

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника отдела диагностики, технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» Петрищева Николая Алексеевича на диссертационную работу Ступина Олега Александровича на тему: «Разработка комбинированного метода вибродиагностирования гидравлических насосов сельскохозяйственной техники», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Соответствие диссертации специальности и отрасли науки

Диссертационная работа посвящена вопросам повышения эффективности диагностирования гидравлических насосов сельскохозяйственной техники на основе анализа вибрационных сигналов. Тематика работы, объект и предмет исследования, а также полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки) по пунктам 4, 5, 12 и 20.

Актуальность темы диссертации

Надежность гидравлических систем в значительной мере определяет техническую готовность мобильной сельскохозяйственной техники. Гидравлические насосы относятся к числу элементов, в наибольшей степени влияющих на безотказность гидропривода. Как показывают приведенные в работе данные, отказы насосов составляют около четверти всех неисправностей гидросистем, при этом значительная их часть развивается постепенно и может быть обнаружена на ранних стадиях при применении соответствующих методов контроля.

Вибродиагностика рассматривается как один из перспективных методов оценки технического состояния, позволяющий проводить измерения без

разборки агрегата. Вместе с тем, как обоснованно отмечает автор, существующие методы обработки вибрационных сигналов, ориентированные на стационарные режимы, дают недостаточно достоверные результаты в условиях переменных нагрузок и частот вращения, характерных для эксплуатации сельскохозяйственной техники. Сложность выделения информативных признаков на фоне помех и разделения близких по проявлениям дефектов обуславливает необходимость совершенствования методов обработки вибрационных сигналов. Предлагаемый в диссертации комбинированный подход, объединяющий методы спектрального анализа, статистической обработки и интеллектуальной классификации, направлен на решение указанной задачи, что подтверждает актуальность выполненного исследования.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (144 наименования) и приложений. Общий объем работы - 209 страниц, включая 61 рисунок и 16 таблиц.

Во введении сформулированы цель и задачи, определена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит анализ современного состояния методов диагностирования технических систем. Рассмотрены эволюция систем технического обслуживания, классификация методов неразрушающего контроля. Подробно проанализированы методы обработки вибрационных сигналов во временной, частотной и частотно-временной областях, а также методы отбора диагностических признаков. На основе выполненного анализа обоснована необходимость применения интеллектуальных методов обработки данных для условий нестационарных режимов.

Вторая глава посвящена анализу методов вибродиагностирования гидравлических систем и насосов. Рассмотрены подходы с использованием одиночных и множественных сигналов, методы искусственного интеллекта,

включая нейронные сети, метод опорных векторов, деревья решений и нечеткую логику. Выявленные ограничения позволили сформулировать требования к разрабатываемому комбинированному методу.

В третьей главе представлена разработка комбинированного метода вибродиагностирования гидравлических насосов. Изложены теоретические положения рассматриваемого вопроса, включающие расчет спектральной плотности мощности методом Уэлча, выделение статистических признаков, отбор информативных параметров с помощью алгоритма деревьев решений J48 и классификацию технических состояний на основе нечеткого логического вывода. Приведены результаты экспериментальных исследований на насосе НШ-32А, подтверждающие эффективность разработанного метода.

В четвертой главе описана разработка программного комплекса, реализующего предложенный метод. Представлена архитектура программного обеспечения, включающая модули предварительной обработки сигналов, спектрального и параметрического анализа, классификации и визуализации результатов. Выполнена оценка точности диагностирования на основе матрицы неточностей. Средняя точность диагностирования дефектов гидравлического насоса НШ-32 А по трем неисправным состояниям составила 90 %. Установлены диагностические пороги для основных видов повреждений в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 20816.

В пятой главе приведены результаты расчета экономической эффективности внедрения разработанного метода вибродиагностирования и программного комплекса в СПК «Стрелецкий» Тульской области. Доказано, что полученные результаты позволяют сократить затраты на ремонт и снизить потери от простоев техники.

