задача, связанная с проверкой машины или ее основных частей на работоспособность с достоверностью повышенного уровня;
- задача, связанная с поиском неисправностей с установленным уровнем глубины поиска;
- задача, связанная со сбором первоначальных данных для осуществления прогноза остаточного ресурса составных частей;
- задача, связанная с разработкой рекомендаций по итогу диагностирования, содержащих информацию об объеме, виде, месте и сроке проведенных работ.

Процедура технического диагностирования машин и оборудования особо часто применяется в развитых странах, особенно относительно сферы

автомобильного транспорта.

Средства для осуществления процедуры диагностирования можно подразделить на два вида: встроенные (в машину) и внешние.

Рассмотрим внешние средства диагностирования.

Оборудование для проведения процедуры диагностирования, выпускаемое в зарубежных странах, обладает максимальным насыщением микроэлектронными компьютерными системами на всех уровнях сложности. Данные системы используются в простом переносном оборудовании и в сложном комплексном. Сложные приборы содержат 32 разрядные и выше скоростные процессоры с выводом информации на цветной крупноформатный графический дисплей, простые же приборы содержат 4-8 разрядные однокристалльные контроллеры микроЭВМ.

Вместе с мощными вычислительными процессорами используются скоростные преобразователи аналоговых сигналов, которые поступают от датчиков в цифровой код. Подобные блоки включают в себя специальные сигнальные процессоры, которые обеспечивают первоначальный анализ данных по записанным в них программам и передачу массива информации по каналу прямого доступа в память в ОЗУ вычислительного процессора. Данная процедура делает аппаратную часть комплекса легче и обеспечивает ее принципами надежности и универсальности. К примеру, компания «Bosh» производит группу мотор -тестеров «Compact Test», включая модель для проведения диагностирования бензиновых двигателей, стационарного типа со встроенной ЭВМ и цветным графическим дисплеем. Большое по объему памяти ПЗУ содержит сведения о значениях диагностических параметров более чем по 300 автомобилям. Наряду с дисплеем в стенде имеется осциллоскоп с большим экраном для наблюдения в реальном масштабе времени быстро протекающих периодических процессов в системе зажигания двигателя. Мотор – тестер позволяет производить автоматизированное диагностирование, включая сравнение и оценку значений измеренных параметров по системам зажигания, питания анализу отработавших газов и д. р.

Компания «AVL» из Австрии изготавливает универсальные системы для проведения диагностирования автотракторных двигателей.

Главная особенность, которая отличает, устройства данной компании заключается в производстве накладных датчиков впрыскивания, крупноформатном графическом дисплее, распечатке итогов проведенного диагностирования в двух форматах: графическом и алфавитно-цифровом.

Процедура диагностирования двигателя исключает пользование внешними нагрузочными устройствами по анализу переходных процессов топливоподачи, разгона и выбега коленчатого вала. Соответственно дисплей отражает осциллограммы топливоподачи по каждой секции ТНВД, снятые с помощью накладных датчиков впрыскивания, которые представлены в растровом виде. Такой вид предоставляет возможность оперативно выявить дефектные форсунки или секции топливоподачи ТНВД.

Микроэлектронные диагностические комплексы отличаются использованием специализированных интегральных чипов, что во много раз увеличивает их разрешающие способности, корректности и характеристики динамики, а также уменьшает количество механических монтажных операций при сборке и наладке устройств, увеличивает надежность и сокращает стоимость производства. Однако использование специализированных чипов требует высокотехнологичного, легко перестраиваемого оборудования по их производству с развитой инфраструктурой по подготовке исходных компонентов заданного высокого качества, что возможно при использовании высоких технологий во всех сферах производства. В последнее время над вибрационными приборами, предназначенными для диагностирования машин и оборудования, активно работают зарубежные фирмы. Наиболее известными из них “Brüel & Kjær” (Дания) – выпускает виброметр 2511, “SKF” (Швеция), “Schenk” (Германия).

В нашей стране по причине недостатка денежных средств на серийное производство, количество приборов для проведения диагностирования, стендов, оборудования в АПК резко сократилось.

На это повлиял также тот факт, что большее количество заводов, которые специализируются на выпуске средств диагностики, остались на территории ближнего зарубежья.

В настоящее время в нашей стране относительной стабильностью отличается завод «ГАРО», который находится в Новгороде и специализируется на производстве приборов и оборудования для проведения диагностирования, в основном, легковых автомобилей. Продажей произведенного оборудования занимается внешнеторговая компания «НОВИНТОР», которая распространяет также

рекомендации по применению этих диагностических средств. Применяемые для автотракторных двигателей и транспортных машин автомобильные диагностические средства также пригодны для тракторов и сельскохозяйственных машин.

Автомобильная промышленность в Российской Федерации в настоящее время находится в тяжелой экономической ситуации, в связи с этим производство встроенных в машины средств для проведения диагностирования, не развито.

Однако, можно отметить увеличивающуюся номенклатуру внешних средств для проведения диагностирования, в числе которых электронные средства, которые производятся на территории нашей страны с целью осуществления технического обслуживания и проведения ремонта.

Все вышеназванные приборы и стенды возможно применять для проведения диагностирования сельскохозяйственных автомобилей и большинство для технической оценки состояний тракторов и комбайнов.

Данные приборы имеют свои недостатки, среди которых можно выделить использование относительно старых электронных элементов, крайне низкое применение современных процессорных, компьютерных систем, а также недостаток средств диагностирования гидроприводов и силовой передачи.

В агропромышленном комплексе наблюдается недостаток в производстве приборов для диагностирования, так, при лучших обстоятельствах

изготавливается от 3 до 10 приборов в месяц. К подобным компаниям можно отнести ГОСНИТИ, в котором лаборатория No 14 своими силами изготавливает и комплектует разработанные ею комплекты передвижных и переносных средств для проведения процедуры диагностирования, первую очередь, экологического контроля. В 1995 г. лабораторией разработан комплект средств КИ – 28032, цель которого состоит в определении дефектов работы дизелей, автотранспортного электрооборудования, гидроприводов и силовой передачи самоходных сельскохозяйственных машин в объёме работ всех видов технических обслуживаний, а также в устранении простых дефектов при техническом ремонте автомобилей.

Такой комплекс содержит в себе основные современные малогабаритные диагностические средства для экспресс-контроля и определения дефектов главных механизмов и систем машин, и комплект универсального инструмента.

Стоит отметить, что методы проведения процедуры диагностирования в разных странах отличаются в незначительной степени, исключения составляют только способы передачи и обработки сигналов.

1.2 Обзор методов и способов проведения технического обслуживания

Метод специализированного специфичного технического обслуживания позволяет производить распределение труда между рабочими, непосредственно определяющими процесс сельскохозяйственного производства, в число таких рабочих входят наладчики, мастера, кладовщики, сервисные специалисты, слесари и прочие специалисты, то есть персонал, который проводит работу по техническому обслуживанию, исключая немногие работы внепланового характера и больших объемов обслуживания, осуществляемым самими водителями тракторов.

С учетом особых условия по работе с техникой в определенных районах и хозяйствах, существует возможность выделить несколько видов проведения технического обслуживания в сфере производства сельскохозяйственной техники:

Первый тип технического обслуживания осуществляется в пределах специализированных пунктов обученными и опытными рабочими.

Второй тип технического обслуживания или кооперативный тип осуществляется на территории самого хозяйства, с помощью существующей материально – технической базы и специалистов. Второй тип технического обслуживания чаще всего применяется при обслуживании энергонасыщенных агрегатов.

Третий тип технического обслуживания осуществляется с помощью скооперированных сил нескольких хозяйств.

Четвертый тип технического обслуживания предполагает наличие централизованной компании, которая осуществляет техническое обслуживание на основании договора, заключенного с колхозами, агрофирмами, фермерскими хозяйствами.

В нашей республике активно и успешно применяется четвертый тип технического обслуживания.

Одной из основных задач районных агропромышленных объединений является осуществление организации проведения технического обслуживания на высоком уровне. Цель районных агропромышленных объединений заключается в объединении всех предприятия сельскохозяйственной направленности независимо от их ведомственной подчинённости.

Районные агропромышленные объединения служат для направления работы сельскохозяйственных предприятий в области получения конечного продукта. Руководитель районных агропромышленных объединений берет на себя ответственность за техническое состояние оборудования и его поддержание в должном состоянии. В случае, если руководитель районных агропромышленных объединений грамотно подходит к своей работе, то результаты работы будут положительными, что подтверждается статистикой деятельности агрофирм в Республике Татарстан.

В Республике Татарстан за последнее время наблюдается динамика работы диспетчерских служб и систем автоматизированной диспетчеризации.

В контексте данной работы проведем анализ формы технического обслуживания, которое осуществляется на заводе -изготовителе при участии специализированного предприятия. Стоит отметить, что такая форма технического обслуживания особо популярна за рубежом.

Общественное разделение труда является основанием абсолютно любого вида технического обслуживания, однако отличие состоит в том, что в каждом виде используются кооперативные работы хозяйствами и сторонними организациями по проведению технического обслуживания в разной степени.

В качестве положительной стороны в поддержании агрегатов в рабочем состоянии важно указать проведение их подготовки перед продажей, суть которой состоит не только в стандартных работах по предпродажной подготовки, но и в проведении обслуживания техники заводом, который ее произвел, а также в проверке соответствия ее технического состояния заявленным в паспортных данных показателям, сверка на комплектность и следование стандартам и нормам. С целью успешной реализации процедуры технического обслуживания и ремонта стоит обозначить и корректно провести распределение направлений развития научно-технической составляющей рассматриваемого процесса. Также существует необходимость в закладке ее долгосрочной перспективы. Следует вывести и описать перечень и порядок исполнения работ, обоснованных нормативной документацией и прочими данными на используемые машины и механизмы.

Данная процедура является крайне важной, поскольку служит основой для создания ремонтной базы и планирования трудовых и экономических ресурсов.

Техническое состояние машин обуславливает необходимость в организации конкретных операций для поддержания их в необходимом состоянии для работы. Технической состояние агрегатов чаще всего меняется в полевых условиях и носит случайный и внезапный характер.

Проведение изысканий и внедрение современных и эффективных способов организации работ позволит нивелировать разницу в надежности элементов автомобиля. Однако, здесь важно проследить за извлечением корректных

данные, которые будет отражать существующие потребности техники в проведении тех или иных действий.

Отсутствие систем контроля надежности машин и системы нормирования влияет на пониженный уровень организации работ по техническому обслуживанию. Данные процессы подлежат контролю при использовании верных экономических и статистических показателей, исследований научного характера и современных технологий организации, основанных на изменяющейся с наработкой надёжностью. В связи с этим возникает потребность в разработке специальных методов для нормирования таких показателей, основу которых составят три элемента:

- Человек
- Окружающая среда
- Агрегат

На данную систему оказывают влияние следующие факторы:

- фактор трудовых ресурсов;
- фактор TSM;
- фактор оптимальных материалов деталей;
- фактор оптимальной твёрдости и способа обработки контактных поверхностей;
- фактор выбора правильного класса допусков и посадок;
- фактор создания щадящих условий для работы кинематических пар, их
- правильная смазка и защита от загрязнений;
- фактор подбора TSM;
- фактор использования изделия по назначению;
- фактор детальных расчётов с одинаковым коэффициентом запаса прочности и
- наработкой на отказ равной у всех составных частей
- другие факторы.

Вышеперечисленные факторы оказывают непосредственное влияние на

надежность, находящуюся в прямой зависимости от состояния всего агрегата.

Параметры надежности техники выражаются в конкретных значениях своего состояния, для оценки которых применяются методы с использованием критериев надежности. После анализа полученной после оценки информации, составляется список способов поддержания техники в состоянии работоспособности. При выполнении всех операций по техническому обслуживанию, в результате хозяйство получает полностью работоспособную технику с необходимыми выходными данными.

Существует несколько типов проведения технического обслуживания.

Ежемесячное техническое обслуживание выполняется в начале или в конце смены и содержит в себе:

- очистку наружных частей агрегата;
- устранение подтёков и причин их происхождения;
- проверку уровней технологических жидкостей;
- проверку корректность работы приборов контроля и управления;

Первое техническое обслуживание включает в себя все операции, проводимые при ежемесячном техническом обслуживании, в дополнении с:

- подтяжкой крепёжных элементов;
- смазкой агрегатов и их узлов;
- очисткой либо заменой фильтрующих элементов или фильтров;
- регулировочными работами и проверкой правильности их работы.

Второе техническое обслуживание включает в себя все операции первого технического обслуживания в дополнении с:

- заменой масла с предварительной промывкой картера специальными средствами или с применением установки;
- регулировочными работами всех единиц;
- смазкой всех единиц;
- поэлементной диагностикой частей агрегата.

Третье техническое обслуживание включает в себя все операции второго технического обслуживания в дополнении с:

- дополнительными работами, связанными с регулировкой, очисткой, смазкой

агрегатов.

Третья техническая обслуживание предполагает проведение диагностики некоторых частей агрегата без его полного разбора с целью определения возможности дальнейшей работы машины, составления списка запасных частей и выявления узлом и методов их ремонта.

Сезонное техническое обслуживание производится при переходе к сезонным периодам работы: осенне- зимнему и весенне-летнему и включает в себя:

- замену сезонных технологических жидкостей;
- чистку системы охлаждения;
- мероприятия улучшения пуска двигателя;
- технический осмотр.

В случае, если условия работы техники можно квалифицировать, как специфические, например, наличие песчаной почвы, болот, гор и прочее, технической обслуживает может дополняться некоторым рядом операций.

Стоит отметить, существование особенных типов технического обслуживания:

- предварительное транспортировочное;
- обслуживание на хранении.

Проведение диагностирования одно из важнейших частей проведения технического обслуживания.

В зависимости от места проведения выделяют следующие виды технического обслуживания:

- территория эксплуатации агрегата, а также полевое техническое обслуживание;
- в условиях малых предприятий;
- в ЦРМ и объединениях;
- в специализированных ремонтных центрах, которые обслуживают

районы и города.

Такие уровни можно применять для разных видов технического обслуживания. Первый и второй уровни обычно применяется при ежемесячной техническом обслуживании и на стадии обкатки. Второй и третий уровни применимы при первом техническом обслуживании и втором техническом обслуживании. Четвертый уровень применим при всех видах технического обслуживания за исключением ежемесячных технических обслуживаниях и при не рациональных небольших видах особого технического обслуживания или при отсутствии возможности его проведения.

Для того, чтобы повысить качество проведения технического обслуживания и уменьшить время его проведения, специалисты составляют специальные технологические карты, которые делятся на марки машин и содержат в себе всю необходимую информацию, а именно инструкции, рекомендации, технологии, применяемый инструмент и оборудование, временные критерии и прочее.

1.3 Классификация методов диагностирования технического состояния автомобилей и сельскохозяйственной техники

Физическая составляющая и способ измерения параметров диагностики, наиболее подходящих для применения в зависимости от цели проведения диагностирования, характеризуют методы диагностирования технического состояния машин. На данный момент выделяют пять основных групп методов проведения процесса диагностирования (рисунок 1.2). К ним относятся метод поиска дефектов, инструментальный, регламентный методы, а также методы диагностирования по параметрам рабочих процессов и по структурным параметрам.

Метода поиска дефекта, который применяется при проведении диагностики автомобиля по заявке операторы или при условии, что причина выхода из строя агрегата установлена. Данный метод состоит из поэлементной технологии, однако зачастую составляется в виде инструктивных документов.

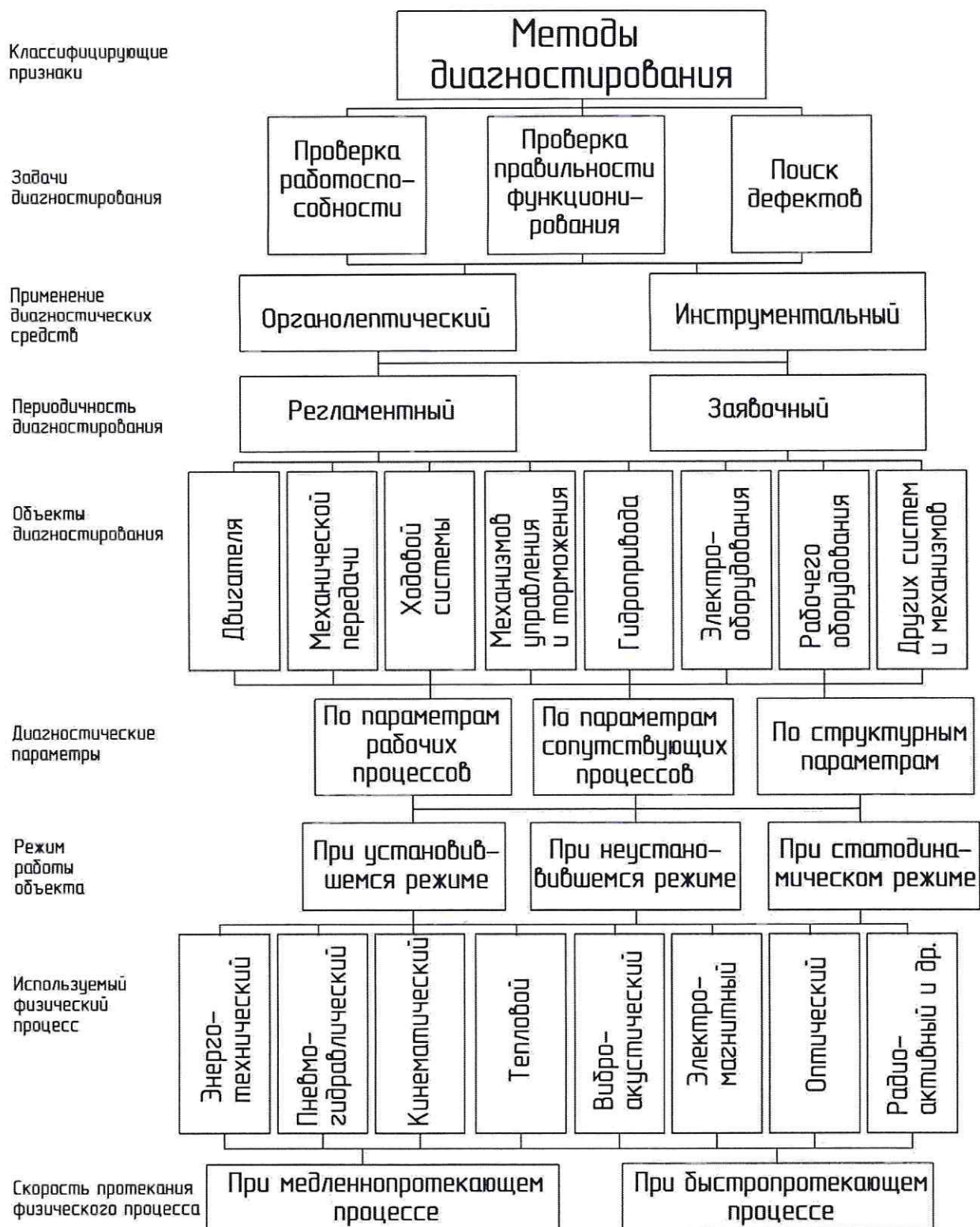


Рисунок 1.2 – Классификация методов диагностирования

Инструментальный метод диагностирования считается самым объективным методом, поскольку при его применении используются измерительные приборы,

которые дают возможность точно проводить измерения диагностических параметров и на основании полученных данных проводить оценку технического состояния машины.

Регламентный метод диагностирования проводится в соответствии с планом ремонта или планом технического обслуживания.

Методы диагностирования по параметрам рабочих процессов дают возможность провести проверку выходных показателей автомобиля, таких как мощность, экономичность,

производительность, качество работы, а также большого количества технических

параметров ее составных частей, таких как фазовые параметры топливоподачи и

газораспределения, давления, скорости перемещения, расхода и другие. Стоит отметить высокую точность измерения вышеперечисленных параметров, которая достигается благодаря прямому измерению контролируемой физической величины.

Методы диагностирования по структурным параметрам осуществляются с помощью прямых измерений и дают возможность выявить износы деталей, зазоры в их сопряжениях и значения регулировочных параметров (измерении износа подшипников качения, шкивов, зазора в сопряжении втулка - ось, удлинения ремней и цепных передач, длины появляющейся трещины, тепловых зазоров, а также зазоров между отжимными рычагами и выжимным подшипником

сцепления, хода педалей механизма управления муфтой сцепления и тормозами, износа шины).

К задачам диагностирования можно отнести поиск дефектов, проверку работоспособности и правильности функционирования машин и агрегатов.

