

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Ступина Олега Александровича «Разработка комбинированного метода вибродиагностирования гидравлических насосов сельскохозяйственной техники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 - «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса».

Актуальность диссертации

Стратегия развития сельского хозяйства Российской Федерации до 2030 года определяет в качестве приоритетных задач повышение эффективности сельскохозяйственного производства, обеспечение его технологической независимости и конкурентоспособности. Реализация этих задач непосредственно связана с поддержанием высокого уровня технической готовности парка сельскохозяйственных машин, неотъемлемой частью которой является гидроаппаратура. По статистическим данным около 15% отказов сельскохозяйственной техники приходится на гидросистемы, при этом гидравлические насосы составляют четверть от этого количества.

Своевременное обнаружение развивающихся дефектов гидравлических насосов позволяет предотвратить внезапные отказы, а ключевое значение приобретает достоверность и оперативность диагностирования. Среди существующих методов контроля технического состояния вибродиагностирование выделяется возможностью проведения измерений без разборки агрегата и высокой скоростью получения информации. Вместе с тем, применение вибродиагностирования для гидравлических насосов затруднено по причине нестационарного характера рабочих режимов, а также высокой зашумленности сигналов и их сложной структуры, что затрудняет получение «вибрационного портрета» и выделение информативных признаков дефектов.

Таким образом, исследования, направленные на повышение достоверности выделения диагностической информации из вибрационных сигналов гидравлических насосов в условиях нестационарных режимов работы, являются актуальными и создает основу для совершенствования системы технического обслуживания гидрофицированных машин и позволяют выявлять повреждения на ранних стадиях.

Научная новизна и теоретическая значимость работы

К научной новизне работы следует отнести разработку комбинированного метода вибродиагностирования гидравлических насосов, отличающегося совместным использованием анализа спектральной плотности мощности для выделения диагностических признаков в условиях помех, и получении математической зависимости комбинированного индекса дефектности от ключевых диагностических параметров, позволяющей комплексно оценивать техническое состояние.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в возможности применения предложенного комбинированного подхода объединяющего анализ спектральной плотности мощности, интеллектуальный отбор диагностических признаков на основе алгоритма с

использованием нечеткой логики, для развития методологического аппарата диагностирования гидроаппаратуры.

Практическая значимость работы

Результаты диссертационной работы обладают практической значимостью, разработанный программный комплекс может быть использован для диагностирования гидравлических насосов. Его применение позволяет выявлять развивающиеся дефекты на ранних стадиях, что создает основу для перехода к обслуживанию по фактическому состоянию и способствует сокращению простоев машин. Полученные в работе диагностические пороги для основных видов повреждений (износ зубьев шестерен, износ подшипников) могут быть использованы при проведении технического обслуживания тракторного парка.

Основные результаты исследований могут быть использованы сельскохозяйственными предприятиями, организациями технического сервиса, машиноиспытательными станциями, а также в учебном процессе при подготовке специалистов по эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Достоверность полученных результатов

Достоверность обеспечена корректным применением стандартных методов обработки сигналов, методов снижения размерности, а также методов классификации. Использование экспериментальных данных, полученных с применением измерительного оборудования и апробированных методик обработки сигналов, обеспечило обоснованность разработанных методов вибродиагностирования гидравлических насосов.

Достоверность полученных результатов подтверждается достаточным объемом экспериментальных исследований, выполненных для трех скоростных режимов и четырех технических состояний насоса НШ-32А, использованием современного оборудования, а также корректным применением методов математической статистики при обработке данных.

Полученные результаты соответствуют поставленным в работе целям и задачам.

Анализ содержания диссертации и степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 144 наименований и приложений. Работа изложена на 209 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунок и 16 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ современных методов диагностирования технических систем, рассмотрен процесс развития и трансформация концепций технического обслуживания, неразрушающие методы контроля и классификация подходов к обработке вибрационных сигналов. Систематизированы методы выделения и отбора диагностических признаков, обоснована необходимость применения интеллектуальных методов для обработки нестационарных сигналов в условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Во второй главе проведен анализ интеллектуальных методов вибродиагностирования гидравлических систем, рассмотрены подходы к диагностированию гидравлических насосов на основе одиночных и множественных сигналов, а также методы искусственного интеллекта. Выявлены основные ограничения существующих методов, что позволило обосновать необходимость разработки комбинированного подхода, сочетающего спектральный анализ, интеллектуальный отбор признаков и классификацию на основе нечеткого вывода.

В третьей главе разработан комбинированный метод вибродиагностирования гидравлических насосов, включающий расчет спектральной плотности мощности вибросигналов методом Уэлча, извлечение статистических признаков, отбор информативных параметров с

помощью алгоритма деревьев решений J48 и классификацию технических состояний на основе нечеткого логического вывода. Экспериментальные исследования на насосе НШ-32А при трех скоростных режимах (1000, 1500, 2000 об/мин) и четырех технических состояниях (исправное, износ подшипников, износ зубьев шестерен, комбинированный дефект) подтвердили работоспособность метода.