В заключении сформулированы основные выводы, соответствующие поставленным задачам.

Научная новизна полученных результатов

К числу новых научных результатов, полученных в диссертации, следует отнести:

- разработка комбинированного метода вибродиагностирования шестеренных гидравлических насосов, отличающийся совместным применением спектрального анализа на основе оценки спектральной плотности мощности, алгоритма деревьев решений J48 для автоматизированного выбора информативных признаков и нечеткого логического вывода, обеспечивающего классификацию технических состояний с учетом неопределенности исходных данных. Метод позволяет формировать диагностические заключения в условиях нестационарных режимов работы.

- получение математической зависимости для комбинированного индекса дефектности, объединяющего энергетические, статистические и спектральные характеристики вибрационного сигнала, что позволяет проводить количественную оценку степени развития повреждения.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений обеспечивается применением теоретических методов исследования, включая методы цифровой обработки сигналов, математической статистики и теории распознавания образов. Достоверность результатов подтверждается использованием сертифицированного измерительного оборудования, достаточным объемом экспериментальных данных, применением апробированных методов статистической обработки и перекрестной проверки при оценке точности классификации, а также положительными результатами апробации разработанного программного комплекса в условиях СПК «Стрелецкий» Тульской области.

Достоверность основных выводов диссертации обоснована следующим образом:

- **Вывод 1** анализ и систематизация методов достоверен, поскольку базируется на изучении 144 литературных источников, включая современные

зарубежные и отечественные публикации, и выполнен с использованием общепринятых подходов к классификации методов диагностирования.

- **Вывод 2** разработка адаптивного алгоритма достоверен, так как алгоритм построен на теоретически обоснованных методах обработки сигналов и прошел экспериментальную проверку.

- **Вывод 3** экспериментальное подтверждение метода достоверен, поскольку тестирование проводилось с применением поверенного оборудования на гидравлическом насосе НШ-32А с известными дефектами, результаты обработаны статистически, показали устойчивую повторяемость и достоверность.

- **Вывод 4** разработка программного комплекса достоверен, так как погрешности оценки диагностических параметров (СКЗ, пик-фактор, эксцесс, энергия СПМ) не превысили 2,3–4,7%, что подтверждено сравнением с эталонными измерениями анализатором и соответствует требованиям ГОСТ ISO 20816.

- **Вывод 5** точность классификации достоверен, поскольку получен на основе матрицы неточностей, построенной по результатам обработки экспериментальных данных с применением перекрестной проверки, что обеспечивает статистическую значимость оценок.

- **Вывод 6** экономическая эффективность достоверен, так как расчеты выполнены по фактическим данным предприятия СПК «Стрелецкий» Тульской области и подтверждены актом внедрения.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методов вибродиагностирования применительно к объектам, функционирующим в нестационарных режимах. Предложенный подход расширяет возможности выделения диагностической информации из сигналов в условиях нестационарных режимов работы.

Практическая значимость подтверждается созданием программного комплекса для автоматизированного вибродиагностирования гидравлических

насосов, на который получено пять свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Разработка внедрена в СПК «Стрелецкий» Тульской области, экономический эффект от использования на один трактор МТЗ-82 составил 237,9 тыс. рублей при годовой наработке 1500 мото-часов. Материалы диссертации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе при анализе методов обработки сигналов автор рассматривает временной, частотный и частотно-временной подходы. Однако выбор конкретных методов для последующего применения в экспериментальной части (спектральная плотность мощности, метод Уэлча, алгоритм J48) обоснован недостаточно подробно. В частности, не вполне ясно, почему предпочтение отдано именно этим методам, а не, например, вейвлет-анализу или методу главных компонент, которые также упоминаются в обзоре.

2. В третьей главе при описании этапа извлечения признаков автор приводит девять статистических параметров, рассчитываемых по сигналам спектральной плотности мощности. Из текста неясно, проводилась ли предварительная оценка их информативности для каждого из исследуемых скоростных режимов, или отбор признаков выполнялся исключительно алгоритмом J48 на этапе обучения.