Методы диагностирования, которые определяют некоторую совокупность отказов и повреждений разумно применять при проверки работоспособности техники.

В случае, если требуется проверить корректность работы машин, процедура диагностики будет направлено на выявление группы дефектов технологических регулировок и настройки, которые вызывают недопустимое уменьшения их производительности и качества работы.

В случае поиска дефектов, методы диагностирования дают возможность определить следующие критерии:

- Место дефекта
- Вид дефекта
- Причину дефекта

В зависимости от применения средств диагностирования методы можно разделить на две группы:

- Субъективные или органолептические
- Объективные или инструментальные

Первая группа методов содержит:

- Процедуру ослушивания
- Процедуру осмотра
- Процедуру проверки осязанием и обонянием.

В результате процедуры ослушивания определяются место и вид нехарактерных стуков, шумов, перебоев в работе двигателя, отказов в трансмиссии и ходовой части (по скрежету и шуму), неплотности (по шуму прорывающегося воздуха) и т.п.

Процедура осмотра помогает выявить места подтекания воды, масла, топлива, цвет выпускных газов, дымление из сапуна, биение вращающихся частей, натяжение цепных и ременных передач и т.п.

Процедура осязания выявляет места и степень ненормального нагрева, биения, вибрации деталей, вязкость, липкость жидкости и т.п.

Процедура обоняния определяет по характерному запаху отказ муфт сцепления, течь бензина, утечку газа, электролита, отказ электропроводки и т.п.

Для того, чтобы измерить и осуществить контроль над всеми параметрами

технического состояния с использованием средств диагностирования, применяются инструментальные методы.

Периодичность применения методов диагностирования можно разделить на два вида:

- Регламентный или плановый
- Заявочный или внеплановый

Плановый или регламентный вид диагностирования осуществляется в плановом порядке и по большей части служит для проверки работоспособности техники и выявления ресурса как отдельных агрегатов, так и машины в целом. С этой целью из всех диагностических параметров особое внимание обращают на обобщенные и в обязательном порядке проводят их измерения при осмотре и техническом обслуживании.

Внеплановый или заявочный вид диагностирования служит для выявления дефектов в случаях обнаружения нарушений в работе составной части машины из совокупности других, найденных в результате измерения обобщенного параметра.

Методы делятся на три группы в зависимости от параметров диагностики, основанием такого деления является характеристика параметра, который подлежит измерению, относится ли этот параметр к рабочему процессу машины или ее части, определяет ли процесс работы Δ или структурный параметр детали или сопряжения деталей.

Диагностирование, основанное на параметрах рабочих процессов, позволяет поверить, как выходные показатели агрегата, так и огромное число технических параметров составных частей агрегата. В связи с проведением прямого измерения контролируемой физической величины при использовании данного метода достигается достаточно высокая точность измерения.

Диагностирование, основанное на параметрах сопутствующих процессов, позволяет проверить то же, что и диагностирование, основанное на параметрах рабочих процессов, а также структурные параметры деталей и сопряжений, когда отсутствуют возможность или смысл в их непосредственном измерении. В

подобных случаях измеряются показатели процессов, которые организовываются рабочими (например, нагрев или охлаждение). Стоит заметить, что истинность подобных измерений намного ниже, чем при использовании диагностирования, основанного на параметрах рабочих процессов.

Диагностирование, основанное на структурных параметрах, проводится с использованием прямых измерений и позволяет определить износы деталей, зазоры в их сопряжениях и значения регулировочных параметров.

Замеры геометрических размеров, взаимного перемещения деталей или геометрических размеров детали на вышедшей из строя технике, являются основой использования всех трех вышеописанных методов

Физическая сущность объекта делит методы диагностирования на следующие виды:

- Метод диагностирования, основанный на энергетической физической сущности
- Метод диагностирования, основанный на пневмогидравлической физической сущности
- Метод диагностирования, основанный на кинематической физической сущности
- Метод диагностирования, основанный на тепловой физической сущности
- Метод диагностирования, основанный на виброакустической физической сущности
- Метод диагностирования, основанный на электромагнитной физической сущности
- Метод диагностирования, основанный на оптической физической сущности
- Метод диагностирования, основанный на радиоактивной физической сущности

Физические процессы могут протекать с разной скоростью и в зависимости

от этого подразделяются на:

- Медленно протекающие
- Быстропротекающими.

Методы диагностирования также подразделяются на основе различных режимов работы агрегата:

- Устоявшийся режим работы, то есть объект работает в стационарном режиме при неменяющихся скорости, температуре и силы нагрузки.
- Неустойчивый режим работы, то есть параметры объекта измеряют в нестационарных условиях, при разгоне, прогреве и прочих.
- Статодинамический режим работы, который основан на чередовании первого и второго режимов работы.

На сегодняшний день чаще всего применяют метод, основанный на устоявшемся режиме работы, статодинамический метод режима работы используется крайне редко.

1.4 Обзор существующих конструкций

К диагностируемому в процессе эксплуатации крупным агрегатам с узлами возвратно-поступательного действия следует отнести, прежде всего, поршневые компрессоры и двигатели внутреннего сгорания. В разделе настоящего обзора, посвященном общим вопросам вибродиагностики агрегатов с узлами вращения, отмечалось, что наличие в агрегате возвратно-поступательных узлов ограничивает те ее возможности, которые дает обнаружение по высокочастотной вибрации микроударов в узлах трения. Причина - рабочие ударные нагрузки в узлах возвратно-поступательного действия, маскирующие реакцию вибрации на микроудары. Следствие - переход на диагностирование по вибрации развитых дефектов с анализом формы сигналов путем осциллографирования составляющих сигнала вибрации, возбуждаемой цилиндропоршневой группой, клапанами и инжекторами.

Естественно, что некоторые из общих вибрационных признаков состояния вращающегося оборудования, получаемые при спектральном анализе вибрации,

сохраняют свою эффективность и в диагностике агрегатов с возвратно-поступательными узлами.

Вибродиагностика поршневых машин с количеством цилиндров более одного, как правило, включает в себя решение трех задач разного уровня:

- диагностика неидентичности рабочих процессов в разных цилиндрах,
- диагностика дефектного узла,
- диагностика дефекта в конкретном узле.

Для решения первой задачи используется особенность функционирования многоцилиндровых машин, крутящий момент которых формируется из сдвинутых во времени импульсных моментов каждого цилиндра. Соответственно, при изменении величины момента одного из цилиндров относительно других, на коленчатый вал и корпус машины начинает действовать пульсирующий момент, увеличивающий ее тангенциальную (поворотную) вибрацию. При двухтактной работе цилиндра эта частота совпадает, а при четырехтактной она оказывается в два раза ниже частоты вращения коленчатого вала.

Цилиндры поршневых нагнетателей обычно работают по двухтактной схеме, и обнаружить рост тангенциальной вибрации на частоте вращения просто лишь при креплении нагнетателя к фундаменту на упругих опорах, когда радиальная и поворотная вибрация машин на частоте вращения хорошо разделяется. В двигателях внутреннего сгорания чаще используется четырехтактная схема, при которой источником вибрации двигателя на половине частоты вращения, могут быть только нарушения в работе одного из цилиндров. Поэтому эффективный мониторинг состояния двигателей сгорания и при упругом, и при жестком креплении двигателя реализуется простейшими виброанализаторами, способными измерять спектр вибрации и определять ее величину на частоте вращения коленчатого вала и на ее субгармонике (половине частоты вращения). Необходимо только количественно задать порог на уровень вибрации с частотой в половину оборотной или на ее отношение к уровню оборотной вибрации для конкретной частоты вращения двигателя. Порог

опасности может составлять около 5% (по вибоускорению).

Решить вторую задачу - определения дефектного цилиндра можно путем сравнения широкополосных спектров вибрации цилиндров, измеряя их, например, в одних и тех же точках на крышках разных цилиндров. Если причина в работе клапанов - изменения в их работе можно обнаружить, сравнивая с эталоном по группе одинаковых машин широкополосные спектры вибрации опор вращения коленчатых валов. Контролировать состояние турбин высокого давления можно по широкополосным спектрам вибрации их опор вращения.

Первые две задачи – это задачи выявления дефектной машины и, предварительно, дефектного узла, необходимые для принятия решения о проведении работ по дефектации, а далее - по наладке или ремонту.

Диагностика, требуемая для наладки двигателей внутреннего сгорания - клапанов и топливной аппаратуры - более сложная и требует совместного анализа формы рабочих процессов и импульсной вибрации. Из рабочих процессов – это их индикаторная диаграмма, из вибрационных - импульсная вибрация крышек цилиндров и топливных трубок.

Следующий и более сложный вопрос - диагностика износа механических элементов цилиндропоршневой группы - колец, подшипников коленчатого вала, кривошипно-шатунных узлов. В многоцилиндровых поршневых нагнетателях, где работа клапанов определяется давлением в цилиндре, интегральную оценку износа каждого цилиндра можно производить по временным задержкам срабатывания клапанов в разных цилиндрах. При этом дефектный клапан, если таковой есть, выделяется по форме импульсной вибрации, регистрируемой при его открывании и закрывании, а также по интервалу между моментами открытия и закрытия.

В дизеле клапанный механизм жестко связан с распределительными валами, угол срабатывания клапанов зависит от состояния (износа) собственно клапанов и распределительного вала и практически не зависит от износа подшипников коленчатого вала и шатунно-кривошипного механизма. Поэтому оценку их износа пытаются проводить по форме и сдвигу во времени ударного импульса,

возникающего при реверсе поршня перед подачей топлива в цилиндр.

Существует два главных принципа для измерения показаний вибрации:

- Динамический принцип
- Кинематический принцип

При применении кинематического принципа измерения проводятся относительно одной точки, изменения координат данной точки определяются относительно начала координат, то есть базовой неподвижной точки.

Динамический принцип позволяет проводить измерения показателей вибрации относительно псевдонеподвижной точки, являющейся «плавающей» и определяющаяся моментом смены положительного заряда датчика на отрицательный. В основе динамического принципа лежит применение инерционных датчиков, который способны проводить измерения значений абсолютной вибрации.

Инерционные датчики делят на два подтипа:

- Параметрические инерционные датчики
- Генераторные инерционные датчики

Первый подтип инерционных датчиков имеет в своем устройстве некий элемент, меняющий объект измерения и преобразующий его в сигнал электрического тока или напряжения. При применении параметрических инерционных датчиков возникает необходимость во внешних источниках электрического тока.

Генераторные инерционные датчики в своей работе применяют принцип прямого преобразования механической вибрации в электрический сигнал. Пьезоэлектрические датчики наиболее часто встречаются среди всех видов генераторных инерционных датчиков. Основу работы пьезоэлектрических датчиков составляет пьезоэффект, осуществляемый с помощью генерации на поверхности пьезоэлектрода зарядов в результате действия внешних деформирующих или изгибающих сил, которые образуются при вибрации объекта работы с закрепленным пьезоэлектрическим датчиком.

Ниже, на рисунке 1.3 проиллюстрирован принцип работы

пьезоэлектрического датчика.

Инерционный элемент 1 имеет жёсткую связку с элементом 3 и основанием 3. Датчик крепится непосредственно в точке замера вибраций (4). колебания объекта 4 происходят, как показано на рисунке (сила F), вдоль оси датчика, которую также определяют как ось чувствительности.

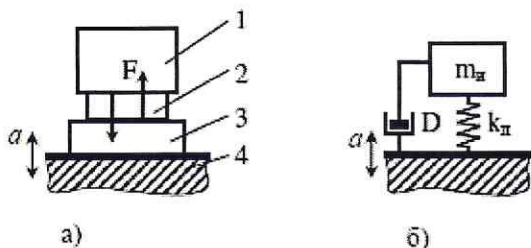


Рисунок 1.3 – Упрощенная конструкция (а) и механический аналог (б)

ПДУ с деформацией растяжения-сжатия

Механический аналог пьезоэлектрического датчика может быть проиллюстрирован в виде колебательного контура, как на рисунке 1.3, б. Такой колебательный контур обладает одной степенью свободы.

С целью осуществления грамотного выбора вибродатчика и подбора определенного по конкретным критериям и для конкретной задачи, все имеющиеся на рынке пьезоэлектрические датчики можно разделить на несколько групп в соответствии с некоторым набором признаков.

Использование подобной классификацией при проектировании, дает нам возможность точно выбрать тип конструкции и необходимые материалы, вес инерционных масс, а также другие параметры и определить метод крепления датчика к корпусу испытуемого агрегата.

Такие признаки можно разделить на следующие группы:

- Конструктивные
- Эксплуатационные
- Область применения и условия использования

Первая группа признаков производит описание устройства, типа и направления деформаций, метода и способа крепления датчика к испытуемой поверхности, вид преобразователя (пьезо, электро и др.), наличие и тип

инерционного элемента, его характеристику, вспомогательные элементы, такие как, электроды токосъёмников, изолирующие детали, и другие.

В пьезоэлектрических датчиках в большинстве случаев применяют три основных типа электромагнитных преобразователей, которые могут различаться по типу деформационного воздействия на пьезоэлемент:

- сжатие, растяжение;
- сдвиг;
- изгибание.

Также можно выделить несколько способов крепления электромагнитных преобразователей к корпусным элементам пьезоэлектрических датчиков:

- приклеивание;
- упругое поджатие;
- комбинированный способ.

Электромагнитный преобразователь можно разделить на два вида:

- Изолированные
- Неизолированные

В первом случае существует изолированный выход провода, во втором случае один из соединенных с электродом пьезоэлемента выходов, прикрепляется к корпусу пьезоэлектрического датчика. Пьезоэлектрический датчик обладает некоторыми показаниями по эксплуатации, которые могут быть выражены в следующих технических характеристиках:

- диапазон измерения (частотный);
- параметр рабочей температуры.

пьезоэлектрического датчика

Также ПДУ могут быть поделены на несколько видов в соответствии с некоторыми условными показателями

Диапазонов:

- низкие частоты от 0,1 ...1000 Гц;
- средние частоты 5000...10000 Гц;
- высокие частоты свыше 15000 Гц.

Динамический диапазон:

- датчики высокой чувствительности, сфера применения которых ограничивается измерениями параметра виброскорости;
- датчики общего назначения, сфера применения которых ограничивается измерением виброускорения;
- датчики высокого уровня измерений, сфера применения которых ограничивается измерением виброрезкости.

Температура работы:

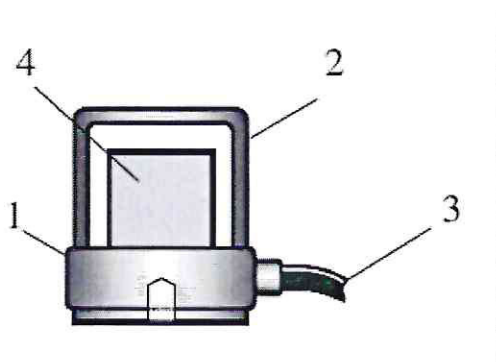
- до 150 °С; 250...400 °С; свыше 400 °С.

Сфера использования датчиков:

- в пределах лаборатории;
- датчики общей направленности;
- датчики общепромышленной направленности;
- датчики специального назначения.

ПДУ, разработанный для работы в промышленных сферах наделены более прочным корпусом, надежным устройством для крепления, дополнительными защитными устройствами. ПДУ специального назначения изготовлены конструктивно, основываясь на цели их использования в различных условиях.

Конструкция ПДУ идентична у всех видов, на рисунке 1.4. она представлена наглядно.



1 – основание корпуса; 2 – крышка корпуса; 3 – кабель; 4 –
электромеханический преобразователь

Рисунок 1.4 – Конструктивная схема ПДУ

ПДУ в своей структуре располагает основанием, закрепляемом к

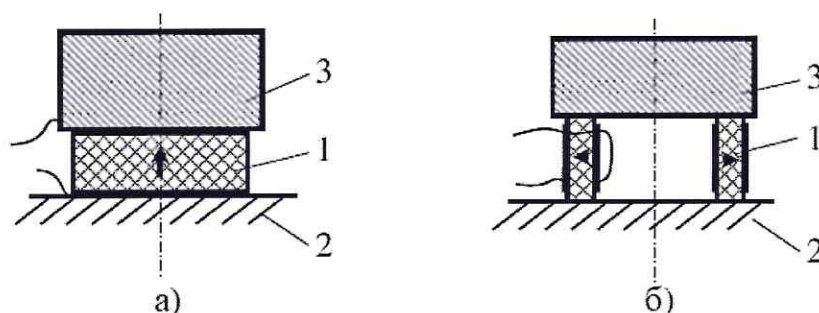
испытываемой единице и имеющим кабель 3.

Также на основании 1 крепится ЭМП. Защитный кожух имеется у большинства датчиков. Он обеспечивает механическую защиту элементов датчика и снижает влияние внешних факторов. Обратим внимание на то, что к материалу кожуха датчика предъявляются особые требования: он должен быть изготовлен из нержавеющей сталей с высокой жесткостью или конструкционной стали с обязательной защитой её от коррозии. Кожух с основанием датчика должен быть соединен герметично. Для того, чтобы вышеперечисленные требования были соблюдены, применяются следующие виды соединений:

- Сварное соединение
- Паяное соединение
- Резьбовое соединение с уплотнением
- Заполнение компаундом

Для того, чтобы соединить датчик с измерительным прибором необходимо использовать кабели специального назначения (низкий трибоэффект).

Ниже представлены схемы конструктивного исполнения датчиков, работающих на пьезоэффектах растяжения-сжатия (рисунок 1.5).



а – продольный пьезоэффект; б – поперечный пьезоэффект;

1 – пьезоэлемент; 2 – инерционная масса; 3 – основание корпуса

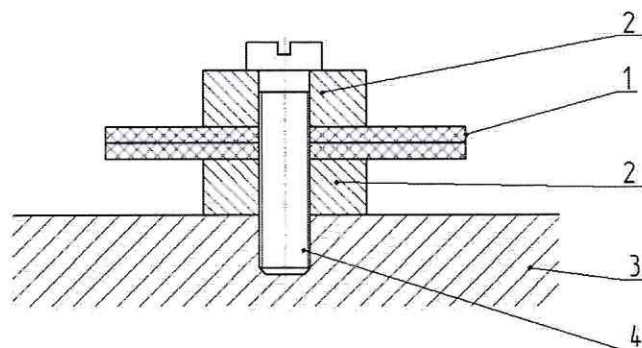
Рисунок 1.5 – Конструктивные схемы ЭМП с деформацией растяжения-сжатия

ЭМП, работающие на выше представленном типе деформации чаще всего

монтируются на корпусе при помощи клея, либо упруго поджаты резьбовым соединением.

Инерционные массы датчиков должны обладать достаточной массой и жесткостью при малых размерах.

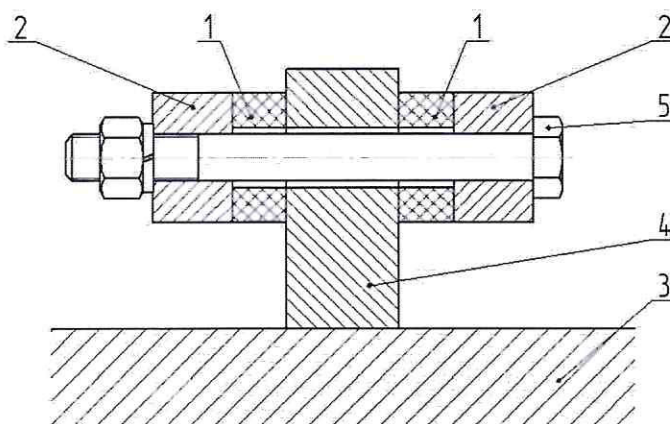
На рисунке 1.6. проиллюстрирована деформация изгиба.



1 – пьезоэлемент; 2 – опоры нижняя и верхняя; 3 – основание корпуса; 4 –
винт

Рисунок 1.6 – Датчик с деформацией изгиба

Здесь применен дисковый плоский пьезоэлемент. Обратим внимание на то, что выходной сигнал находится в прямой зависимости от размера и формы пьезоэлемента, а также от геометрических и конструктивных параметров опор. Далее, на рисунке 1.7. проиллюстрирован датчик, принципом действия которого является деформация сдвига.



