14. Hoffmann C.C., Kjærgaard C. Optimeret kvælstoffjernelse i matricevådområder. Vand & Jord. 2017. N3. 101-105.
15. Васильев Э.В. Повышение эколого-экономической эффективности процесса использования жидкого органического удобрения путем автоматизированного выбора рациональных вариантов технологий транспортировки и внесения в условиях Северо-Западного региона // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2013. – № 4(12). – С. 127-133.
16. Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12. – № 4. – С. 4-9.
17. Pozdnyakov Sh.R., Briukhanov A.Yu., Kondrat'ev S.A., Ignat'eva N.V., Shmakova M.V., Minakova E.A., Rasulova A.M., Oblomkova N.S., Vasil'ev E.V., Terekhov A.V. Perspectives of the Reduction of Nutrient Export from River Watersheds through the Introduction of Best Available Technologies for Agricultural Production: Based on Modeling Results. Water Resources. – 2020. – Vol. 47. – No. 5. – P. 771-784.
18. Martikainen K., Kauppinen A., Matikka V., Veijalainen A.-M., Torvinen E., Pitkänen T., Miettinen I.T., Heinonen-Tanski H. Efficiency of Private Household Sand Filters in Removing Nutrients and Microbes from Wastewater in Finland. Water. – 2018. N10. 1000.

УДК 621.43:681.518

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-324-328

*Савченко О.Ф., Елкин О.В., Добролюбов И.П.,
СибФТИ СФНЦА РАН, Новосибирская область, р.п. Краснообск*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Обоснована необходимость контроля энергетических показателей тракторных двигателей для оперативного обеспечения работоспособности сельскохозяйственной техники в эксплуатационных условиях. Предложена информационная модель мониторинга энергетических показателей машинно-тракторного парка сельхозпредприятия, отражающая основные аспекты получения, обработки, хранения и применения диагностической информации. За счет своевременной оценки состояния техники и выполнения необходимого технического обслуживания обеспечивается повышение эффективности ее работы.

Ключевые слова: машинно-тракторный парк (МТП), двигатель внутреннего сгорания (ДВС), мощность, динамическая модель, энергетические параметры, информационное моделирование, базы данных.

Постановка проблемы. Энергообеспеченность посевных площадей (суммарная мощность двигателей комбайнов, тракторов и другой техники (кВт) на 1 га) является одним из важных показателей уровня развития сельскохозяйственного производства. В России наблюдается тенденция к его снижению на протяжении последних 20 лет. Ежегодно парк тракторов сокращается в среднем на 7 %, парк зерноуборочных комбайнов – на 8 %; прогнозируется дальнейшее ежегодное сокращение парка на 10-12 %, что предопределяет и снижение энергообеспеченности полевых работ. В Новосибирской области отмечается уменьшение суммарной мощности двигателей тракторов, комбайнов и самоходных машин за последние пять лет на 20,6 % [1].

Существенно дополняет эту негативную тенденцию и неизбежная потеря мощности мобильной сельскохозяйственной техники при непосредственном выполнении полевых сельскохозяйственных работ. Это обусловлено ухудшением технического состояния ДВС – энергетического средства МТП сельхозпредприятия из-за износа деталей, нарушения регулировок и настроек механизмов и систем, обостряемое старением эксплуатируемой техники, необходимостью использования техники со средним сроком службы более 10 лет. Средняя нагрузка на один трактор за 1996-2016 гг. в стране возросла от 92 до 247 га пашни, т. е. в 2,7 раза при средней нормативной нагрузке 70 га. В Новосибирской области сроки фактической эксплуатации машин и оборудования превышают нормативные в 2-3 раза, энергообеспеченность полеводства составляет 1,7 л.с./га посевной площади против 3,0–3,5 л.с./га по нормативам [2].

Вышесказанное обосновывают необходимость ускоренного развития исследований, на-

целенных на разработку и практическую реализацию высокопроизводительных методов и систем эксплуатационного контроля технического состояния ДВС. Среди них важное место занимают методы оценки энергетических параметров, автоматизации определения динамики изменения мощности ДВС в эксплуатационных условиях [3].

Для оперативного контроля эксплуатационных энергетических параметров наиболее перспективно применение динамического метода диагностики ДВС различного назначения, использующего измерение и анализ угловой скорости и ускорения коленчатого вала на динамических режимах работы ДВС [4-7]. Для метода характерна необходимость оперирования большими объемами информации, получаемыми с ДВС и подлежащими углубленной аналитической обработке для расчета энергетических параметров. Это требует привлечения быстродействующих диагностических технических средств, передовых цифровых технологий передачи и обработки данных, позволяющих, в отличие от аналоговой техники, объединить в единое целое весь технологический процесс мониторинга сельскохозяйственной техники [8]. Практическому применению этого информационного подхода в инженерно-технической сфере АПК способствуют успешно развивающиеся статистические методы анализа сигналов, информационное компьютерное моделирование технологических процессов, а также усилившаяся в последнее время тенденция интеллектуализации тракторов и машинно-тракторных агрегатов, развитие систем телеметрии, мониторинга и параллельного вождения, разработка цифровых информационных и управляющих систем [9-11].