3. При экспериментальной проверке разработанного метода использовался насос одной модели (НШ-32А) применительно к использованию в гидравлической системе навески трактора МТЗ - 82. Однако, в работе следовало бы более детально обосновать возможность распространения выполненных автором исследований на другую используемую в АПК технику, в которой в гидравлических системах используется данная марка насоса, причем как правого, так и левого вращения и следовало бы указать, какие дополнительные исследования потребуются для их адаптации.

4. В четвертой главе приведены результаты оценки точности диагностирования на основе матрицы неточностей. Из нее видно, что наибольшее число ошибок приходится на распознавание комбинированных дефектов. Необходимо пояснить, с чем это связано - с недостаточной чувствительностью используемых признаков или с особенностями проявления сочетаемых повреждений в вибрационном сигнале.

5. В работе не указано, каким образом выбиралось место установки датчика на корпусе насоса и проводилась ли оценка чувствительности результатов диагностирования к изменению точки измерения.

6. При описании экспериментальных исследований не приведены данные о том, учитывалось ли влияние внешних вибраций (например, от работающего двигателя и трансмиссии трактора, а также работы разных секций гидрораспределителя и соответственно гидроцилиндров, имеющих в составе трактора) на регистрируемый сигнал, и какие меры принимались для их минимизации.

7. Экспериментальные исследования в работе выполнены для трёх фиксированных частот вращения вала насоса (1000, 1500 и 2000 об/мин), но при этом не указывается частота вращения коленчатого вала двигателя, которую можно контролировать по штатному тахометру. Из текста диссертации неясно, сохраняет ли разработанный комбинированный метод и программный комплекс свою работоспособность при работе насоса на переходных режимах гидрораспределителя, оптимальные условия его работы при диагностировании следовало бы описать в заявленных допущениях и ограничениях.

8. В тексте диссертации отсутствует сравнение эффективности использования предложенного комбинированного метода по отношению к стато-параметрическому методу, который позволяет определять с применением гидротестера коэффициент подачи насоса, но при условии разъединения гидролиний.

9. Автор при экспериментальных исследованиях использовал в качестве рабочей жидкости масло И-20А, однако в диссертации не указан

диапазон температуры или кинематической вязкости при которой происходила оценка технического состояния насоса. Возможно ли использовать предложенный автором метод при использовании других марок (например, М-10Г2 - летом или М-8В2 - зимой) рабочей жидкости?

10. Требуется уточнения оценка полученного экономического эффекта, так как автор не указывает стоимость используемого и предлагаемого диагностического оборудования, а также не приводятся данные по типам выполняемых работ (сельскохозяйственные или транспортные), которые из-за простоя техники не были выполнены, что в свою очередь, нарушило работы в оптимальные агротехнические сроки (как указано на стр. 4 диссертации).

Приведенные замечания имеют рекомендательный характер и не затрагивают основных научных результатов, полученных в диссертации.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат по структуре, объему и содержанию соответствует требованиям, предъявляемым к авторефератам кандидатских диссертаций. Основные положения и выводы диссертации отражены в автореферате достаточно полно.

Полнота опубликования результатов в научной печати

Основные результаты диссертации опубликованы в 17 научных работах, в том числе в 4 статьях в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также в 2 учебных пособиях и 1 монографии. Получено 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы прошли апробацию на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Заключение

Диссертационная работа Ступина Олега Александровича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена задача, имеющая значение для

развития методов диагностирования гидравлических систем сельскохозяйственной техники. По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертация соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела диагностики, технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ»



Петрищев Николай Алексеевич

«25» 03 2026 г.

Подпись Петрищева Николая Алексеевича заверяю



Научная специальность - 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве». Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Адрес организации: 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5 Телефон: +7 (499) 171-43-49, E-mail: vim@vim.ru, официальный сайт: <https://vim.ru/>.