1 - пьезоэлемент; 2 - инерционная масса; 3 - основание
корпуса; 4 - опора; 5 - болт

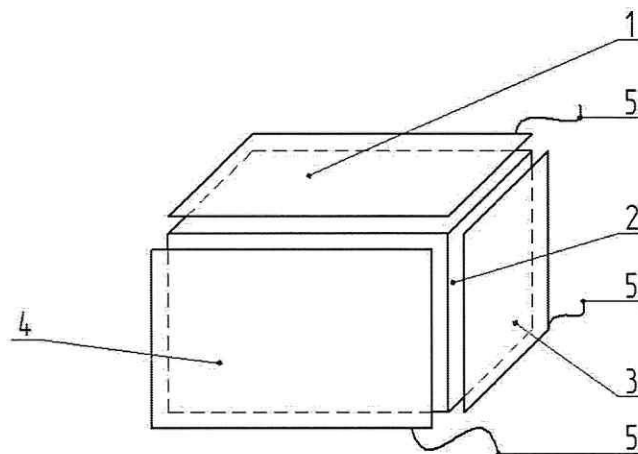
Рисунок 1.7 – Датчик с применяемый для деформации сдвига

К таким датчикам тоже предъявляются высокие требования жесткости и

плотности. Крепление датчика должно быть выполнено качественно, это поможет произвести измерение вибрации наиболее точно и снизит погрешность измерения.

На рисунке 1.8 проиллюстрирована схема устройства датчика, измеряющего виброускорение по трём осям.

При применении всех рассмотренных способов, исключая способ приклеивания, необходимо покрывать все сопрягаемые поверхности консистентной смазкой, что поможет увеличить контактную жесткость. На рисунке 1.9. проиллюстрированы основные варианты крепления ПДУ с использованием вышеуказанных способов.

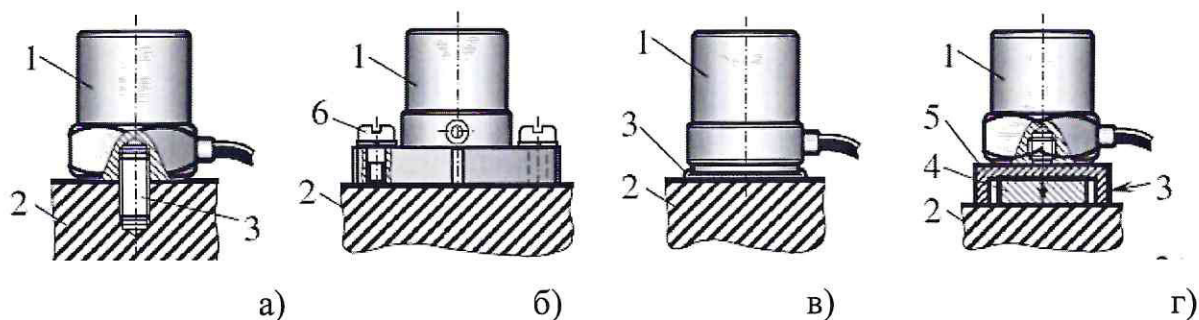


1 – пьезоэлемент работающий по оси "Y"; 2 – инерционная масса; 3 – пьезоэлемент работающий по оси "X"; 4 – пьезоэлемент работающий по оси "Z"; 5 – провод

Рисунок 1.8 – Схема датчика трёхкоординатного

Крепление датчика должно быть максимально жестким для более точной передачи вибрации. Наиболее часто используемыми типами крепления датчиков можно назвать:

- резьбовое соединение с предварительно приваренной или приклеенной вспомогательной деталью;
- непосредственное приклеивание датчика;
- магнитный способ.



1 – акселерометр; 2 – контролируемый объект; а) резьбовое крепление; б) резьбовое крепление с помощью фланца; в) клеевое крепление; г) крепление на магните

Рисунок 1.9 – Варианты крепления ПДУ

Резонирующие частоты находятся в прямой зависимости от качества закрепления датчика, в связи с этим наиболее часто применяемым способом крепления является резьбовой способ, поскольку характеризуется своей простотой и универсальностью.

1.5 Выводы по главе 1

Перечисленные приборы и стенды можно использовать для диагностирования автомобилей в сельском хозяйстве, а многие из них - и для оценки технического состояния тракторов и комбайнов.

В качестве недостатков этих приборов можно отметить применение относительно устаревших электронных элементов, недостаточное использование современных процессорных, компьютерных систем, отсутствие средств диагностирования гидроприводов, а также силовой передачи.

В АПК серийное производство диагностических средств, как правило, отсутствует. В лучшем случае выпускается малая серия – 3 – 10 шт. в месяц. К таким предприятиям и организациям относится ГОСНИТИ, в котором лаборатория № 14 своими силами изготавливает и комплектует разработанные ею комплекты передвижных и переносных средств диагностирования, первую очередь, экологического контроля. В 1995 г. лабораторией разработан комплект средств КИ – 28032 , предназначенный для выявления неисправностей дизелей,

АТЭ, гидроприводов и силовой передачи самоходных сельскохозяйственных машин в объеме работ ТО – 1, ТО – 2, ТО – 3 тракторов; ТО – 1, ТО – 2 комбайнов, а также устранения несложных неисправностей при ТР машин. Для выполнения этих работ комплект включает в себя основные современные малогабаритные диагностические средства для экспресс-контроля и выявления неисправностей основных механизмов и систем машин, а также комплект универсального инструмента. Другой менее потребный слесарный инструмент пользователь комплекта заимствует из инструмента тракториста- машиниста обслуживаемой машины.

Методы диагностирования, за исключением способов передачи и обработки сигналов, как за рубежом, так и в России отличаются незначительно.

Что касается встроенных в автомобили средств диагностирования, то в настоящее время они практически не развиты в связи с тем, что отечественная автомобильная промышленность находится в тяжёлом экономическом положении.

В целом следует отметить большую номенклатуру внешних средств диагностирования, в том числе электронных, выпускаемых в России для ТО и ремонта автомобилей.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Теоретические основы вибродиагностирования

2.1.1 Определение вибрации

Колебания объекта, характеризующиеся механическими действиями, называются вибрацией. Вибрация имеет несколько типов, самым простым из которых считаются регулярно повторяющиеся движения тела, происходящие рядом с равновесным положением. Поскольку объект перемещается как одно целое и его структурные части наделены одинаковой скоростью относительно величины и направления, такие колебания также называют общей вибрацией.

Равновесным положением называют такое положение объекта, при котором он находится в состоянии покоя или при котором он будет занимать определенное положение в той ситуации, если сумма действующих на него сил будет равна нулю.

Колебательные движения твердых объектов описываются простейшими видами движения, которых насчитывается шесть:

- Поступательные движения в трех взаимно перпендикулярных направлениях (x , y , z в декартовых координатах)
- Вращательные движения относительно трех взаимно перпендикулярных осей (Ox , Oy , Oz).

Любое перемещение тела, которое можно квалифицировать, как сложное, можно распределить на шесть простейших видов движения, поэтому у таких объектов есть шесть степеней свободы.

Вибрация тела в любом случае должна быть вызвана определенными силами возбуждения. Силы возбуждения действуют на тело извне или создаются внутри объекта. Частота и направление силы возбуждения определяются вибрацией объекта. В связи с этим анализ вибраций предоставляет возможность произвести выявление силы возбуждения при работе агрегата, поскольку на силы возбуждения влияет состояние агрегата, а данные о характеристиках агрегата и законах взаимодействия позволяют

произвести диагностику ее дефектов.

2.1.2 Простейшее гармоническое колебание

Самые простые из всех колебательных движений – это упругие прямолинейные колебания тела на пружине, представленные на рисунке ниже.

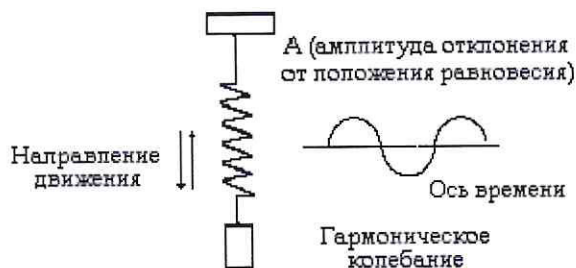


Рисунок 2.1 – Пример простейшего колебания

Рисунок 2.1. иллюстрирует механическую систему с одной степенью свободы. Это означает, что в случае отведения объекта на некоторое расстояние от равновесного положения и затем его отпущения, пружина поставит объект назад, в равновесную точку, однако, данное тело приобретет кинетическую энергию, пропустит равновесную точку и изменит направление пружины на противоположное. Следующим действием будет снижение скорости объекта до остановки в другой крайней точке, от которой сжатая или растянутая пружина снова вернет объект обратно в равновесное положение. Вышеописанный процесс будет повторяться бесконечное количество раз и при этом энергия от тела к пружине и обратно будет перетекать непрерывно.

На рисунок 2.1. отражен график, выражающий зависимость перемещения объекта от времени. Если трение в системе отсутствует, то подобные колебания будут непрерывными и длительными и при этом значения амплитуды и частоты не будут меняться. Однако, подобное не представляется возможным в реально существующих механических системах, поскольку трение существует абсолютно во всех механических системах, именно трение способствует постепенному снижению амплитуды и превращению в тепло энергии колебаний.

Промежуток времени, который является неотъемлемой частью для завершения одного цикла колебания называется периодом и измеряется в

секундах или миллисекундах, единицы измерения определяет скорость колебаний.

Показатель обратный периоду, показывающий число циклов колебания за конкретный промежуток времени, называется частотой колебания и измеряется в герцах (1Гц= 1/секунду). Когда рассматриваются вращающиеся машины, то частота основного колебания соответствует частоте вращения, которая измеряется в об/мин (1/мин) и определяется как:

$$v = F \cdot x \cdot 60, \text{ об/мин.} \quad (2.1)$$

где F- частота в Гц, поскольку минута содержит 60 секунд.

2.1.3 Уравнения колебаний

Если по вертикальной оси графика отложить положение (смещение) объекта, испытывающего простые гармонические колебания, а по горизонтальной шкале - время (рисунок 2.1), то результатом будет синусоида, которую возможно описать следующим уравнением:

$$d = D \cdot \sin(\omega \cdot t), \text{ м} \quad (2.2)$$

где d-мгновенное смещение;

D-максимальное смещение;

$\omega = 2\pi F$ - угловая (циклическая) частота, $\pi=3,14$.

Быстрота изменения положения объекта определяется скоростью движения. Быстрота или скорость изменения величины относительно времени называется производной по времени и рассчитывается по следующей формуле:

$$V = \frac{dd}{dt} = n \cdot D \cdot \cos(\omega \cdot t), \text{ м/с} \quad (2.3)$$

где n - мгновенная скорость.

Данная формула иллюстрирует нам факт того, что скорость при гармоническом колебании также ведет себя по синусоидальному закону, однако, вследствие дифференцирования и превращения синуса в косинус, скорость сдвинута по фазе на 90 (то есть на четверть цикла) относительно смещения.

Скорость изменения скорости называется ускорением. Данный показатель

высчитывается по следующей формуле:

$$a = \frac{dv}{dt} = -n^2 \cdot D \cdot \sin(\omega \cdot t), \text{ м/с}^2 \quad (2.4)$$

где a - мгновенное ускорение.

Вышеописанные уравнения показывают пропорциональность скорости смещению, умноженному на частоту, а ускорение смещению, умноженному на квадрат частоты.

Из этого следует, что большим смещения на высоких частотах всегда определяются очень большими скоростями и чрезвычайно большими ускорениями. Итак, высокие частоты не могут сопровождаться большими смещениями, поскольку образующиеся в такой ситуации огромные ускорения приведут к разрушению системы.

2.1.4 Динамика механических систем

Маленькое и компактное тело, предположим кусочек мрамора, возможно описать как простую материальную точку. Действие на нее внешней силы приведет данную точку в движение, которое описывается законами Ньютона, которые определяют факт того, что покоящееся тело будет оставаться в покое, если на него не действует внешняя сила. Если же к материальной точке приложена внешняя сила, то она придет в движение с ускорением, пропорциональным этой силе.

Большое количество механических систем более сложные по сравнению с простой материальной точкой и не всегда перемещаются под воздействием силы как единое целое. Роторные машины не являются абсолютно твердыми и отдельные их узлы имеют различные жесткости, их реакция на внешнее воздействие определяется характером самого воздействия и динамическими характеристиками механической конструкции. Проблемы моделирования и предугадывания реакции конструкций на известное внешнее воздействие решаются с помощью метода конечных элементов (МКЭ), а также модального анализа.

2.1.5 Измерения амплитуды вибрации

Для описания и измерения механических вибраций используются следующие понятия:

Максимальная Амплитуда (Пик), которая определяется максимальным отклонением от нулевой точки, или от положения равновесия.

Размах (Пик-Пик), который представляет собой разницу между положительным и отрицательным пиками. Для синусоидального колебания размах в точности равен удвоенной пиковой амплитуде, так как временная реализация в этом случае симметрична. Стоит отметить, что в общем случае, такое предположение оказывается не верным.

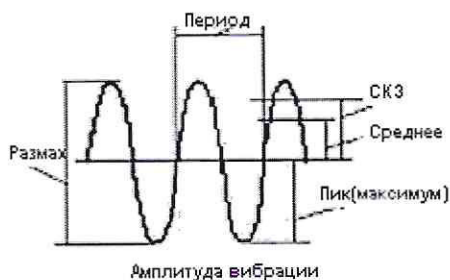


Рисунок 2.2 – Схема сигнала

Среднеквадратическое значение амплитуды (СКЗ) равно квадратному корню из среднего квадрата амплитуды колебания. Для синусоидальной волны среднеквадратического значения амплитуды в 1,41 раза меньше пикового значения, но подобное соотношение имеет смысл только для данного случая.

Среднеквадратическое значение амплитуды одна из самых важных характеристик амплитуды вибрации. Для того, чтобы определить среднеквадратическое значение амплитуды существует необходимость в возведении в квадрат мгновенных значений амплитуды колебаний и усреднения получившиеся величины по времени. Для получения правильного значения, интервал усреднения должен быть не меньше одного периода колебания. После этого извлекается квадратный корень и получается среднеквадратическое значение амплитуды. Среднеквадратическое значение амплитуды должно применяться во всех расчетах, относящихся к мощности и энергии колебания.

Например, сеть переменного тока 117В (речь идет о северо - американском стандарте). 117 В – это среднеквадратичное значение напряжения,

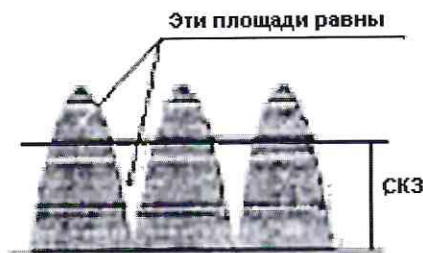


Рисунок 2.3 – График СКЗ

которое применяется для расчета мощности (Вт), потребляемой включенными в сеть приборами.

2.1.6 Понятие фазы

Мера относительного сдвига во времени двух синусоидальных колебаний называется фазой. Несмотря на то, что фаза – это временная разность по своей природе, данный показатель в большинстве случаев измеряют в угловых единицах (градусах или радианах), представляющих собой колебания и, как правило, не зависящих от точного значения его периода.

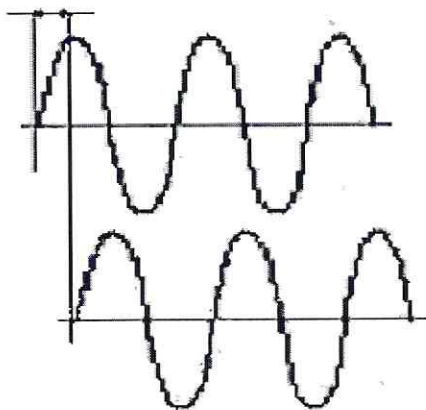


Рисунок 2.4 – Сдвиг по фазе

Сдвигом фазы называют разность двух колебаний. Сдвиг фазы в 360 градусов является временной задержкой на один цикл, или на один период, что, выражается в полной синхронности колебаний. Разность фаз в 90 градусов соответствует сдвигу колебаний на 1/4 цикла друг относительно друга и т.д. Сдвиг фазы может быть двух видов, в зависимости от того отстает или опережает

одна временная реализация другую:

- Положительный сдвиг фазы
- Отрицательный сдвиг фазы

Фаза также измеряется по отношению к конкретному моменту времени. Например, фаза дисбалансовой компоненты ротора (тяжелого места), взятая относительно положения какой-то его фиксированной точки. Для измерения этой величины необходимо сформировать прямоугольный импульс, соответствующий определенной опорной точке на валу. Этот импульс может генерироваться тахометром или любым другим магнитным или оптическим датчиком, чувствительным к геометрическим или световым неоднородностям на роторе, и называется иногда тахоимпульсом. Проводя измерение задержки (опережения) между циклической последовательностью тахоимпульсов и вибрацией, вызванной дисбалансом, мы тем самым определяем и их фазовый угол.

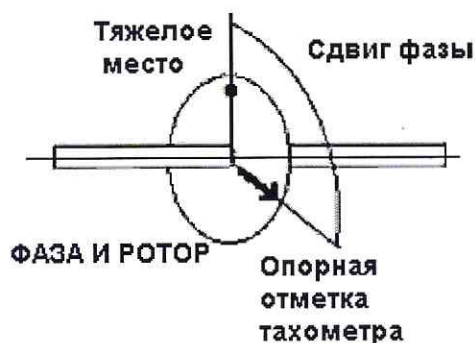


Рисунок 2.5 – Фазовый угол

Фазовый угол может измеряться относительно опорной точки как в направлении вращения, так и в направлении, противоположном вращению, т.е. либо как фазовая задержка, либо как фазовое опережение.

2.2 Разработка метода инвариантного вибродиагностирования

Одним из важнейших условий поддержания на высоком уровне эффективной и безотказной работы двигателей, наряду со своевременным обнаружением и предупреждением отказов, возникающих в процессе

эксплуатации, является прогнозирование остаточного ресурса деталей на основе инвариантного метода.

Правильность оценивания состояния машины при проведении процедуры технического обслуживания, частью которого является процесс технического диагностирования, находится в прямой зависимости от понимания сущности рабочих процессов, которые являются носителями необходимой для диагностики информации, а также от знания законов возникновения и развития дефектов, и их инвариантных признаков, где инвариантность – есть неизменность какой-либо величины по отношению к каким либо преобразованиям. То есть независимость от физических условий, шумов и т.д.

Рассмотрим эксплуатационные дефекты наиболее характерные для деталей цилиндропоршневой группы:

- Дефект, связанный с задиром цилиндрической части поршня с переносом его материала на поверхность гильзы;
- Дефект, связанный с износом и разрушением поверхностей верхней кольцевой канавки, кольца и его перемычки;
- Дефект, связанный с оплавлением и прогаром днища поршня;
- Дефект, связанный с интенсивным отложением нагара на элементах головки поршня;
- Дефект, связанный с утерей подвижности колец;
- Дефект, связанный с наволакиванием металла и задиром на элементах цилиндропоршневой группы;
- Дефект, связанный с износом торцевых поверхностей колец и боковых поверхностей юбки;
- Дефект, связанный с разрушением юбки поршня;
- Дефект, связанный с появлением трещин в бобышках поршня.
- Дефект, связанный с отказом и вибрационными процессами в оборудовании

С учетом некоторых моментов, которые учитываются при разработке и

применении методов и средств инвариантной вибродиагностики, дефекты можно разделить по следующим критериям:

- Критерий типа разрушения
- Критерий момента возникновения
- Критерий временного характера возникновения
- Критерий причины появления

Для того чтобы создать систему распознавания дефектов цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания необходимо взять во внимание диапазон трансформаций наблюдаемого сигнала. Основные требования предполагают создание классификатора, инвариантного трансформациям объекта при распознавании образов дефектов. Таким образом, трансформации входного сигнала, исходящие от объекта наблюдения не должны влиять на результат классификации.

В настоящее время можно выделить три приема обеспечения инвариантности нейронной сети классификации к подобным трансформациям:

1. Структурная инвариантность. Инвариантность может быть привнесена в нейронную сеть с помощью соответствующей структуризации.

2. Инвариантность по обучению. Нейронные сети обладают естественной способностью классификации образов. Эту способность можно использовать для обеспечения инвариантности сети к трансформациям и наложениям.

3. Использование инвариантных признаков. Третий метод создания инвариантного нейросетевого классификатора основывается на предположении, что из входного сигнала можно выделить информативные признаки, которые описывают самую существенную информацию, содержащуюся в наборе данных, и при этом инвариантны к трансформациям входного сигнала (рисунок 2.6).