Учитывая особенности разработки средств мониторинга, обусловленные сложностью структуры ДВС, МТП и влиянием множества факторов, разнообразием знаний и данных, а также необходимостью комплексного решения задачи в приемлемые сроки целесообразно формирование информационной модели.

Цель исследования – анализ особенностей применения информационного моделирования тракторных двигателей для разработки цифровой информационной модели энергетического мониторинга МТП сельхозпредприятия.

Методы исследований

В ходе исследований обосновано применение метода информационного моделирования как наиболее адаптивного инструмента анализа для целостного и формализованного описания функционирования средств энергетического мониторинга ДВС. При этом информационная модель понимается как информация, которая описывает существенные свойства объекта и его связи, формализована с точки зрения цели исследования и зафиксирована на информационном носителе [12].

Необходимо создание модели с учетом внутреннего состояния объекта моделирования (ДВС) с отображением множеств возможных значений входов, состояний и выходов, а также связей между ними. Информационная модель мониторинга МТП должна отражать основные аспекты получения, обработки, хранения и применения диагностической информации рассматриваемого технологического процесса.

Научно-методические особенности информационного моделирования

1. Для расчета энергетических параметров привлечена компьютерная математическая модель динамики ДВС, разработанная с учетом многолетнего опыта разработчиков [13]. Она предназначена для диагностирования тракторных двигателей в условиях эксплуатации с применением тестовых переходных режимов работы ДВС на основе вычисления углового ускорения коленчатого вала. Разработанная модель учитывает нелинейность и нестационарность отдельных звеньев, влияние изменения множества важнейших параметров отдельных агрегатов и систем на выходные процессы двигателя в функции времени, углового перемещения, скоростного и нагрузочного режимов. Она применима как при стендовых исследовательских испытаниях, так и в эксплуатационных условиях.

2. Важным научно-методическим аспектом при создании информационной модели является необходимость анализа измерительной информации, оценки методических погрешностей. Как известно, при диагностировании состояния ДВС используются сигналы физических процессов, характеризующие работу двигателя. После измерения и предварительной

обработки сигналов с датчиков выполняется обработка информации. При этом в измерительном канале от датчика до микропроцессорного устройства происходит накопление погрешностей. Случайность процессов подачи топлива и его сгорания от цикла к циклу, а также процессов трения в сопряжениях ДВС вызывают случайные отклонения угловых скорости и ускорения коленчатого вала $\omega(t)$ и $\varepsilon(t)$ от их средних значений. Это приводит к необходимости рассматривать измеряемые процессы как аддитивную совокупность полезного информативного процесса и помехи. Для определения параметров целесообразно использование известных вероятностных методов анализа сигналов, статистических методов оптимальной обработки сигналов на фоне помех. Это позволило обосновать оптимальный метод обнаружения структурных параметров ДВС, скрытых в высоком уровне других составляющих рабочих процессов и измерения информативных параметров сигналов, отражающих эти параметры измерительной экспертной системой [14].

3. Значимой методической особенностью информационного моделирования является необходимость учета того, что современные тракторные двигатели оснащены электронной системой управления, обеспечивающей необходимый алгоритм управления режимами работы двигателя на основе характеристик по измеренным значениям параметров двигателя. Отсюда очевиден принцип создания диагностических систем, использующих бортовую сеть трактора – это диагностирование различными аналитическими методами по измеренным процессам не только от специальных устанавливаемых датчиков физических процессов ДВС (например, датчиков углового положения коленчатого вала), но и с использованием сигналов, определяемых стандартным протоколом средств коммуникаций от датчиков электронной системы управления. Здесь практическую ценность представляет предложенный метод определения мощности ДВС на основе изучения динамики ДВС (переходного процесса угловой скорости коленчатого вала) при диагностических тестах. При этом измеряются как потоки временных интервалов от датчиков скорости коленчатого вала, так и пакеты запроса-приема параметра частоты вращения по CAN-шине от электронного блока двигателя по диагностическому разъему OBD-II посредством разработанной диагностической системы на базе устройства NI SbRIO-9694 [15].

4. Большое внимание при исследованиях уделяется созданию информационного сопровождения для всего цикла технологического процесса, обеспечивая регистрацию данных, их обработку и визуализацию результатов на основе удобного интерфейса пользователя. Основой может стать созданное специальное программное обеспечение автоматизированной цифровой технологии энергетической оценки ДВС с использованием удобного интерфейса пользователя, предоставляя пользователю возможность непосредственно контролировать процесс подачи тестовых воздействий, регистрации и визуализации данных [16].

Результаты исследований

Автоматизация мониторинга МТП предполагает инструментальный контроль энергетических параметров ДВС, для чего используются сигналы физических процессов, характеризующие работу двигателя. После измерения и предварительной обработки сигналов, поступающих с датчиков, выполняется целенаправленная обработка информации для вычисления характеристик и параметров ДВС, нахождения диагностических признаков оценки состояния ДВС с применением методов анализа сигналов. Информационная модель предусматривает и информационное сопровождение технологического процесса мониторинга: обеспечивается ввод и корректировка исходных данных; контролируется измерение, регистрация, расчет и визуализация значений параметров. Схема информационной модели мониторинга энергетических параметров МТП приведена на рисунке 1.