В четвертой главе разработан программный комплекс для автоматизированного вибродиагностирования гидравлических насосов, реализующий предложенный комбинированный метод. Описана трехуровневая архитектура программы: уровень обработки сигналов (фильтр Баттерворта 4-го порядка, Z-score нормализация, расчет спектральной плотности мощности методом Уэлча), диагностический уровень (отбор признаков алгоритмом J48, расчет комбинированного индекса дефектности, классификация по ГОСТ ISO 20816) и интерфейсный уровень (визуализация временных и спектральных сигналов, цветовая индикация результатов). Выполнена оценка точности диагностирования на основе матрицы неточностей, установлены диагностические пороги для основных дефектов.

В пятой главе приведены результаты расчета экономической эффективности внедрения разработанного метода и программного комплекса в СПК «Стрелецкий» Тульской области.

В заключении сформулированы основные выводы и рекомендации по использованию полученных результатов, которые соответствуют поставленным задачам и отражают основное содержание диссертационной работы.

Основные положения, выводы и рекомендации

Вывод первый. В ходе исследования выполнен системный анализ современных методов вибродиагностирования технических систем, позволивший выявить ограничения традиционных подходов при работе с нестационарными сигналами в условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники. Обоснованность данного вывода подтверждается объемом

проанализированных литературных источников (144 наименования) и корректностью примененных методов систематизации.

Вывод второй. Разработанный адаптивный алгоритм вибродиагностирования гидравлических насосов базируется на комбинировании анализа сигнала во временной и частотной областях, что обеспечивает отбор ключевых диагностических признаков. Достоверность вывода подтверждена результатами экспериментальной проверки алгоритма на насосе НШ-32А при различных скоростных режимах.

Вывод третий. Экспериментальное обоснование комбинированного метода вибродиагностирования выполнено с использованием сертифицированного измерительного оборудования и апробированных методик обработки данных. Полученные зависимости между диагностическими признаками и техническим состоянием насоса подтверждены путем сопоставления с результатами измерений на насосах с известными дефектами (износ торца зубьев шестерен, износ подшипников).

Вывод четвертый. Разработанный программный комплекс прошел тестирование на экспериментальных данных, при этом погрешность оценки основных диагностических параметров (СКЗ, пик-фактор, эксцесс, энергия СПМ) не превысила допустимых значений, установленных ГОСТ ISO 20816. Оригинальность разработанного программного комплекса подтверждена пятью авторскими свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Вывод пятый. Оценка точности диагностирования выполнена на основе статистического анализа с построением матрицы неточностей для четырех технических состояний насоса. Установленные диагностические пороги для ключевых дефектов (износ зубьев шестерен, износ подшипников, комбинированные дефекты) обоснованы экспериментальными данными и соответствуют требованиям ГОСТ ISO 20816.

Вывод шестой. Экономическая эффективность внедрения разработанного программного комплекса подтверждена актом внедрения в СПК «Стрелецкий» Тульской области.

Полнота опубликования основных результатов работы в печати и соответствие содержания автореферата основным положениям диссертационной работы

Основные результаты диссертационного исследования достаточно полно отражены в опубликованных научных трудах. Всего по теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, выпущены 2 учебных пособия и 1 монография, получено 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Материалы диссертации прошли апробацию на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Автореферат по структуре, объему, содержанию и оформлению соответствует требованиям ВАК. Содержание автореферата полностью отражает основные положения и научные результаты диссертации, выносимые на защиту. Тексты диссертации и автореферата соответствуют электронной версии, размещенной на сайте.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе следовало бы более детально раскрыть критерии выбора тех или иных методов для последующего применения в диагностировании гидравлических насосов.

2. При анализе методов диагностирования (стр. 65, 73 диссертации) преимущественно рассматривались вибрационные методы, а комбинирование вибродиагностики с другими методами контроля (анализ давления, расхода, температуры) могло бы повысить достоверность оценки технического состояния гидравлических насосов.

3. Экспериментальные исследования выполнены для одного типоразмера насоса (НШ-32А), что требует дополнительного подтверждения применимости разработанного метода для других типов шестеренных насосов.

4. В работе желательно было бы привести сравнение эффективности разработанного комбинированного метода с традиционными подходами (например, с использованием только спектрального анализа или только статистических признаков) на одних и тех же экспериментальных данных, что позволило бы в полной мере оценить преимущества предлагаемого решения.

5. В описании программного комплекса подробно представлен алгоритм и методика расчета показателей (п. 4.3, стр. 138), однако недостаточно внимания уделено вопросам его практического применения, в частности, требованиям к подготовке поверхности для установки датчика и обеспечению повторяемости измерений.

6. В тексте диссертации желательно было бы привести более подробное обоснование сокращения времени на устранение последствий отказов гидравлического насоса и затрат на их устранение.

Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Отмеченные недостатки и замечания не уменьшают общей ценности работы. Диссертационная работа изложена аргументировано, логично и технически грамотно.

Диссертационная работа Ступина Олега Александровича на тему «Разработка комбинированного метода вибродиагностирования гидравлических насосов сельскохозяйственной техники», является самостоятельно выполненной и законченной научно-квалификационной работой. Содержание диссертации соответствует заявленной области исследований и паспорту научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