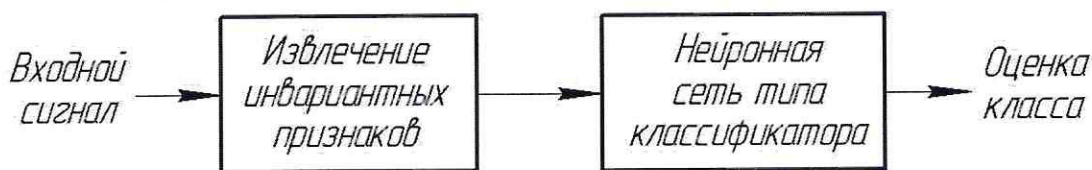


Рисунок 2.6 – Схема системы, использующей пространство инвариантных признаков

Одновременный анализ образа общего спектра вибрации в определенном временном диапазоне, соответствующего определенному циклу работы двигателя с вычетом образа высокочастотной составляющей движения газов, а также образа уровня вибрации в спектре собственных частот колебаний отдельных деталей цилиндропоршневой группы дает возможность выявить инвариантные признаки вибрации деталей. При присутствии определенного дефекта в двигателе образ сигнала (временной и узкоспектральный) примет отличительный вид, поддающийся классификации нейронной сети типа многослойный персептрон.

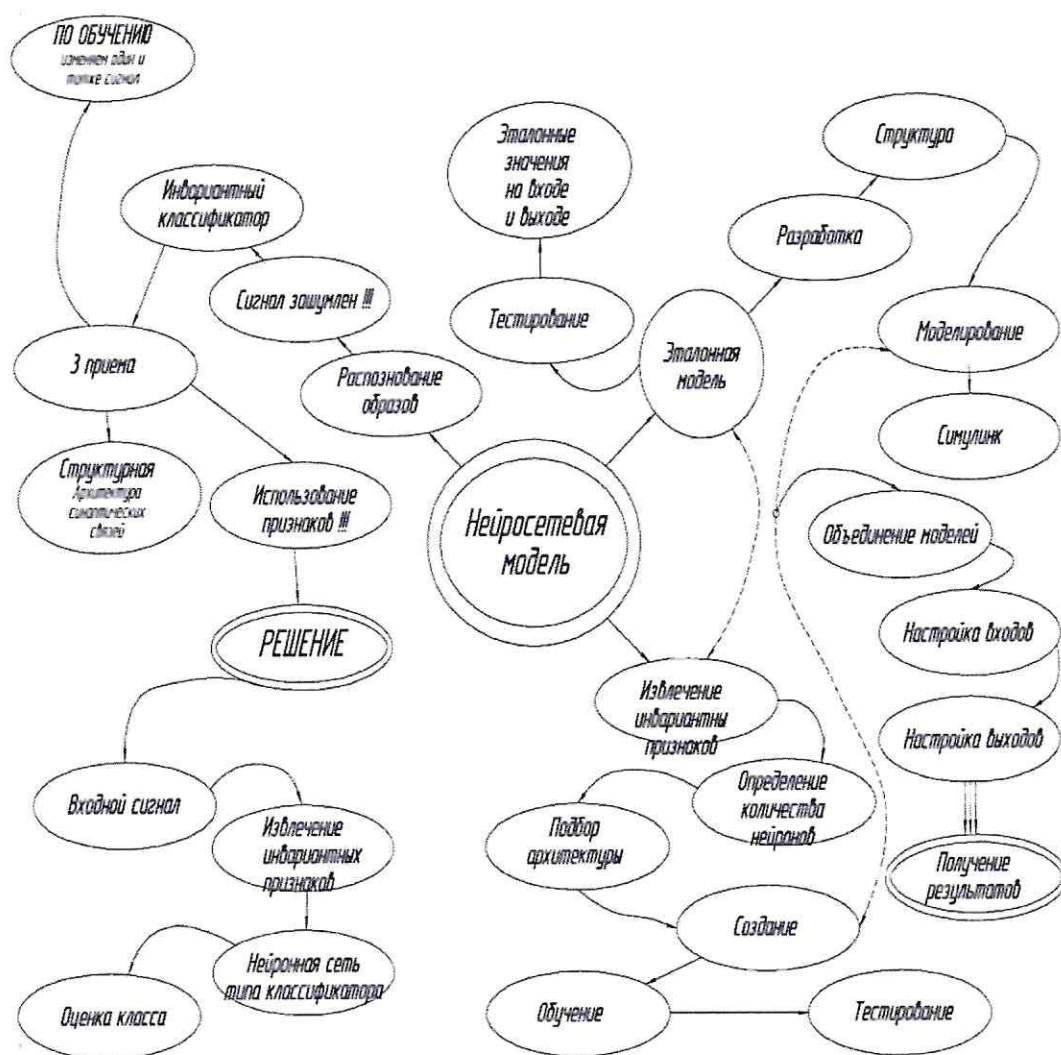


Рисунок 2.7 – Ментальная карта инвариантного метода диагностики цилиндропоршневой группы ДВС

Для извлечения инвариантных признаков было принято решение использовать эталонную модель цилиндропоршневой группы (рисунок 2.8). В качестве моделирующей системы был использован пакет Simulink, он позволяет осуществлять исследование поведения динамических линейных и нелинейных систем. В процессе моделирования есть возможность наблюдать за процессами, которые происходят в системе.

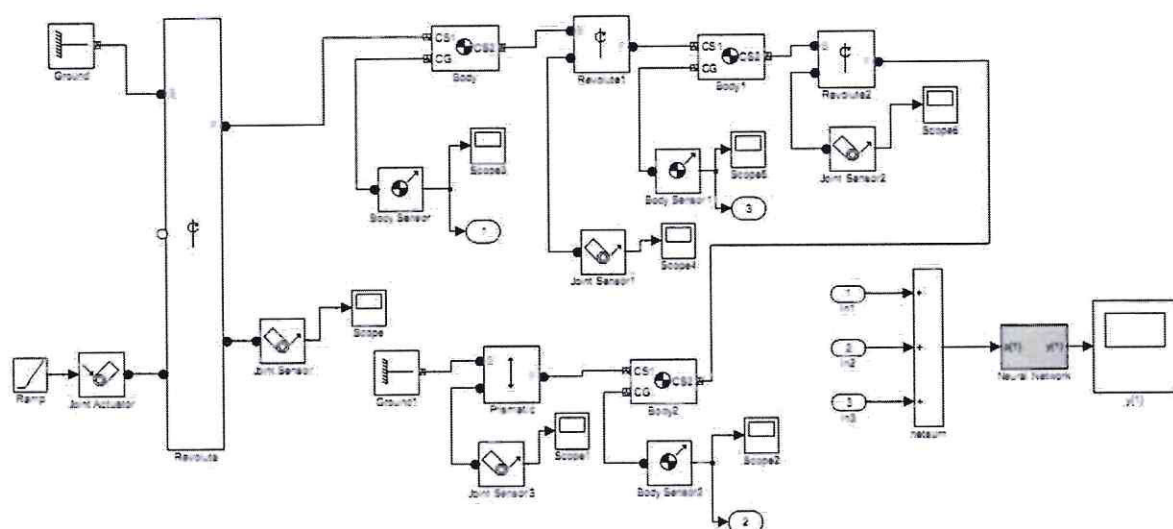


Рисунок 2.8 – Схема эталонной модели цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания

Тестируя полученную модель, были извлечены инвариантные признаки, представляющие собой набор синаптических весов для использования их нейронами инвариантного классификатора.

2.3 Разработка инвариантного классификатора и его обучение

Для разработки классификатора будем использовать архитектуру нейронной сети обратного распространения ошибки типа многослойный персептрон.

Рассмотрим схему нейрона – однотипного элемента из которых состоит

нейронная сеть (рисунок 2.9).

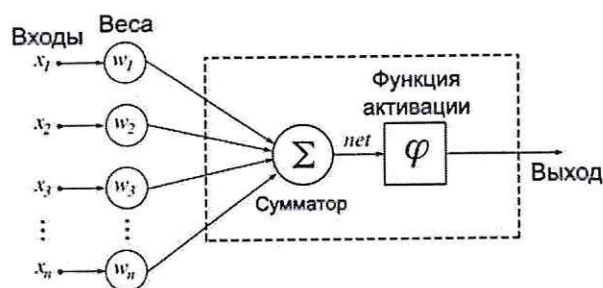


Рисунок 2.9 – Схема единичного нейрона

Единичный искусственный нейрон состоит из синапсов, которые связывают его входы с ядром. Ядро нейрона состоит из сумматора и активационной функции.

Каждый синапс имеет вес, определяющий степень влияния входа нейрона на его состояние. Состояние нейрона рассчитывается по следующей формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \quad (2.9)$$

где n – число входов нейрона

x_i – значение i -го входа нейрона

w_i – вес i -го синапса.

Далее вычисляется значение аксона нейрона с использованием нижеприведенной формулы:

$$Y = f(S) \quad (2.10)$$

где f – активационная функция.

Чаще всего в качестве активационной функции применяется сигмоид, описывающийся по следующей формуле:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}} \quad (2.11)$$

Главный положительный момент данной функции заключается в том, что она дифференцируема на всей оси абсцисс и обладает достаточно простой производной:

$$f'(x) = \alpha \cdot f(x) \cdot (1 - f(x)) \quad (2.12)$$

Нейронная сеть обратного распространения типа персептрон состоит из нескольких слоев нейронов, при этом каждый нейрон слоя i связан с каждым нейроном слоя $i+1$, т. е. речь идет о полно связной НС.

Задача обучения НС заключается в выводе определенной функциональной зависимости $Y = f(X)$ где X – входной, а Y – выходной векторы. Подобная задача даже при ограниченном наборе входных данных может иметь огромной количество вариантов решения. В связи с этим, при обучении актуальна постановка задачи по минимизации целевой функции ошибки НС, которая находится по методу наименьших квадратов:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2 \quad (2.13)$$

где y_j – значение j -го выхода нейросети,

d_j – целевое значение j -го выхода,

p – число нейронов в выходном слое

Обучение нейросети производится с помощью метода градиентного спуска, т. е. на каждой итерации изменение веса высчитывается по следующей формуле:

$$\Delta w_{ij} = -\eta \cdot \frac{dE}{dw_{ij}} \quad (2.14)$$

где η – параметр, определяющий скорость обучения.

$$\frac{dE}{dw_{ij}} = \frac{dE}{dy_j} \cdot \frac{dy_j}{dS_j} \cdot \frac{dS_j}{dw_{ij}} \quad (2.15)$$

где y_j – значение выхода j -го нейрона,

S_j – взвешенная сумма входных сигналов, определяемая по формуле (2.9).

При этом множитель

$$\frac{dS_j}{dw_{ij}} = x_i \quad (2.16)$$

где x_i – значение i -го входа нейрона.

Далее произведем вычисление первого множителя формулы (2.15).

$$\frac{dE}{dy_j} = \sum_k \frac{dE}{dy_k} \cdot \frac{dy_k}{dS_k} \cdot \frac{dS_k}{dy_j} = \sum_k \frac{dE}{dy_k} \cdot \frac{dy_k}{dS_k} \cdot w_{jk}^{(n+1)} \quad (2.17)$$

где k – число нейронов в слое $n+1$.

Произведем ввод вспомогательной переменной

$$\delta_j^{(n)} = \frac{dE}{dy_j} \cdot \frac{dy_j}{dS_j} \quad (2.18)$$

В таком случае нам предоставляется возможность вывести рекурсивную формулу для вычисления n-ного слоя, если нам известно следующего (n+1)-го слоя.

$$\delta_j^{(n)} = \left[\sum_k \delta_k^{(n+1)} \cdot w_{jk}^{(n+1)} \right] \cdot \frac{dy_j}{dS_j} \quad (2.19)$$

Вычисление для последнего слоя НС достаточно простое, поскольку целевой вектор является уже известной величиной.

$$\delta_j^{(N)} = (y_i^{(N)} - d_i) \cdot \frac{dy_j}{dS_j} \quad (2.20)$$

Далее запишем формулу (2.14) в развернутом варианте

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \cdot \delta_j^{(n)} \cdot x_i^n \quad (2.21)$$

Полный алгоритм обучения нейросети заключается в выполнении следующих этапов:

1. Подать на вход нейросети один из требуемых образов и вычислить значения выходов нейронов нейросети
2. Произвести расчет для выходного слоя НС по формуле (2.20) и определить изменения весов выходного слоя N по формуле (2.21)
3. С помощью формул (2.19) и (2.21) вычислить соответственно и $\Delta w_{ij}^{(N)}$ для остальных слоев НС, $n = N-1..1$
4. Произвести корректировку всех весов нейросети

$$w_{ij}^{(n)}(t) = w_{ij}^{(n)} \cdot (t - 1) + \Delta w_{ij}^{(n)}(t) \quad (2.22)$$

5. В случае, если ошибка оказывает существенное влияние, необходимо вернуться к шагу 1.

Далее была подобрана архитектура и смоделирована на языке Python классификационная нейронная сеть, после настройки и объединения полученных синаптических весов с эталонной моделью цилиндропоршневой группы, согласования их входов и выходов нейросетевая модель

цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания приняла окончательный вид. Импорт библиотек расширений PYTHON представлен в приложении 1.

2.4 Выводы по главе 2

1. Анализ стационарных сигналов основывается на спектральном анализе на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ). Однако при использовании подобного метода существуют некоторые проблемы, такие как:

- Повышение соотношения сигнал -шум, достигнутого с помощью усреднения и синхронного накопления

- Невысокая разрешающая способность анализа в высокочастотной области

Также стоит обратить внимание на то, что данный метод является неэффективным при нестационарном сигнале с временным масштабом нестационарности, который ниже продолжительности, являющейся объектом анализа.

2. Деление реализации на отдельные короткие одинаковой длины участки с последующим применением алгоритма быстрого преобразования Фурье является самым разумным путем использования быстрого преобразования Фурье. Особенность подобного анализа заключается в необходимости использования сглаживающих окон (окон Хемминга, Ханна, окна "flet-top" и др.). Если их исключить, то увеличится влияние эффекта растекания дискретных составляющих в боковые лепестки.

3. Вэйвлет анализ относится к методам время-частотного анализа. С помощью данного анализа, при учете внутренне присущего ему октавного (кратно октавного) частотного темпа анализа, характерного для традиционного анализа акустических сигналов, возможно получение признаков эволюции сигналов вибрации необходимых также и для решения задач вибродиагностики.

4.Наиболее эффективным методом для обеспечения инвариантности нейросетевых классификаторов с целью создания экспертной системы вибродиагностики двигателей внутреннего сгорания, можно считать применение

инвариантных признаков.

5. Использование нейронной сети классификатора типа многослойный персептрон в отличие от статистических методов анализа основан на параллельной обработке информации, а также имеет способность к обучению и самообучению, то есть получать адекватный результат на «незнакомых» входных данных в виду гибкости архитектуры. НС могут работать в условиях неопределенности и зашумленности входящего сигнала.

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общая программа экспериментальных исследований

Для проведения экспериментов была собрана установка схема, которой представлена на рисунке 3.1.

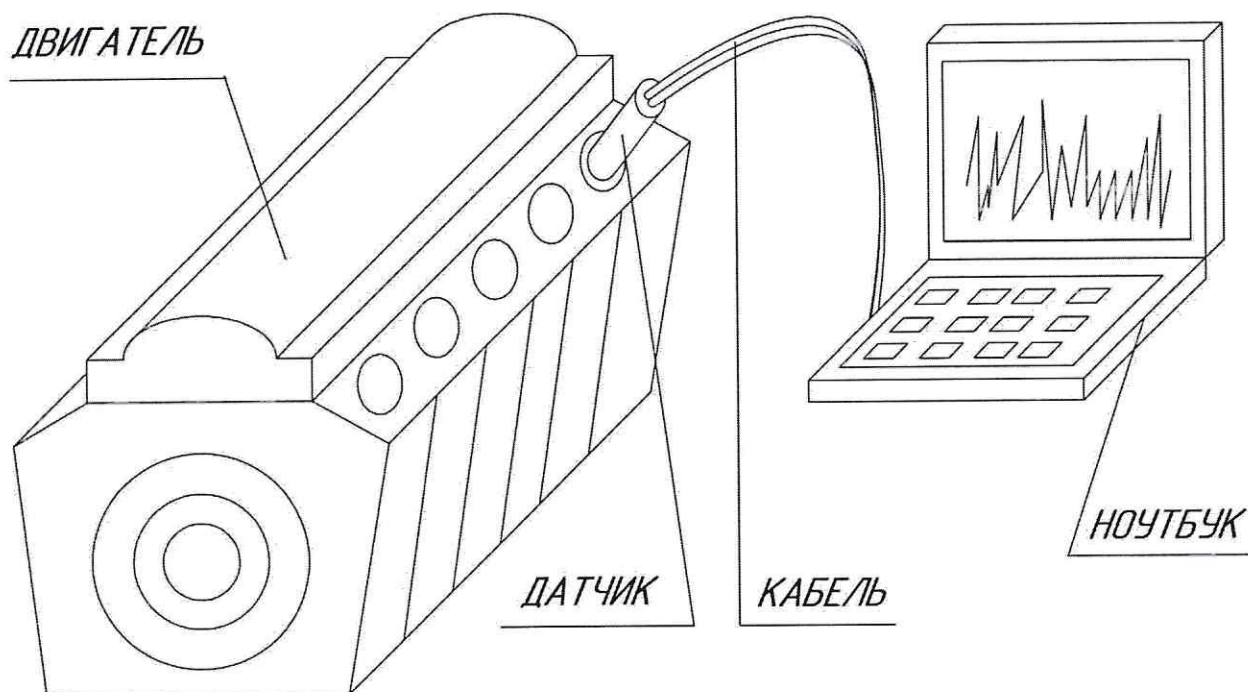


Рисунок 3.1 – Схема установки для вибродиагностики

Акустические измерения проводились в соответствии с ГОСТ 11870 – 66. Установка состоит из датчика вибрации, кабеля и компьютера, со следующими техническими характеристиками:

- процессор Celeron – 1.7 Г Гц;
- ОЗУ – 128 Мбайт;
- Операционная система – Windows XP(Professional).

Принцип действия датчика основан на электрических свойствах пьезоэлемента, входящего в его конструкцию. При давлении на грань пьезоэлемента, в его структурной решётке происходит взаимодействие атомов, приводящих к образованию электрического заряда, пропорционального

величине давления на его грань. Грузки датчика при вибрации объекта в следствие своей определённой инерции создаёт давление на пьезоэлемент, в котором давление преобразуется в электрический заряд, то есть сигнал. Сигнал имеет свою определенную частоту, силу тока, напряжение, так же в нём присутствуют определённые фоновые шумы, обусловленные плохой изолированностью датчика. Сигнал из вибродатчика передавался по кабелю в компьютер. В компьютер сигнал передавался через вход LINE, входящий в состав звуковой карты материнской платы. Выбор данного входа был обусловлен тем, что он может принимать сигналы более широкого диапазона нежели вход MIKROFONE. К тому же он более устойчив к различным видам помех, а также к замыканию в рабочей сети. Затем сигнал записывался при помощи стандартной программы операционной системы WINDOWS XP корпорации MIKROSOFT под названием звукозапись.

Путь, ведущий к открытию этой программы: ПУСК – Программы – Стандартные – Развлечения – Звукозапись.

Необходимые настройки этой программы:

- Тип записываемых сигналов	МОНО;
- Максимальная частота сигнала	22,05 кГц;
- Скорость записи	13 кБ/с;
- Оперативная память	16 Бит;
- Формат данных	PCM;
- Формат полученной записи	· WAV;

Полученные файлы были сохранены в папке ISPITANIJA.

Испытания проводились на трёх различных режимах работы двигателя:

- холостой режим;
- номинальный режим;
- максимальный режим.

Испытания при каждом режиме работы двигателя проводились в трёх координатных направлениях, что было вызвано необходимостью получения абсолютного сигнала, который в отличие от измерения в отдельной плоскости

даёт полную информацию о происходящей в двигателе вибрации. Датчик устанавливался на стенках блока цилиндров напротив диагностируемого цилиндра, испытания были проведены по три раза на каждом режиме работы двигателя.

В файлы записывался сигнал с фоновым шумом, что, конечно же, давало определённую погрешность в измерении.

Затем полученные данные анализировались в программной среде MATLAB 6.5

Для импорта файла испытания в его рабочую среду использовался «Мастер импорта». Для его активизации используется следующий путь в используемой программе MATLAB:

Файл – Импорт данных – Имя файла.

Мастер данных представляет импортируемый сигнал в виде вектора, длина которого и абсолютное состояние зависит от длины сигнала и его содержания, то есть от его амплитудно-частотной характеристики.

Для обработки полученных данных используется пакет расширения MATLAB, Signal Processing Toolbox.

Пакет обеспечивает возможности создания программ обработки сигналов для современных научных и технических приложений. В пакете используется разнообразная техника фильтрации и алгоритмы спектрального анализа. Пакет содержит модули для разработки линейных систем и анализа временных рядов. Пакет полезен, в частности, в таких областях, как обработка аудио-видеоинформации, телекоммуникации, геофизика, задачи управления в реальном режиме времени, экономика, финансы и медицина. Основные свойства пакета:

- Моделирование сигналов и линейных систем;
- Проектирование, анализ и реализация цифровых и аналоговых фильтров ;
- Быстрое преобразование Фурье, дискретное косинусное и другие преобразования ;
- Оценка спектров и статистическая обработка сигналов;

- Параметрическая обработка временных рядов;
- Генерация сигналов различной формы.

Пакет Signal Processing –оболочка для анализа и обработки сигналов. В нём используются алгоритмы, выбранные по критериям максимальной эффективности и надёжности. Пакет содержит широкий спектр алгоритмов для представления сигналов и линейных моделей. Этот набор позволяет пользователю достаточно гибко подходить к созданию сценария обработки сигналов. Пакет включает алгоритмы для преобразования модели из одного представления в другое.

Пакет включает полный набор методов для создания цифровых фильтров с разнообразными характеристиками. Он позволяет быстро разрабатывать фильтры верхних и нижних частот, полосовые пропускающие и задерживающие фильтры, многополосные фильтры, в том числе фильтры Чебышева, Юла – Уолкера, эллиптические и другие.

Графический интерфейс позволяет проектировать фильтры, задавая требования к ним в режиме переноса объектов мышью. В пакет включены следующие новые методы проектирования фильтров:

- обобщённый метод Чебышева для создания фильтров с нелинейной фазовой характеристикой, комплексными коэффициентами или произвольным откликом;
- метод наименьших квадратов с ограничениями позволяет пользователю явно контролировать максимальную ошибку;
- метод расчёта минимального порядка фильтра с окном Кайзера;
- Обобщённый метод Баттерворта для проектирования низкочастотных фильтров с максимально однородными полосами пропускания и затухания.

Основанный на оптимальном алгоритме преобразования Фурье, пакет обладает непревзойдёнными характеристиками для частотного анализа и спектральных оценок. Пакет включает функции для вычисления дискретного преобразования Фурье, дискретного косинусного преобразования, преобразования Гильберта и других преобразований, часто применяемых для

анализа, кодирования и фильтрации. В пакете реализованы такие методы спектрального анализа как метод Вельха, метод максимальной энтропии и другие.

При помощи данного пакета была создана программа для чтения и преобразования сигнала, представленная ниже:

Программа для импорта записанного файла в МАТЛАБ и многомерного преобразования Фурье с получением графика спектра.

```
open C:/имя.wav;  
y=wavread('C:/имя.wav');  
Y=fftn(y,512);  
Pyy=Y.*conj(Y)/512;  
f=2000*(0:150)/512;  
plot(f,Pyy(1:151)),grid
```

Также для анализа полученных данных использовался и пакет расширения Simulink.

Пакет является ядром интерактивного программного комплекса, предназначенного для математического моделирования линейных и нелинейных динамических систем и устройств, представленных своей функциональной блок – схемой, именуемой S- моделью или просто моделью. При этом возможны различные варианты моделирования: во временной области, в частотной области, в частотной области, с событийным управлением, на основе спектральных преобразований Фурье и т. д.

Для построения функциональной блок схемы моделируемых устройств Simulink имеет обширную библиотеку блочных компонентов и удобный редактор блок – схем. Он основан на графическом интерфейсе пользователя и по существу является типичным средством визуально – ориентированного программирования. Используя палитры компонентов, переносятся нужные блоки с палитр на рабочий стол пакета и соединяет линиями входы и выходы блоков. Таким образом, создаётся блок – схема системы или устройства, то есть модель.

Пакет автоматизирует следующий, наиболее трудоёмкий этап моделирования: он составляет и решает сложные системы алгебраических и дифференциальных уравнений, описывающих заданную функциональную схему, обеспечивая удобный и наглядный визуальный контроль за поведением созданного пользователем виртуального устройства.

Simulink меняет математическое описание модели по мере ввода её новых блоков, даже в том случае, когда этот процесс сопровождается сменой порядка системы уравнений и ведёт к существенному изменению поведению системы. Ценность Simulink заключается и в обширной, открытой для изучения и модификации библиотек компонентов. Она включает источники сигналов с практически любыми временными зависимостями, масштабирующие, линейные и нелинейные преобразователи с разнообразными формами передаточных характеристик, квантующее устройство, интегрирующие и дифференцирующие блоки и т. д.

В библиотеке имеется целый набор виртуальных регистрирующих устройств – от простых измерителей типа вольтметра или амперметра до универсальных осциллографов, позволяющих просматривать временные зависимости выходных параметров моделируемых систем – например токов и напряжений, перемещений, давлений и т. п. Имеется даже графопостроитель для создания фигур в полярной системе координат.

Как программное средство Simulink – типичный представитель визуально – ориентированных языков программирования. На всех этапах работы, особенно при подготовке моделей систем. Программа в кодах автоматически генерируется в процессе ввода выбранных блоков компонентов, их соединений задания параметров компонентов.

3.2 Методика определения величины компрессии двигателя внутреннего сгорания

Для проведения исследований использовался компрессометр для дизельных двигателей BEST-03D/

Для определения величины компрессии двигателя необходимо соблюдение следующих условий:

1. Все измерения проводятся исключительно на прогретом дизельном двигателе, его температура должна быть приблизительно около семидесяти — девяноста градусов.
2. Необходимо отключить подачу топлива.
3. Необходимо демонтировать все форсунки, так как они будут создавать компрессию в других цилиндрах, из-за этого у двигателя при прокрутке стартером упадут обороты. Будет возникать сопротивление вращению.
4. Аккумулятор должен быть полностью заряженным либо использовать пусковое устройство.
5. Стартер должен быть исправен.

Приведем этапы замера компрессии:

1. Запустить двигатель и прогреть до рабочей температуры;
2. Отсоединить топливопровод форсунки;
3. Демонтировать форсунки цилиндров и присоединить соответствующий адаптер;
4. Отключить подачу топлива, отсоединив соленоид топливного насоса;
5. Соединить компрессометр с гнездом установки топливной форсунки.
6. Прокручивать стартером поршни до тех пор, пока стрелка на компрессометре не остановится в максимальном значении. (Пока не перестанет возрастать давление);
7. Дальше повторить замер со всеми цилиндрами, устанавливая прибор вместо каждой из свеч.
8. Записать результаты каждого из тестов и сверить их с нормальными показаниями.
9. Вернуть свечи на место, можно заменить некоторые или все при необходимости.

3.3 Порядок проведения экспериментальных исследований

В эксперименте были задействованы 2 дизельных двигателя внутреннего сгорания:

1. Д-240;
2. СМД-62

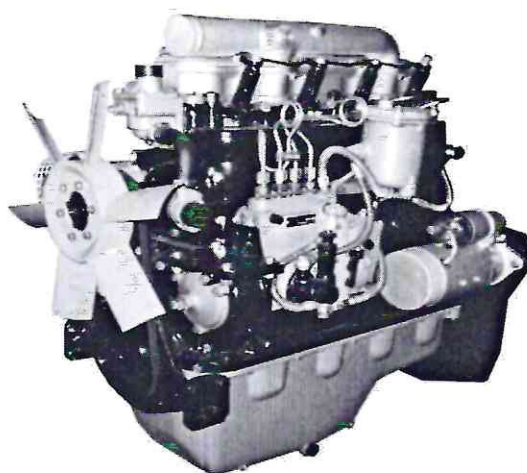


Рисунок 3.1 – Общий вид двигателя Д-240

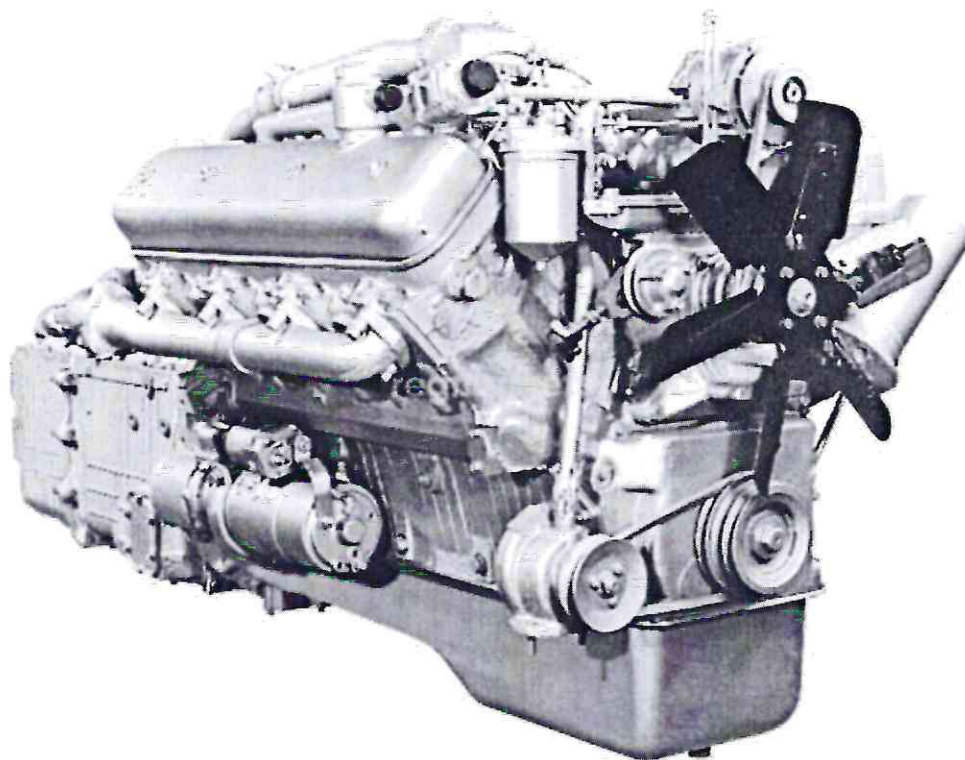


Рисунок 3.2 – Общий вид двигателя СМД-62

Согласно теоретическому обоснованию метода вибродиагностирования

были проведены лабораторные опыты, в которых были получены параметры вибрации цилиндропоршневой группы на различных режимах работы.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты вибродиагностирования цилиндропоршневой группы

Используя вышеуказанную методику, были проведены испытания в ремонтно-эксплуатационной лаборатории кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», на двигателях Д – 240, СМД-62:



Рисунок 4.1 Вибродиагностика двигателя Д-240



Рисунок 4.2 Вибродиагностика двигателя СМД-62

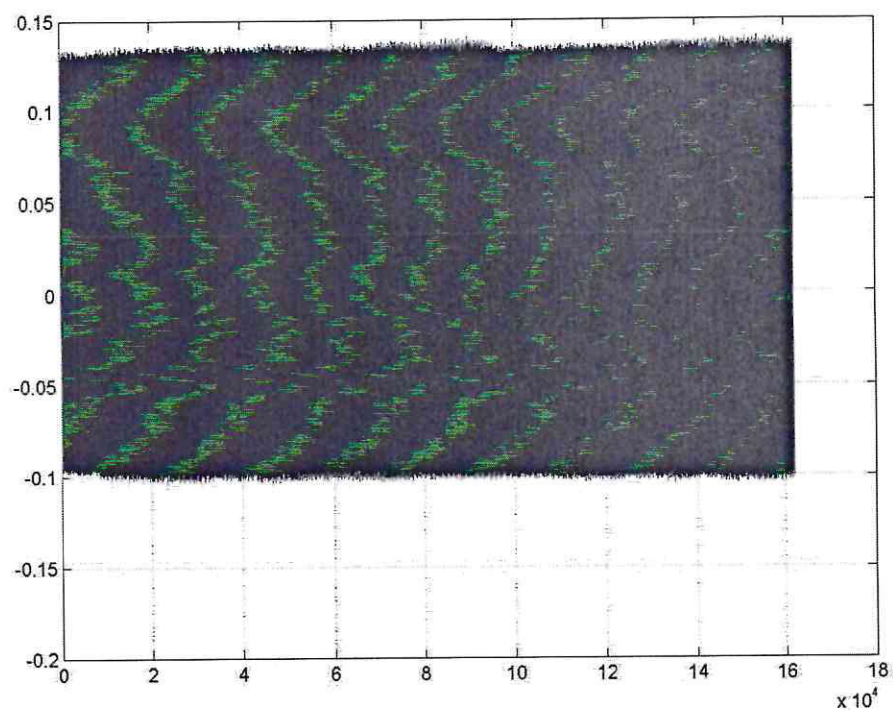


Рисунок 4.3 – Аналоговый сигнал ВМТ Д-240

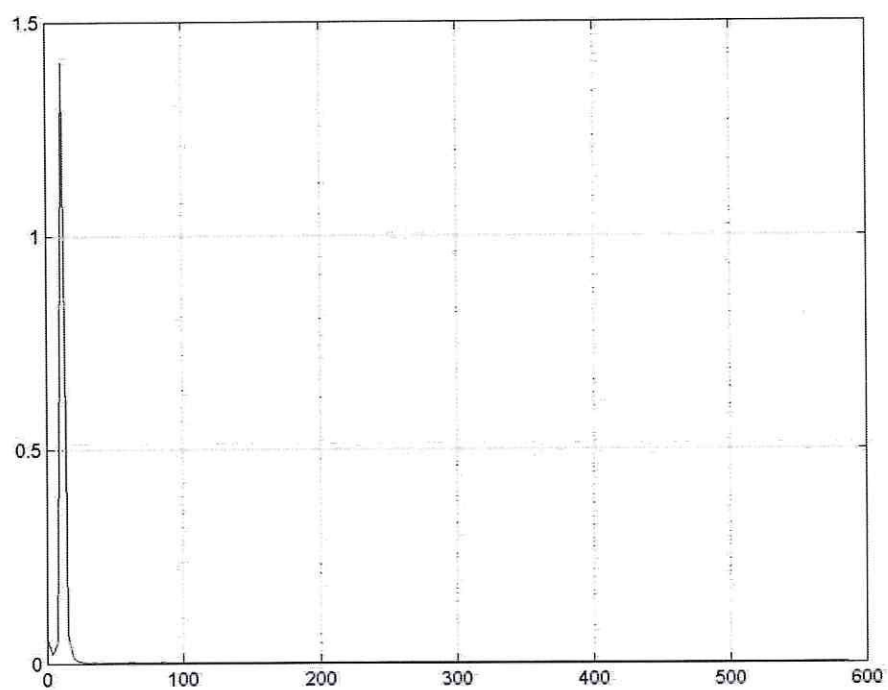


Рисунок 4.4 – Спектр сигнала ВМТ Д-240

Результаты вибродиагностирования в верхней мертвой точке (ВМТ) позволяют сделать выводы о том, что сигнал сильно зашумлен работой системы

газораспределения и выходом отработавших газов.

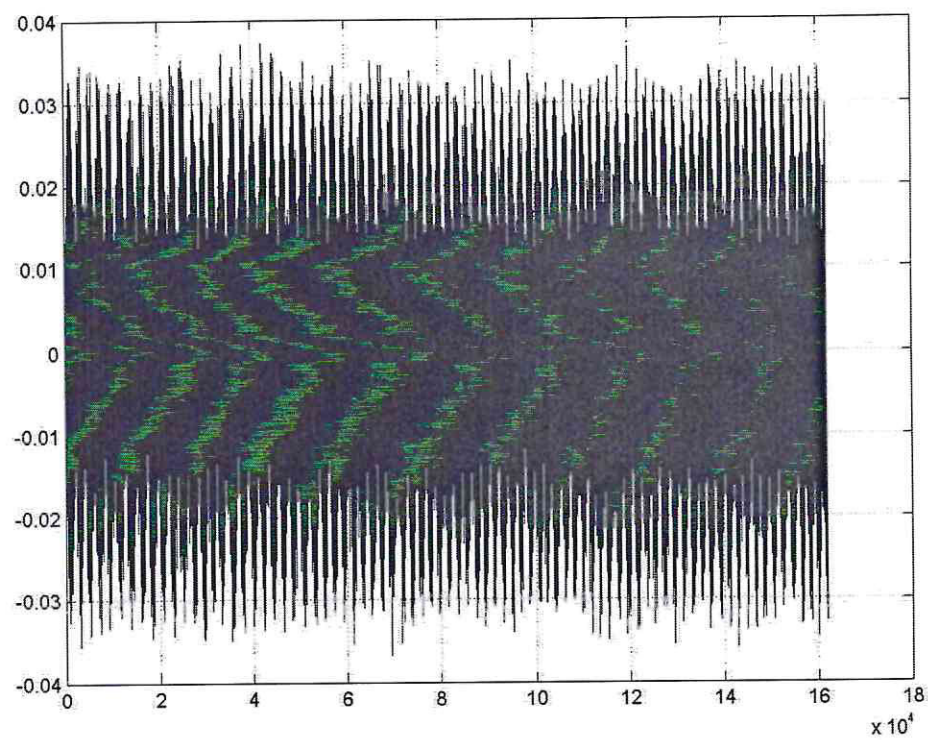


Рисунок 4.5 – Аналоговый сигнал НМТ Д-240

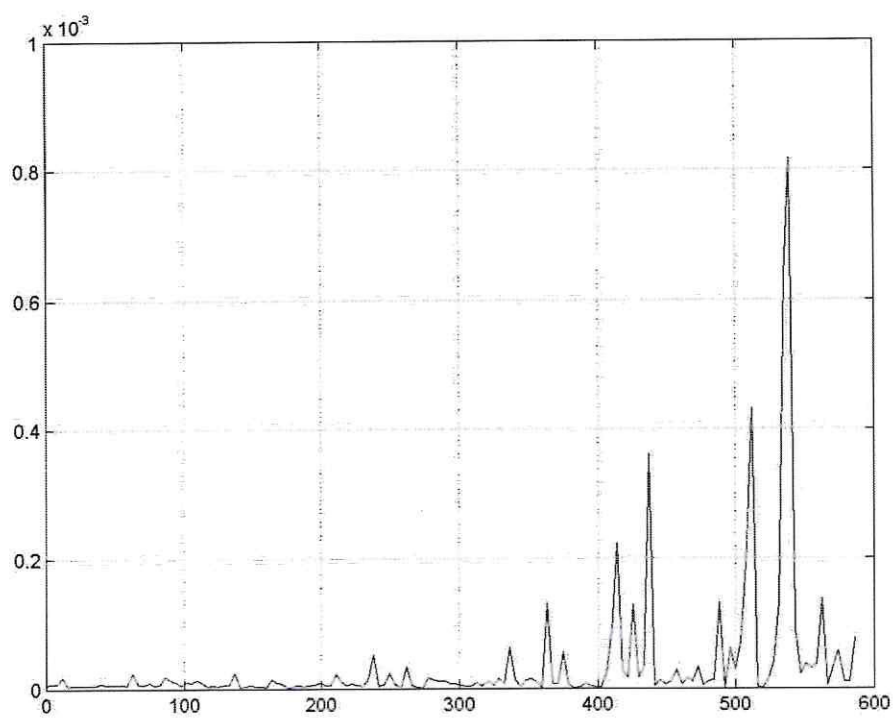


Рисунок 4.6 – Спектр сигнала НМТ Д-240

Полученный график спектра вибрационного сигнала после использования фильтра шумов и быстрого преобразования Фурье (БПФ) не дает адекватной оценки о состоянии цилиндропоршневой группы, но и не сигнализирует о сильных дефектах в данной области ВМТ сумевших превысить силу общего шума работы механизмов двигателя. Результаты вибродиагностирования в нижней мертвой точке (НМТ) двигателя Д-240 более информативны нежели предыдущие графики. Аналоговый сигнал представляет собой значения виброускорения вибрационного сигнала по времени. Сигнал на графике искусственно обрезан для возможности его более детального анализа. По графику аналогового сигнала можно сделать вывод о размере шума работы механизмов двигателя и о работе отдельных механизмов. Равномерное распределение значений виброускорений говорит о хорошем состоянии цилиндропоршневой группы данного двигателя марки Д-240. Об этом же говорит и спектр вибросигнала виброускорения. Небольшие значения порядка 0.8 мм/с^2 на частотах 5-6 кГц говорят о возможном начале износа поршневых колец цилиндропоршневой группы диагностируемого двигателя Д-240, но в тоже время данный сигнал может говорить о закоксовании колец.

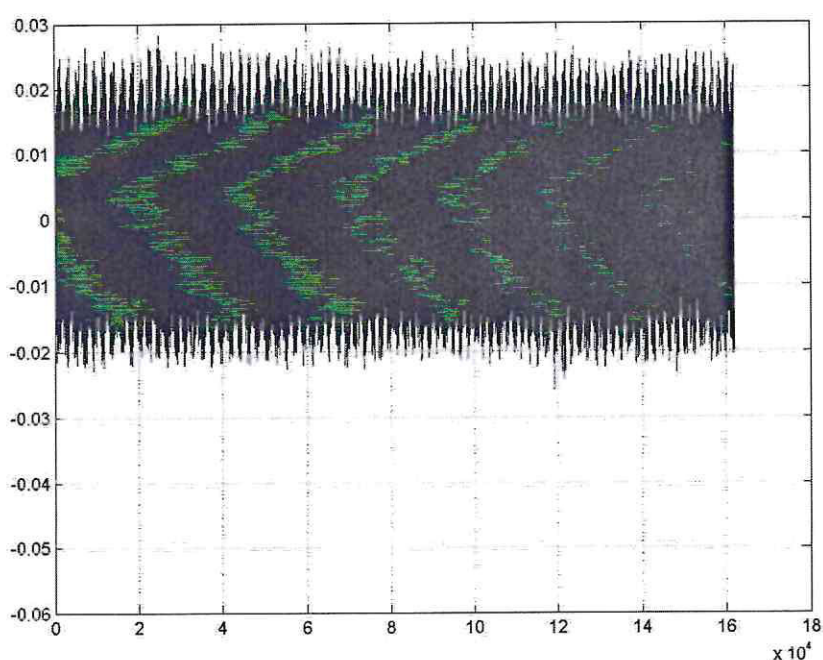


Рисунок 4.7 – Аналоговый сигнал СТ Д-240

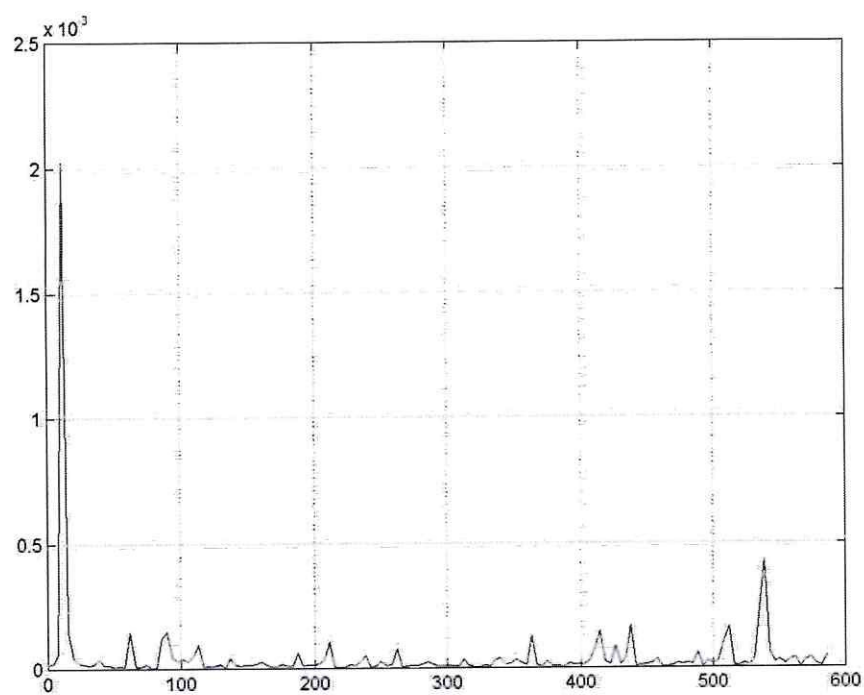


Рисунок 4.8 – Спектр сигнала СТ Д-240

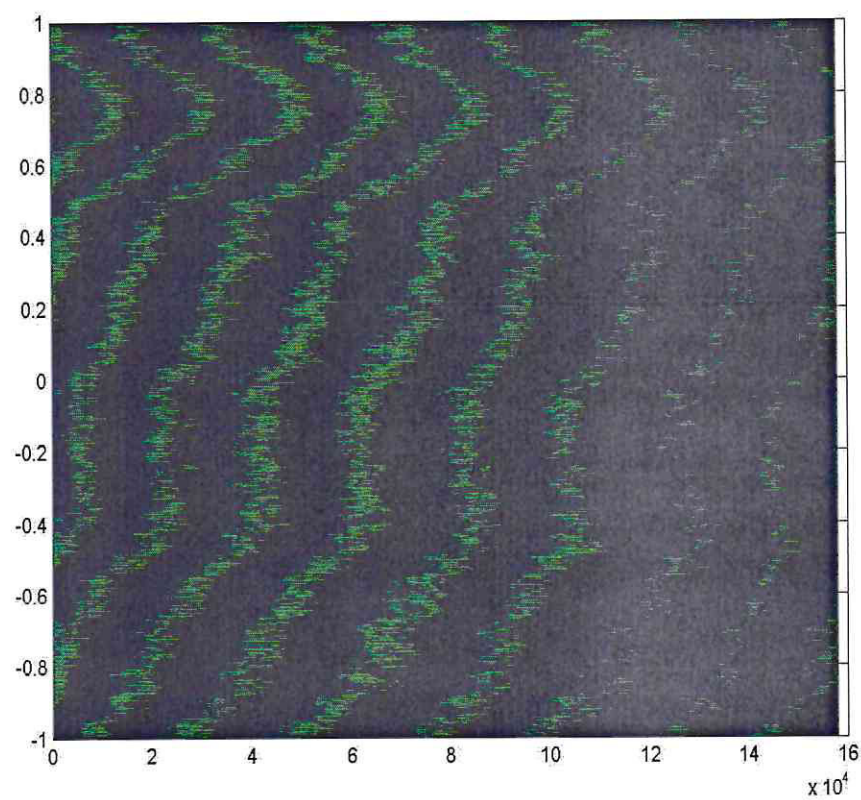


Рисунок 4.9 – Аналоговый сигнал ВМТ СМД-62

Результаты вибродиагностирования в районе среднего положения относительно верхней и нижней мертвых точек ВМТ и НМТ подтверждают сделанные предположения относительно начала износа цилиндропоршневой группы. Графики показывают затухающие по расстоянию от НМТ процессы вибрации, вызванные начинающимся износом цилиндропоршневой группы

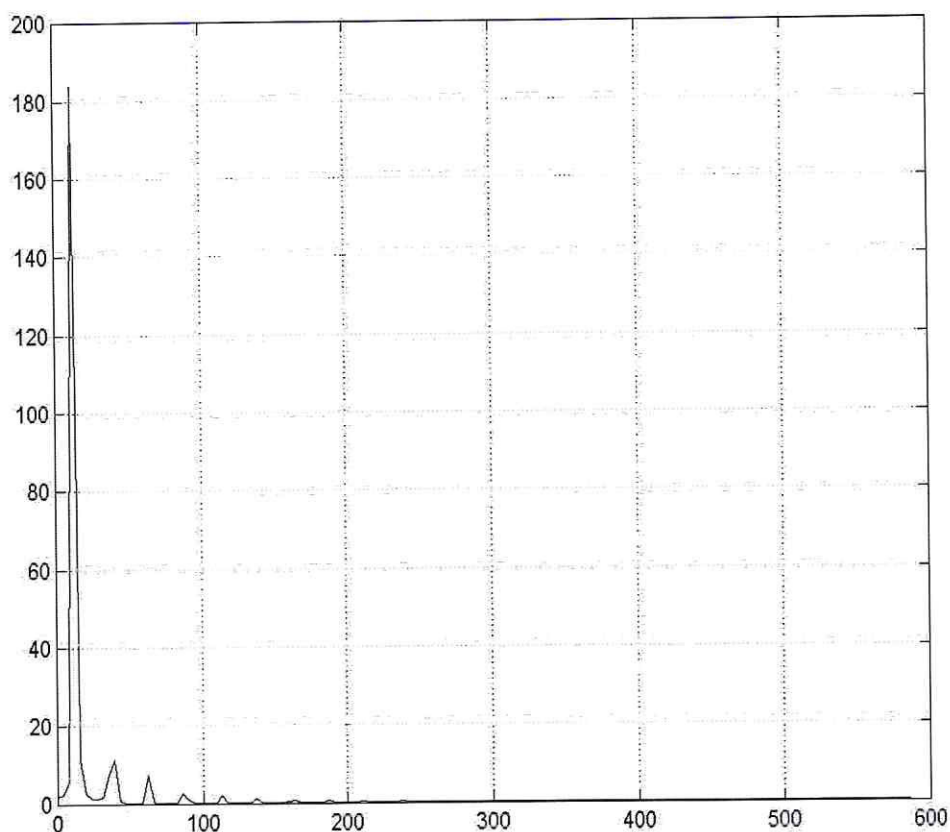


Рисунок 4.10 – Спектр сигнала ВМТ СМД-62

Результаты вибродиагностирования в ВМТ двигателя СМД-62 позволяют сделать вывод о более шумной работе. Аналоговый сигнал абсолютно не информативен в виду полного забивания его сигналами различного рода. Спектр сигнала позволяет сделать вывод о сильной вибрации в низкочастотном спектре, скрывающем работу отдельных узлов двигателя СМД-62.

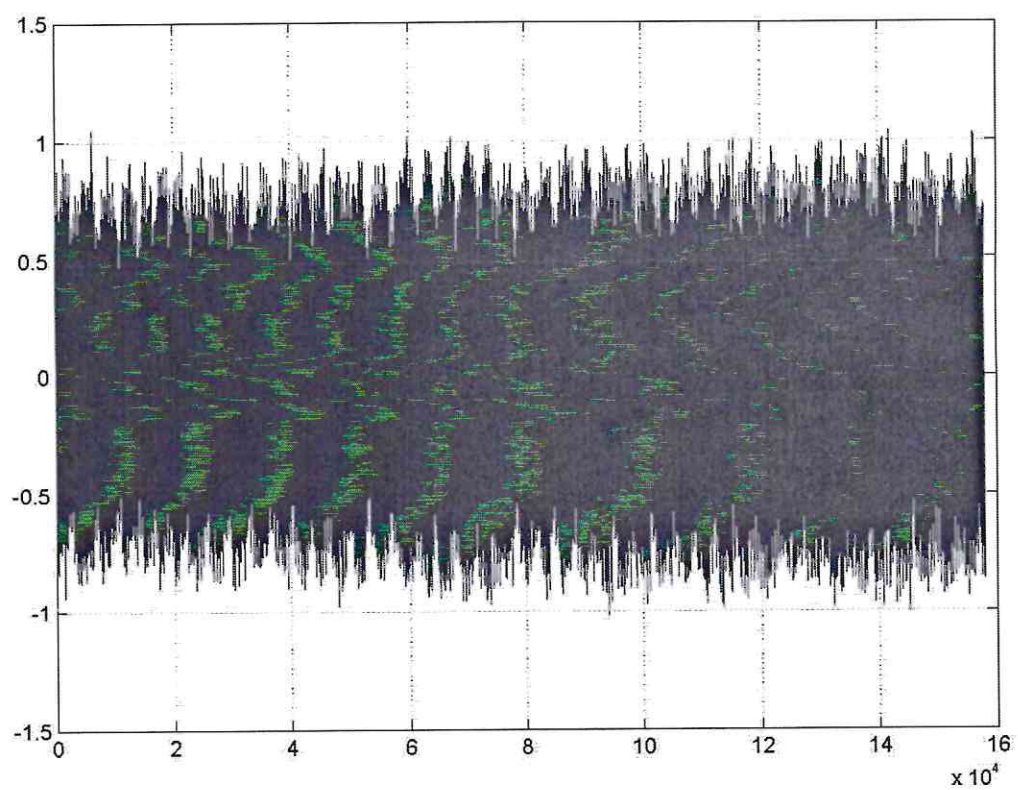


Рисунок 4.11 – Аналоговый сигнал НМТ СМД-62

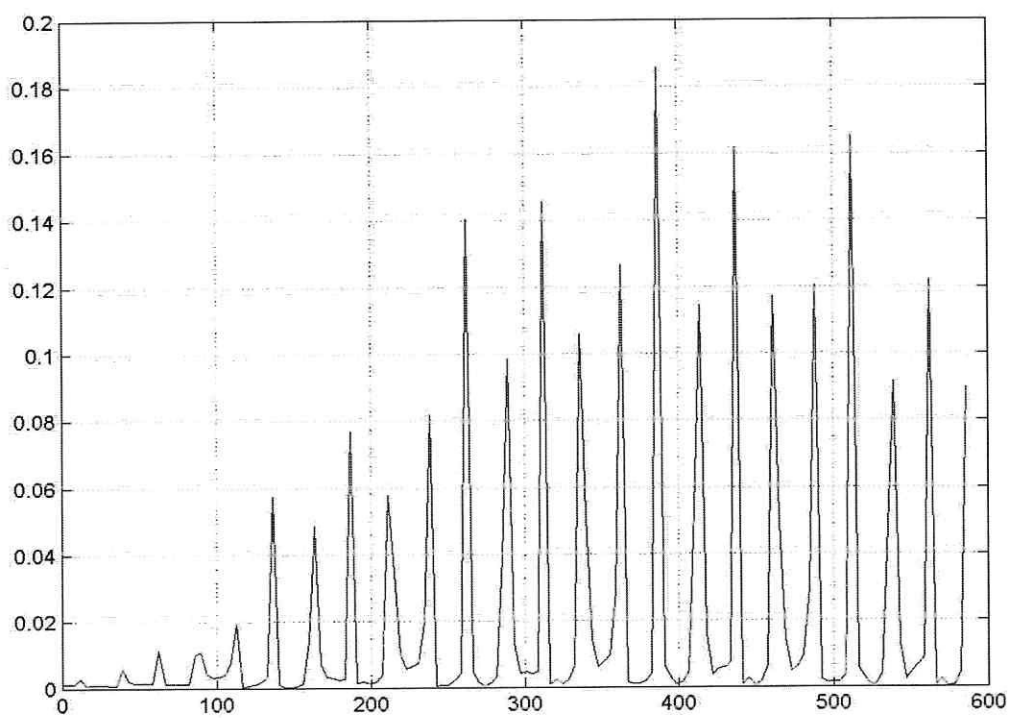


Рисунок 4.12 – Спектр сигнала НМТ СМД-62

Результаты вибродиагностирования в НМТ двигателя СМД-62 позволяют сделать вывод о сильном износе ЦПГ в виду высоких значений виброускорения $0,14 \dots 0,19 \text{ мм/с}^2$. В спектре частот $4 \dots 6 \text{ кГц}$. Высокие значения в спектре 3 кГц предположительно говорят об износе пальцев поршней.

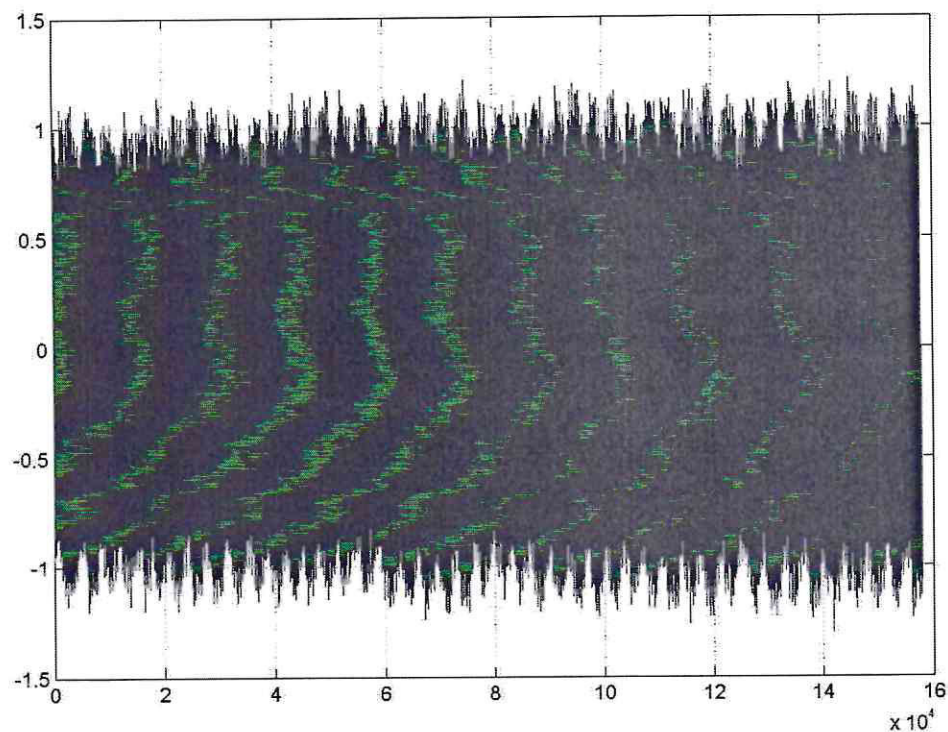


Рисунок 4.13 – Аналоговый сигнал СТ СМД-62

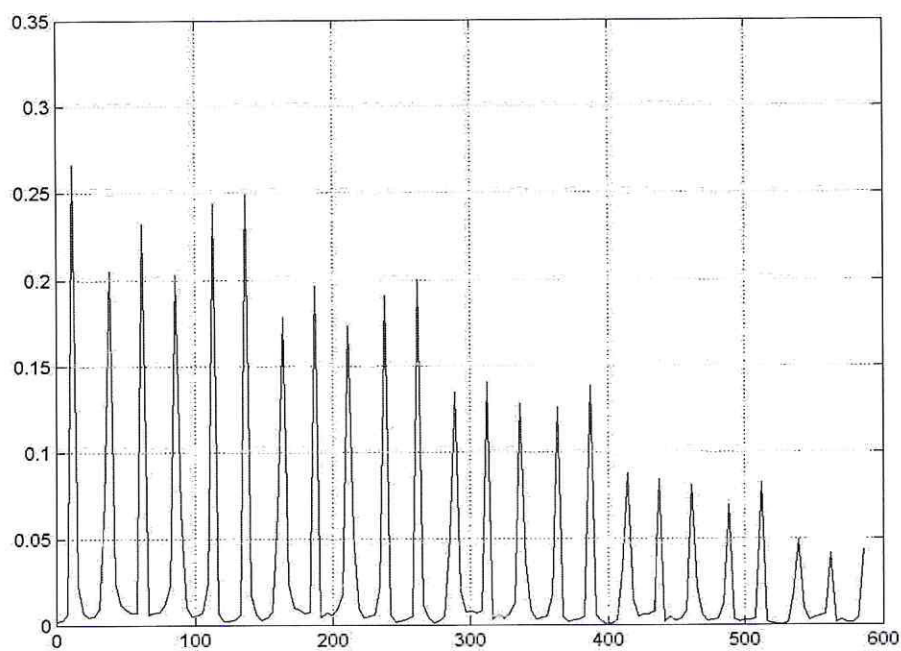


Рисунок 4.14 – Спектр сигнала СТ СМД-62

Результаты вибродиагностирования в районе среднего положения поршней позволяет сделать вывод о наложении в данной области составляющих сигналов ГРМ двигателя и вибродинамического сигнала изношенного состояния ЦПГ диагностируемого двигателя СМД-62.

4.2 Результаты определения величины компрессии

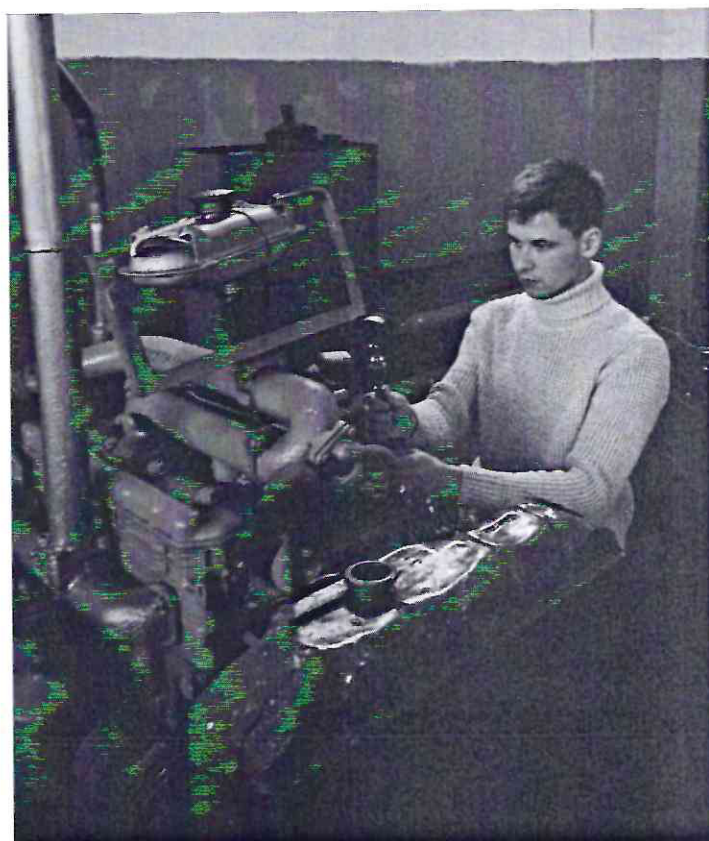


Рисунок 4.15 Определение величины компрессии двигателя Д-240

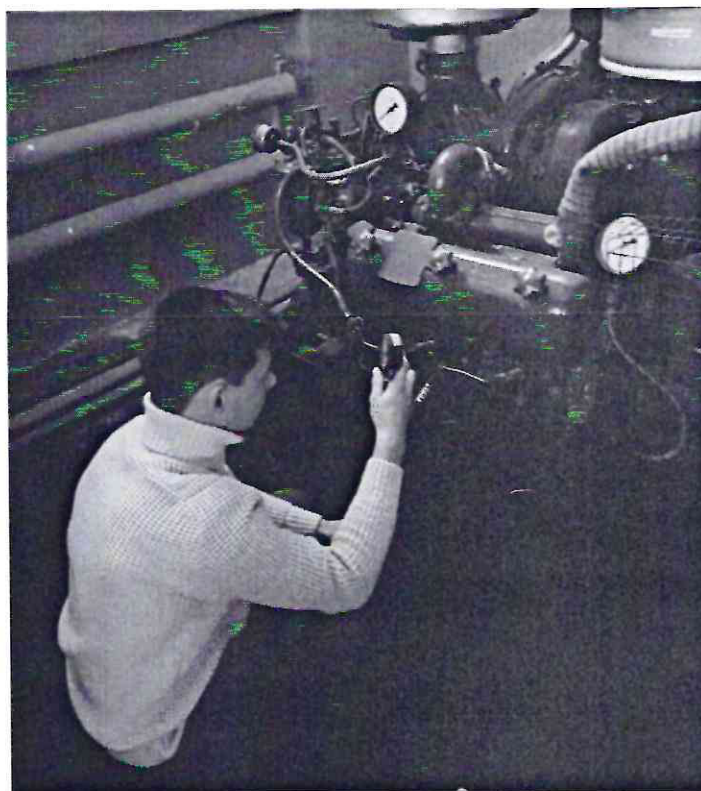


Рисунок 4.16 Определение величины компрессии двигателя СМД-62

Результаты определения величины компрессии диагностируемых двигателей приведены в таблицах 4.1. и 4.2.

Таблица 4.1 – Результаты определения величины компрессии Д-240

№ п/п	Марка двигателя	Значение компрессии по цилиндрам кг/см ²				Среднее значение	Состояние ЦПГ
		1	2	3	4		
1	Д-240	31,7	31,3	31,5	31,25	31,44	Хорошее

Таблица 4.2 – Результаты определения величины компрессии СМД-62

№ п/п	Марка двигателя	Значение компрессии по цилиндрам кг/см ²								Среднее значение	Состояние ЦПГ
		1	2	3	4	5	6	7	8		
1	СМД-62	14,3	19,2	18,16	19,5	14,3	19,4	18,12	19,1	17,79	Износ

По результатам анализа таблиц 4.1 и 4.2 двигатель СМД-62 имеет более низкие показатели компрессии, что подтверждает выводы о изношенном состоянии ЦПГ. Результаты диагностирования двигателя Д-240 не выявили отклонений в величины компрессии, но исходя из результатов

вибродиагностирования износ ЦПГ находится в начальной стадии не доступной для выявления по методике измерения величины компрессии.

Анализ проведённых исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Отдельные элементы структурного шума ДВС с соответствующим преобразованием принимаемого сигнала можно использовать для оценки технического состояния цилиндропоршневой группы и определения зазоров в её деталях.

2. Оптимальным местом установки вибродатчика на двигателе следует считать последовательно расположенные головки болтов, соединяющих блок цилиндров с головкой. Каждый цилиндр имеет по две контрольные точки, расположенные по его сторонам.

3. Усилие прижатия датчика к измеряемой поверхности оказывает влияние на процесс измерения. При замерах в эксплуатационных условиях необходимо пользоваться специальным волноводом, который с помощью специального цангового захвата соединяется с контрольной точкой и стабилизирует усилие прижатия датчика к поверхности двигателя.

4. Важным информативным параметром состояния кинематических пар ДВС является частота собственных колебаний соударяющихся деталей и момент появления ударного импульса.

5. Достоверность полезной информации, поступающей в измерительный прибор от источника вибрации в виде серии импульсов с разночастотным заполнением, значительно возрастает с применением метода фазовой селекции

6. Без существенного изменения границ частотного диапазона на амплитуду сигнала, содержащего полезную информацию о состоянии деталей ЦПГ, влияют: Обороты двигателя, средняя температура двигателя, угол опережения зажигания, состояние поршневых колец, нагрузка, величина неуравновешенности основных деталей КШМ из-за отклонений в весе;

7. Величина зазора между поршнем и гильзой, а также состояние поршневых колец, оценивается по спектральной плотности мощности шума в выделенной полосе частот при оптимальном режиме работы двигателя.

8. По результатам эксплуатационных испытаний, наиболее лучшие результаты по оценке технического состояния ЦПГ были достигнуты при использовании комплексного подхода. Достоверность замеров величин зазоров в паре поршень – гильза, проведённых различными методами, составляет:

По параметрам вибрации	$70 \div 75\%$;
------------------------	------------------

По величине компрессии в цилиндрах	$50 \div 55\%$.
------------------------------------	------------------

5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

5.1. Установление базы для сравнения

Для того чтобы оценить полезность проектируемого диагностического метода, необходимо провести сравнительный анализ его показателей с уже существующим методом.

Для проведения организационно – экономических расчетов воспользуемся следующими исходными данными. С целью упорядочения сбора исходных данных используем накопительную ведомость.

В таблице 5.1 представлены сравнительные показатели существующего метода диагностирования.

Таблица 5.1 – Исходные данные

Наименование показателей	Единица измерения	Величина показателя
Суммарная мощность оборудования	кВт	0.25
Количество персонала	чел	1
Суммарная масса технологического оборудования	кг	5.2
Стоимость типового стационарного поста технического диагностирования.	т. руб.	40
Часовая производительность	шт/ч	3

5.2 Расчет технико-экономических показателей СПТО

5.2.1. Расчеты стоимости основных производственных фондов

Стоимости основных производственных фондов определяется по формуле 5.1 [24]:

$$C_{опф} = C_{об} + C_{пп} + C'_{об} + C'_{пп}. \quad (5.1)$$

$C_{об}, C'_{об}$ – стоимость имеющегося и дополнительного, вновь вводимого оборудования, руб;

$C_{\text{ин}}, C'_{\text{ин}}$ – стоимость имеющегося, и вновь вводимых в производство приспособлений и инструментов, руб.

Стоимость имеющегося оборудования составляет:

$$C_{\text{об}} = 20 \text{ т. руб.}$$

Стоимость дополнительного оборудования можно определить как сумму затрат на приобретение персонального компьютера, изготовления датчиков, и оснащения сопутствующим оборудованием, что в сумме составит соответственно (максимум): 35000 руб., 5000 руб., 7200 руб., получим

$$C'_{\text{об}} = 47.2 \text{ т. руб.}$$

Стоимость имеющихся приспособлений составляет приблизительно:

$$C_{\text{пп}} = 5 \text{ т. руб.}$$

Вновь вводимых в производство приспособлений и инструментов не требуется. Тогда стоимости основных производственных фондов составит:

$$C_{\text{оф}} = 20 + 5 + 47.2 + 0 = 72.2 \text{ т. руб.}$$

5.2.2 Расчеты себестоимости работ

Расчеты себестоимости работ производится по формуле 5.2 [24]:

$$S = \frac{C_{\text{зп}} + C_{\text{оп}}}{D}, \quad (5.2)$$

где $C_{\text{зп}}$ – затраты на заработную плату производственных рабочих, руб;

$C_{\text{оп}}$ – общепроизводственные затраты, руб;

D – количество условных диагностировании.

Затраты на заработную плату производственных рабочих определяются по формуле 5.3 [24]:

$$C_{\text{зп}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{доп}} + C_{\text{сц}}, \quad (5.3)$$

где $C_{\text{пр}}$ – тарифный фонд оплаты труда с начислениями, руб;

$C_{\text{доп}}$ – дополнительная оплата, включая оплату отпусков, руб;

$C_{\text{сц}}$ – начисления по специальному страхованию и пенсионному обеспечению, руб.

Тарифный фонд оплаты труда определяется по формуле 5.4 [24]:

$$C_{\text{ПР}} = Z_{\text{ч}} T k_T, \quad (5.4)$$

где $Z_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка, руб/чел.ч, согласно данным производства

$$Z_{\text{ч}} = 25 \text{ руб/чел.ч};$$

T – общая трудоемкость работ, чел.ч., $T = 10565$ (данные получены в результате работы программы по определению годового плана загрузки ЦРМ);

k_T – коэффициент доплаты за сверхурочные и другие работы,
 $k_T = 1.05 \dots 1.10$.

$$C_{\text{ПР}} = 25 \times 10565 \times 1.075 = 283934 \text{ руб.}$$

Дополнительная оплата определяется по формуле 5.5 [24]:

$$C_{\text{доп}} = \frac{C_{\text{ПР}} U_{\text{доп}}}{100}, \quad (5.5)$$

где $U_{\text{доп}}$ – дополнительная оплата в процентах к тарифному годовому фонду,

$$U_{\text{доп}} = 55 \dots 80\%.$$

$$C_{\text{доп}} = \frac{283934 \times 67.5}{100} = 191655 \text{ руб.}$$

Начисления по специальному страхованию и пенсионному обеспечению определяется по формуле 5.6 [24]:

$$C_{\text{сц}} = \frac{(C_{\text{ПР}} + C_{\text{доп}})}{100} U_{\text{сц}}, \quad (5.6)$$

где $U_{\text{сц}}$ – норма начислений на оплату труда составляющая 25.4%.

$$C_{\text{сц}} = \frac{(283934 + 191655)}{100} 25.4 = 120800 \text{ руб.}$$

Итого затраты на заработную плату составят:

$$C_{\text{зп}} = 283934 + 191655 + 120800 = 596389 \text{ руб.}$$

Общепроизводственные накладные расходы рассчитаны в таблице 5.2:

Таблица 5.2 – Расчет общепроизводственных затрат

Статья расходов	Коэффициент пропорциональности	Исходная величина		Сумма затрат, руб
Амортизация: оборудования приспособлений	0.07	Соб	20000	1400
	0.135	Спр	5000	675
Ремонт и ТО: оборудования приспособлений	0.07	Соб	20000	1400
	0.082	Спр	5000	410
Содержание: оборудования	0.005	Соб	20000	100
Затраты на охрану труда	25000	n_раб	2	50000
Затраты на рационализацию	15000	n_раб	2	30000
Прочие расходы в % от ЗП	0.02	Сзп	596389	11928
Всего общепроизводствен ных расходов	-	-	-	95913

В результате проведенных выше расчетов мы найдем полную себестоимость технического диагностирования:

$$S = (596389 + 95913)/1000 = 692.3 \text{ руб.}$$

5.2.3 Расчет остальных технико-экономических показателей СПТО

Фондоёмкость, руб./ед. определяется по формуле 5.7 [24]:

$$F_B = \text{Конф} / D, \quad (5.7)$$

Получим:

$$F_B = 72200/1000 = 72,2 \text{ руб./ед.}$$

Производительность труда, ед./чел., определяется по формуле 5.8 29 [24]:

$$П = D/n_p, \quad (5.8)$$

Получим:

$$П = 1000/1 = 1000 \text{ ед./чел.}$$

Уровень приведенных затрат, руб./ед., определяется по формуле [24]:

$$C_{ПРВ} = S + E_n k_{уд}, \quad (5.9)$$

где E_k – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_k = 0,15$

$k_{уд}$ – удельные капитальные вложения или фондоемкость, руб./ед.

$k_{уд} = 47.2/D$ т. руб.

$$C_{ПРВ} = 692.3 + 0.15 \cdot 47200/1000 = 699.38 \text{ руб./ед.}$$

Годовая экономия, руб., определяется по формуле 84 стр. 29 [24]:

$$\mathcal{E}_{год} = (S_0 - S_1)D, \quad (5.10)$$

где S_0 – себестоимость диагностирования в СПТО средняя за последние 3 года, руб., $S_0 = 1500$;

S_1 – себестоимость диагностирования в СПТО по предлагаемой методике, руб., $S_1 = 699.38$.

$$\mathcal{E}_{год} = (1500 - 699,38) \cdot 1000 = 800620 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект, руб., определяется по формуле 5.11 [24]:

$$E_{год} = \mathcal{E}_{год} - E_n \Delta k, \quad (5.11)$$

где Δk – сумма дополнительных капитальных вложений, руб.

$$E_{год} = 800620 - 0,15 \cdot 47200 = 793540 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, руб., определяется по формуле 5.12 [24]:

$$T_{ок} = \Delta K / \mathcal{E}_{год}, \quad (5.12)$$

Получим:

$$T_{ок} = 47200/800620 = 0,059 \text{ год.}$$

Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений,

определяется по формуле 5.13 [24]:

$$E_{\text{эф}} = 1 / T_{\text{ок}}, \quad (5.13)$$

Получим:

$$E_{\text{эф}} = 1 / 0,059 = 16095.$$

Результаты расчетов занесены в таблицу 5.3:

Таблица 5.3 – Сравнительные технико-экономические показатели

Наименование показателей.	Варианты		Проект в % к базово му
	Исходный	Проект	
Часовая производительность, шт/ч	1	3	200
Фондоемкость производства, руб./шт	1325	72.2	1735
Энергоемкость производства, кВт/шт	55	2	2650
Трудоемкость производства, чел. · ч/шт	3	1	200
Уровень эксплуатационных затрат, руб./шт	1500	699.38	114.48
Годовая экономия, руб.	—	800620	—
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	—	0,059	—

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При активном внедрении информационных технологий во все сферы науки и техники их окупаемость происходит за считанные месяцы. Но, к сожалению, в сельскохозяйственном производстве подобных примеров очень мало.

К настоящему моменту времени некоторые отрасли народного хозяйства делают значительные успехи в этом направлении, активно внедряя разработки как отечественных, так и зарубежных специалистов в производство. Но, к сожалению, по причине крайне бедственного экономического состояния агропромышленного комплекса в России в сельском хозяйстве подобные технологии не находят широкого применения. Кроме того, ситуация усугубляется недостаточной подготовленностью инженерных кадров и незаинтересованностью молодых специалистов из-за низкой зарплаты к применению подобных разработок в сельском хозяйстве. Хотя можно было бы подключить и другие ВУЗы к сотрудничеству в этой области.

Предлагаемая методика диагностирования двигателей внутреннего сгорания с помощью динамических характеристик рабочих процессов не требует больших капитальных вложений. Она может быть применена предприятиями, занимающимся техническим обслуживанием и ремонтом сельскохозяйственной техники и имеющими в своем распоряжении стенды типа КИ-8948 или КИ-8927. Помимо имеющихся в нем диагностических средств к стенду добавляется оборудование стоимостью не выше 8000 рублей (персональный компьютер модели не ниже Pentium-I, 166 Mhz, 64 MB ОЗУ, PC/2 порт, ANC, Optical Mouse, или аналогичной конфигурации компьютер на базе процессоров AMD-k6).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Техническая и технологическая обеспеченность сельскохозяйственного производства России на 2013-2020 годы. А.А. Ежевский.// Сельскохозяйственные машины и технологии, №1,2014.
- [2] Научно-техническое обеспечение АПК. Кряжков В.М., Щевцов В.Г. Марченко О.С.//Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы VII Междунар. научн.-практ. конф. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. С. 73 -78.
- [3] Федеральная служба государственной статистики. ЦБСД. [Электронный ресурс] URL: <http://www.gks.ru/>.
- [4] Инновационные технологии в техническом сервисе АПК. Черноиванов В.И. // Науч.-информ. обеспечение инновац. развития АПК / Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по инженер.-техн. обеспечению агропром. комплекса.-Москва, 2012.-С. 19-28.
- [5] Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей: монография / Савченко О.Ф., Добролюбов И.П., Альт В.В., Ольшевский С.Н. // РАСХН, Сиб. отд-ние, СибФТИ. - Новосибирск, 2006. - 272 с.
- [6] Техническое обеспечение измерительных экспертных систем машин и механизмов в АПК. Альт В.В., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н./ Под редакцией В.В. Альта. Новосибирск: СибФТИ, Сиб. регион. отд-ние, Россельхозакадемия, 2013. - 523 с.
- [7] Добролюбов И.П. Оперативный контроль и управление показателями машинно-тракторных агрегатов, определяющими их эффективное использование: Дис. ... док. техн. наук: 05.20.03. Новосибирск , 1992.
- [8] Альт В.В. Контроль и управление параметрами тракторных двигателей в эксплуатационных условиях: Дис. ... док. техн. наук: 05.20.03. Новосибирск, 1995.
- [9] Ресурсосбережение при техническом сервисе сельскохозяйственной техники. Р.Ю Соловьев, С.А. Горячев.// Сельскохозяйственные машины и

технологии, №2,2013.

[10] Система использования техники в сельскохозяйственном производстве /Авторский коллектив под ред. Н.В. Краснощекова. - М.:ФГНУ «Росинформагротех, 2003. - 520 с.

[11] В. И. Черноиванов, Н. В. Краснощек, С. А.Горячев, Е. В. Щеглов, Л. М. Пильщиков Мониторинг состояния предприятий инженерно-технической инфраструктуры АПК по техническому обслуживанию и ремонту отечественной и импортной сельхозтехники — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. — 100 с.

[12] Терских И.П. Диагностика технического состояния тракторов. - Иркутск. - 1975. - 159 с.

[13] Разработка метода прогнозирования остаточного ресурса элементов машин / Юсипов Р.Т.// Труды ГОСНИТИ : т. 100 / . - С. 220-225, 8 Компьютерная программа оценки остаточного ресурса тракторных и комбайновых дизелей по экологическим и. топливно-экономическим показателям / Черноиванов В.И., Юсипов Р.Т., Колчин А.В. // Экология и сельскохозяйственная техника : мат. пятой междунар. науч.- практ. конф. : т. 1/ , - С. 64-69.

[14] Кычев В.Н. Повышение производительности машинно-тракторных агрегатов на основе эффективного использования установленной мощности двигателей энергонасыщенных тракторов: Дис. ... док. техн. наук: 05.20.01. Челябинск, 1997.

[15] Немцев А.Е. Основы формирования системы технического сервиса в АПК Сибири / А.Е. Немцев, В.В. Коротких; Россельхозакадемия. Сиб. регион. отд-ние; Сиб. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва. - Новосибирск, 2009. - 153 с.

[16] Диагностика и техническое обслуживание машин. Ананьин А.Д., Михлин В.М., Габитов И.И., Неговора А.В., Иванов А.С.-Москва: Академия, 2008.- 428 с.

А. Поиск неисправностей дизеля [Методика поиска неисправностей восьмицилиндрового дизеля по дымности отработавших газов]. Кошевенко В. // Техника и оборуд. для села.-2008.-И 3.-С. 44-46.

- [17] Гребенников А.С. Диагностирование автотракторных двигателей по внутрицикловым изменениям угловой скорости коленчатого вала :Способы, средства, технологии: Дис. ... док. техн. наук: 05.20.03. Саратов, 2002.
- [18] Оперативное выявление неисправностей в дизелях. Колчин А.В. // Тракторы и с.-х. машины.-2005.-N 8.-С. 49-50.
- В. Диагностирование систем и агрегатов АТС с помощью ЭВМ. Дринча М., Мошкин Н.И. // Тракторы и с.-х. машины.-2007.-N 7.-С. 45-47.
- [19] Мошкин Н.И. Разработка автоматизированной технологии и средств технического диагностирования узлов и агрегатов автотранспортных средств сельскохозяйственного назначения: Дис. ... док. техн. наук: 05.20.03. Улан- Удэ, 2007.
- [20] Оценка технического состояния топливного насоса высокого давления дизеля по виброударному импульсу струи. Данилов С.В. // Техника и оборуд. для села.-2008.-N 5.-С. 32-33.
- [21] Диагностика автотракторной техники - проблемы и пути ее совершенствования. Бутов Н.П., Полуян С.А. // Разраб. техн. оснащения агроинж. сферы растениеводства.-Зерноград, 2002.-С. 171-174.
- [22] Принципы построения программы динамического диагностирования автотракторной техники [Разработка алгоритма программы диагностирования машин и алгоритма программы системы управления для поддержания транспортного средства в работоспособном состоянии. (Белоруссия. Польша)]. Карташевич А.Н., Шадюль Р. // Агропанорама.-2004.-N 6.-С. 2-3.
- [23] Динамический метод диагностики автотракторных двигателей. Принципы построения диагностических моделей переходных процессов. Часть 1: Метод. рекомендации / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. СибИМЭ; Подгот. И. П. Добролюбов и др. - Новосибирск, 1981. - 87 с.
- [24] Разработать методы и интеллектуальную динамическую измерительную систему для обеспечения работоспособности двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственных мобильных энергетических средств (ИДИС). Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н., Альт В.В., Добролюбов И.П., Боброва Т.Н., Лапченко

Е.Н., Клименко Д.Н., Борисов А.А., Минеев В.В., Рихтер В.А., Ёлкин О.В.: отчет о НИР № 02201451295 от 28.11.2010 (Российская академия сельскохозяйственных наук).

[25] Альт В.В., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. Информационное обеспечение экспертизы состояния двигателей / Под ред. д.т.н. В.В. Альта. - РАСХН, Сиб. отд-ние. - СибФТИ. - Новосибирск, 2001. - 223 с.

[26] Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко, С.А. Батурин, Ю.Н. Исаков и др.; Под общ. ред. Р.М. Петриченко.- Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990.- 328 с.

[27] Астахов И.В., Трусков В.И., Хочиян А.С. и др. Передача и распыление топлива в дизелях. М.: Машиностроение. 1972.- 367с.

[28] Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания.- М.: Машиностроение, 1968.- 535с.

[29] Крутов В.И. ДВС как регулируемый объект.- М.: Машиностроение, 1978.- 472с.

[30] Крутов В.И., Рыбальченко А.Г. Регулирование турбонаддува ДВС: Учебное пособие для ВУЗов. М.: Высшая школа, 1978. 213 с.

[31] Куценко А.С. Моделирование рабочих процессов ДВС на ЭВМ.- Киев.- Наукова думка. 1988.

[32] Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. -М.:Машиностроение. - 1981.-184с.

[33] Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 448 с.

[34] Бохуа Н. А., Геловани В. А., Ковригин О. В. Экспертные системы: опыт проектирования. М. 1990.

[35] Добролюбов И.П. Идентификация состояния сельскохозяйственных объектов измерительными экспертными системами / И.П. Добролюбов, О.Ф. Савченко, В.В. Альт // РАСХН, Сиб. отд-ние. - СибФТИ. - Новосибирск, 2003. - 209 с.

- [36] Способ оценки технического состояния сопряженных двигателей: пат. 2240529 РФ, МПК G 01 М 15/00. /Военный автомобильный институт (г. Рязань) . - № 2004101434/06; заявл. 19.01.2004; опубл. 20.11.2004.
- [37] Способ оценки технического состояния машины: пат. 2133953 РФ, МПК G 01 М 15/00. /Воен. акад. бронетанковых войск (RU) . - №2 98114467/06; заявл. 29.07.98; опубл. 27.07.99; Бюл. N21.
- [38] Способ оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания: пат. 2137100 РФ, МПК G 01 М 15/00. /Военный автомоб. ин-т (RU) . - № 97116087/06; заявл. 29.09.97; опубл. 10.09.99; Бюл. N25.
- [39] Способ определения цикловой подачи топлива в дизельном двигателе: пат. 2223413 РФ, МПК F 02 М 65/00 G 01 М 15/00. /Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка . - № 2002120155/06; заявл. 30.07.2002; опубл. 10.02.2004.
- [40] Способ определения технического состояния двигателя внутреннего сгорания: пат. 1777025 РФ /Государственный всесоюзный научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка.-. № 4898591/06; заявл. 02.01.1991; опубл. 23.11.1992.
- [41] Способ определения технического состояния двигателей внутреннего сгорания и устройство для его осуществления: пат. 2208771 РФ,. /Институт механизации сельского хозяйства при Новосибирском государственном аграрном университете . -. № 2001107684/06; заявл. 21.03.2001; опубл. 20.07.2003.
- [42] Способ контроля снижения эксплуатационного расхода топлива силовой установки и устройство для его осуществления: пат. 2170914 РФ, МПК G 01 М 15/00 F 02 D 41/16 . /Пензенская государственная сельскохозяйственная академия . - №2 2000100194/06; заявл. 05.01.2000; опубл. 20.07.2001.
- [43] Способ диагностирования технического состояния поршневого двигателя

внутреннего сгорания: пат. 2150685 РФ, МПК G 01 М 15/00. /ТОО "Megan" . - № 98102529/06; заявл. 05.02.98; опубл. 10.06.00; Бюл. N16.

[44] Способ диагностирования и прогнозирования технического состояния двигателей внутреннего сгорания в процессе их работы: пат. 2151384 РФ, МПК G 01 М 15/00 F 02 М 65/00. /Ульяновское высшее авиац. училище гражд. авиации (RU) . - № 98115513/06; . заявл. 17.08.98; опубл. 20.06.00; Бюл. N17.

[45] Способ диагностирования двигателя внутреннего сгорания: пат. 2187792 РФ, МПК G 01 М 15/00. /Саратовский государственный технический университет . - № 2000127385/06; заявл. 01.11.2000; опубл. 20.08.2002.

[71] Способ диагностирования двигателя внутреннего сгорания: пат. 2064171 РФ, /Васильев Ю.А., Куков С.С. . - РФ ; заявл. № 93007772/06; опубл. 11.02.1993.

[72] Способ диагностики цилиндро-поршневой группы двигателя внутреннего сгорания: пат. 2184360 РФ, МПК G 01 М 15/00. /Чечет Виктор Анатольевич, . - Иванов Николай Тихонович,; заявл. Чечет Юлия Викторовна.

[73] Способ диагностики технического состояния двигателя внутреннего сгорания и/или трансмиссии автомобиля и устройство для его осуществления: пат.2165605РФ, МПК 01М 15/00,17/00./Рейбанд Юрий Яковлевич,-Ушаков Андрей Павлович;заявл. №99121298/06;оп.04.10.1999.

[74] Диагностический метод контроля двигателя: пат. WO 2009106181 A1,. /BOSCH GMBH ROBERT [DE]; THULKE MIRKO [DE] . - № WO2008EP67611; заявл. 2008-12-16; опубл. 2009-09-03.

[75] Метод и устройство диагностики двигателя по анализу выходной мощности приводного электрогенератора: пат. JP 2006047408 A1. /KAYSER WILLIAM M [US] . - № US20040931687; заявл. 2004-09-01; опубл. 2006-03-02.

[76] Автоматический следящий делитель периодов импульсных сигналов: пат. 2199091 РФ,. /Громогласов Николай Михайлович, Тихомирова Ирина Евгеньевна, Громогласов Михаил Николаевич . - № 5028563/09; заявл. 18.09.1992; опубл. 20.02.1998.

[77] Способ диагностики и регулирования двигателей внутреннего сгорания и устройство для его осуществления: пат. 2075741 РФ, МПК G 01 М 15/00. /Вол

Вилен А. (RU) . - № 93013965/06; заявл. 17.03.93; опубл. 20.03.97; Бюл. N8.

[78] Устройство для измерения параметров дизельного двигателя: пат. 2187689 РФ, МПК G 01 M 15/00. /Чемодин Борис Игоревич, . - Архипов Геннадий Борисович,; Пучков Виктор Анатольевич.

[79] Диагностирование ДВС по показателям спектрального анализа изменения угловой скорости коленчатого вала / Куверин И.Ю. // Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности «МНПК «ЛЭРЭП-2-2007» : . мат. междунар. науч. - практ. конф. : т. 2 / - С. 270274.

[80] Повышение безопасности эксплуатации автомобилей путем совершенствования систем их ТО и ремонта. / Озорнин С.П. // Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования : . мат. междунар. науч.- практ. конф. / - С. 139-141.

[81] Vaclav Pistek, Pavel Novotny. Dynamics of in-lin six-cylinder diesel engine with rubber damper//international Congress Center Bundeshaus Bonn, Germany, November 9 - 11,2005.

[82] Dynamic Analysis of Honda Engine Crank Shaft/ S. Bhagya Lakshmi, Sudheer Kumar V,Ch. Nagaraju // nternational Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 2, Issue 1, July 2012.

[83] Alanen, Jarmo, Haataja, Kari, Laurila, Otto, Peltola, Jukka & Aho, Isto. Diagnostics of mobile work machines. Espoo 2006. VTT Tiedotteita n Research Notes 2343. 122 p.

[84] Bonnick, Allan W.M. Automotive computer controlled systems: diagnostic tools and techniques/Allan W.M. Bonnick. OXFORD AUCKLAND BOSTON JOHANNESBURG MELBOURNE NEW DELHI, 2001.

[85] Special AVL. The Chassis Dynamometer as a Development Platform// Automobiltechnische Zeitschrift 111 (2009) Vol. 11.

[86] Gerhard Kokalj, Jeff Lewis, Christoph Zach, Ruangrit Ekachaiworasin . Significant reduction of powertrain calibration effort in production programs Automated calibration of driveability on chassis dyno and powertrain testbed//. The 8th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-8) April 2 - 6, 2012,

Challenger, Impact, Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand.

[87] Engine, battery and vehicle simulation strategies for transmission testing / Bryce Johnson, Troy, MI // Proceedings of the 2009 Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium (GVSETS).

[88] Трюбер С.С. Разработка методов и алгоритмов функционирования устройств контроля и диагностирования в системах управления многоцилиндровых двигателей: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. Саратов, 2010.

[89] Соловьев Д.Е. Разработка метода диагностирования дизеля в условиях эксплуатации с использованием неустановившихся режимов работы: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. Москва, 2004.

[90] Кривцов С.Н. Разработка метода бестормозных испытаний восьмицилиндровых дизельных двигателей в эксплуатационных условиях :На примере двигателя КамАЗ-740: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. Иркутск, 2005.

[91] Кузнецов А.Г. Разработка методов и средств повышения эффективности работы дизелей на динамических режимах: Дис. ... док. техн. наук: 05.04.02. Москва, 2010.

[92] Хайрtdинов И.Н. Разработка методов и динамической математической модели для исследования дизелей при неустановившихся нагрузках: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. Казань, 2003.

[93] Коньков А.Ю. Диагностирование технического состояния дизеля в эксплуатации на основе идентификации быстропротекающих рабочих процессов: Дис. ... док. техн. наук: 05.04.02. Хабаровск, 2010. Агуреев И. Е. Анализ и синтез динамических характеристик многоцилиндровых поршневых двигателей внутреннего сгорания: дис. ... д-ра техн. наук. Тула, 2003. 305 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

```
import os
```

```
import pickle
```

```
import errno
```

```
import numpy
```

```
import scipy.special
```

Определение класса нейронной сети

```
class neuralNetwork:
```

Инициализация нейронной сети

```
def __init__(self, inputnodes, hiddennodes, outputnodes, learningrate):
```

задаем количество узлов во входном, скрытом и выходном слое

```
self.inodes=inputnodes
```

```
self.hnodes=hiddennodes
```

```
self.onodes=outputnodes
```

Матрицы весовых коэффициентов связей w_{ih} (между входным и скрытым слоями) и w_{ho} (между скрытым и выходным слоями).

Весовые коэффициенты связей между узлом i и узлом j следующего слоя обозначены как w_{ij} : w_{11} w_{21} w_{12} w_{22} и т.д.

```
self.wih=(numpy.random.rand(self.hnodes, self.inodes) -0.5)
```

```
self.who=(numpy.random.rand(self.onodes, self.hnodes) -0.5)
```

Коэффициент обучения

```
self.lr=learningrate
```

Использование сигмоиды в качестве функции активации

```
self.activation_function=lambda x: scipy.special.expit (x)
```

```
pass
```

Тренировка нейронной сети

```
def train(self, inputs_list, targets_list):
```

Преобразование списка входных значений в двумерный массив

```
inputs = numpy.array(inputs_list, ndmin=2).T
```

```
targets = numpy.array(targets_list, ndmin=2).T
```

Рассчитываем входящие сигналы для скрытого слоя

```
hidden_inputs = numpy.dot(self.wih, inputs)
```

Рассчитываем входящие исходящие для скрытого слоя

```
hidden_outputs = self.activation_function(hidden_inputs)
```

Рассчитываем входящие сигналы для выходного слоя

```
final_inputs = numpy.dot(self.who, hidden_outputs)
```

Рассчитываем входящие исходящие для выходного слоя

```
final_outputs = self.activation_function(final_inputs)
```

Ошибки выходного слоя=(целевое значение-фактическое значение)

```
output_errors = targets - final_outputs
```

Ошибки скрытого слоя - это ошибки `output_errors`, распределенные пропорционально весовым коэффициентам связей и рекомбинированные на скрытых узлах

```
hidden_errors = numpy.dot(self.who.T, output_errors)
```

Обновляем весовые коэффициенты для связей между скрытым и выходным слоями

```
self.who += self.lr * numpy.dot((output_errors * final_outputs * (1.0 - final_outputs)), numpy.transpose(hidden_outputs))
```

Обновляем весовые коэффициенты для связей между входным и скрытыми слоями

```
self.wih += self.lr * numpy.dot((hidden_errors * hidden_outputs * (1.0 - hidden_outputs)), numpy.transpose(inputs))
```

```
pass
```

```
def save(self, key):
```

Сохраняем обученную модель

```
:param str key: имя модели
```

```
"""
```

```
try:
```

```
os.makedirs("C:/Users/User/Desktop/mnist_dataset")
```

```
except OSError as e:
```



```

if e.errno != errno.EEXIST:
    raise
file_path = os.path.join("C:/Users/User/Desktop/mnist_dataset", key)
value = {
    'inputnodes': self.inodes,
    'hiddennodes': self.hnodes,
    'outputnodes': self.onodes,
    'rate': self.lr,
    'wih': self.wih,
    'who': self.who,
}
with open(file_path, mode='wb') as fn:
    pickle.dump(value, fn, protocol=2)
pass

```

Опрашиваем нейронную сеть

```
def query (self, inputs_list):
```

Преобразовать список входных значений в двумерный массив

```
inputs=numpy.array(inputs_list, ndmin=2).T
```

Рассчитать входящие сигналы для скрытого слоя

```
hidden_inputs=numpy.dot(self.wih, inputs)
```

Рассчитать исходящие сигналы для скрытого слоя

```
hidden_outputs=self.activation_function(hidden_inputs)
```

Рассчитать входящие сигналы для выходного слоя

```
final_inputs=numpy.dot(self.who, hidden_outputs)
```

Рассчитать исходящие сигналы для выходного слоя

```
final_outputs=self.activation_function(final_inputs)
```

```
return final_outputs
```

Количество входных, скрытых и выходных узлов

```
input_nodes = 784
```

```
hidden_nodes = 200
```

```
output_nodes = 10
```

Коэффициент обучения равен 0,3

```
learning_rate=0.1
```

Создать экземпляр нейронной сети

```
n=neuralNetwork(input_nodes, hidden_nodes, output_nodes, learning_rate)
```

Загрузка тренировочных данных в формате CSV

```
training_data_file = open("mnist_dataset/mnist_train.csv", 'r')
```

```
training_data_list = training_data_file.readlines()
```

```
training_data_file.close()
```

Обучение нейронной сети

```
for e in range(epochs):
```

```
    for record in training_data_list:
```

```
        all_values = record.split(',')
```

```
        inputs = (numpy.asfarray(all_values[1:]) / 255.0 * 0.99) + 0.01
```

```
        targets = numpy.zeros(output_nodes) + 0.01
```

```
        targets[int(all_values[0])] = 0.99
```

```
        n.train(inputs, targets)
```

```
        pass
```

```
        pass
```

```
test_data_file = open("mnist_dataset/mnist_test.csv", 'r')
```

```
test_data_list = test_data_file.readlines()
```

```
test_data_file.close()
```

```
for record in test_data_list:
```

```
    all_values = record.split(',')
```

```
    correct_label = int(all_values[0])
```

```
    inputs = (numpy.asfarray(all_values[1:]) / 255.0 * 0.99) + 0.01
```

```
    outputs = n.query(inputs)
```

```
    label = numpy.argmax(outputs)
```

```
    if (label == correct_label):
```

```
        scorecard.append(1)
```

```
else:
```

```
scorecard.append(0)
```

```
pass
```

```
pass
```

Расчет ошибки и таблицы их корректировки

```
scorecard_array = numpy.asarray(scorecard)
```

```
print ("performance = ", scorecard_array.sum() / scorecard_array.size)
```


РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу

Выпускника Билалова Идеше Альбертовича

Направление подготовки 35.04.06 „Агринженерия“

Направленность Магистерская программа – „Технический сервис в сельском хозяйстве“

Тема ВКР „Разработка инвариантного метода вибрационной диагностики цимингкоричневой группы фасателе внутреннего сгорания“

Объем ВКР: текстовые документы содержат: 94 страниц, в т.ч. пояснительная записка 88 стр.; включает: таблиц 9, рисунков и графиков 21, фотографий 4 штук, список использованной литературы состоит из 93 наименований.

1. Актуальность темы, ее соответствие содержанию ВКР Тема актуальна и полностью соответствует содержанию работы.

2. Глубина, полнота и обоснованность решения поставленных задач Поставленные задачи решены глубоко, решение полностью обосновано

3. Качество оформления ВКР отлично

4. Положительные стороны ВКР (новизна разработки, применение информационных технологий, практическая значимость и т.д.)

Разработанный инвариантный метод вибрационной

способностью и готовностью применять знания о современных методах исследований (ПК-4)	4
способностью и готовностью организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, вести поиск инновационных решений в инженерно-технической сфере АПК (ПК-5)	5
Средняя компетентностная оценка ВКР	5

* Уровни оценки компетенции:

«**Отлично**» – студент освоил данную компетенцию на высоком уровне. Он может применять (использовать) её в нестандартных производственных ситуациях и ситуациях повышенной сложности. Обладает отличными знаниями и умениями по всем аспектам данной компетенции. Владеет полными навыками применения данной компетенции в производственных и (или) учебных целях.

«**Хорошо**» – студент полностью освоил компетенцию, эффективно применяет её при решении большинства стандартных производственных и (или) учебных задач, а также в некоторых нестандартных ситуациях. Обладает хорошими знаниями и умениями по большинству аспектов данной компетенции.

«**Удовлетворительно**» – студент не полностью освоил компетенцию. Он достаточно эффективно применяет освоенные знания при решении стандартных производственных и (или) учебных задач. Обладает хорошими знаниями по многим важным аспектам данной компетенции.

«**Неудовлетворительно**» – студент не освоил или находится в процессе освоения данной компетенции. Он не способен применять знания, умение и владение компетенцией как в практической работе, так и в учебных целях.

6. Замечания по ВКР _____

1. Следовало бы расширить обзор методов и способов проведения технического обслуживания.
2. В работе не приведены зарубежные аналоги вибрационных датчиков.
3. В пояснительной записке следовало бы более подробно описать программу и методику математического моделирования.
4. Не на все источники использованной литературы имеются ссылки в тексте.

ОТЗЫВ

о работе над магистерской диссертацией магистранта Института механизации и технического сервиса Казанского ГАУ Билалова Аделя Альбертовича на тему: «Разработка инвариантного метода вибрационной диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания».

Актуальность темы магистерской диссертации Билалова А.А. заключается в том, что в настоящее время назрела острая необходимость в усовершенствовании средств и методов диагностирования, особенно автотракторных двигателей.

Билалов А.А. провел подробный анализ применяемых на сегодняшний день методов и средств диагностирования технического состояния автомобилей и сельскохозяйственной техники.

Им разработана программа и методика лабораторных исследований и проведены теоретические и экспериментальные исследования на достаточном научно-методическом уровне.

За время работы над диссертацией соискатель умело использовала знания, полученные в университете. К своей работе над магистерской диссертацией Билалов А.А. приступил своевременно, и работал согласно разработанному графику. К работе над диссертацией относился ответственно. Необходимо отметить, что магистрант довольно грамотно решил сложные технические задачи, стоящие перед ним во время выполнения магистерской диссертации.

В период обучения и ходе выполнения магистерской диссертации Билалов А.А. изучил необходимую научно-техническую и специальную литературу по теме своей диссертации. Он овладел методикой проведения экспериментов и методами обработки опытных данных, а также всеми необходимыми компетенциями, предусмотренными ФГОС ВО. Это позволило ему технически грамотно написать магистерскую диссертацию в соответствии с требованиями ЕСНД и ЕСТД.