Информационная модель состоит из блоков: получения диагностических данных; первичной обработки; расчета параметров; а также базы данных парка техники (паспортные данные, данные текущего состояния, данные результатов мониторинга); оценки отклонений от нормальных значений и рекомендаций.

Для определения скоростной характеристика, по которой рассчитывается мощность ДВС и другие его параметры, используются сигналы от специально устанавливаемого на ДВС

датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) в картере сцепления напротив зубчатого венца маховика или от штатного датчика ДВС по диагностическому разъему (OBD-II). В информационную базу данных заносятся паспортные сведения по ДВС парка МТП сельхозпредприятия, их номинальные значения на соответствующих режимах, допускаемые отклонения и допускаемое время отклонения.

Наряду с режимом ручного ввода информации предусмотрен и режим обучения – инструментальное занесение данных в базу при соответствующих (известных, стандартных) режимах работы ДВС.

Рисунок 1. Схема информационной модели оценки эксплуатационных энергетических параметров тракторных двигателей

Для определения скоростной характеристика, по которой рассчитывается мощность ДВС и другие его параметры, используются сигналы от специально устанавливаемого на ДВС датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) в картере сцепления напротив зубчатого венца маховика или от штатного датчика ДВС по диагностическому разъему (OBD-II). В информационную базу данных заносятся паспортные сведения по ДВС парка МТП сельхозпредприятия, их номинальные значения на соответствующих режимах, допускаемые отклонения и допускаемое время отклонения. При практическом использовании в режиме мониторинга идет постоянный (периодический) контроль текущего значения анализируемых параметров. По результатам испытаний ДВС производится оценка и анализ результатов, сравнение текущих значений с паспортными параметрами ДВС. Оцениваются отклонения значений эффективной мощности, расхода ГСМ и т. д. На основе результатов анализа формируется заключение о продолжении эксплуатации трактора или о необходимости ремонтно-регулирующих работ. Все данные текущего мониторинга заносятся в базу данных МТП, которая используется для комплексного анализа, создания рабочего архива хозяйства.

Выводы

Проанализированы основные научно-методические аспекты информационного моделирования тракторных двигателей, которые применены для разработки информационной модели эксплуатационного мониторинга энергетических параметров машинно-тракторного парка сельхозпредприятия.

Применение цифровой технологии, построенной с использованием предложенной информационной модели, позволило в производственных условиях определить динамику изменения мощности ДВС МТП, оценить возможность продолжения эксплуатации техники или выявить необходимость ремонтно-регулирующих работ и принять соответствующие оперативные управляющие решения.

Предложенная модель может быть использована как научно-методическая основа формирования робототехнических технологий управления машинно-тракторными агрегатами на основе математических моделей, отражающих закономерности их функционирования.

Использованные источники:

1. Стадник А.Т., Кабаков В.М., Кабакова О.Г. Техническая оснащенность сельскохозяйственного производства региона и пути ее совершенствования // Вестник НГАУ. – 2018. – № 1(46). – С. 166-173.
2. Немцев А.Е., Криков А.М., Коротких В.В., Деменок И.В. Концепция развития системы обеспечения работоспособности мобильных энергетических средств. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2018. – 72 с.
3. Калачин С.В. Прогнозирование изменения контролируемых эксплуатационных параметров МТА // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 6. – С. 29-31.
4. Добролюбов И.П., Лившиц В.М. Динамический метод диагностики автотракторных двигателей. Принципы построения диагностических моделей переходных процессов: метод рекомендации. – Новосибирск: СО ВАСХ-НИЛ, СибИМЭ, 1981. – 88 с.
5. Альт В.В., Ольшевский С.Н., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Борисов А.А., Орехов А.К. Разработка динамической модели ДВС // Труды ГОСНИТИ. 2015. – Т. 118. – С. 8-15.
6. Гребенников С.А., Гребенников А.С., Косарева А.В., Шерин А.А. Диагностирование элементов ДВС динамическим методом // Грузовик. – 2016. – № 10. – С. 20-24.
7. Кривцов С.Н. Методический подход к формированию динамической модели дизельного автомобиля с аккумуляторной топливоподающей системой // Автомобильная промышленность. – 2016. – № 10. – С. 10-14.
8. Тимонин С.Б., Тимонина А.С. Внедрение цифровых технологий в процессы обеспечения оптимального функционирования машинно-тракторного агрегата // Нива Поволжья. – 2018. – № 3. – С. 124-132.
9. Савченко О.Ф., Шинделов А.В. Применение информационных технологий в инженерно-технической системе АПК // Вестник НГАУ. – 2013. – № 4. – С. 99-10.
10. Дидманидзе О.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 11 (281). – С. 39-43.
11. Гольяпин В.Я., Мишуров Н.П., Буклагин Д.С., Апатенко А.С. Тенденции интеллектуализации тракторов и машинно-тракторных агрегатов: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 88 с.
12. Yadrovskaya M.V. Revisiting computer modeling. Advanced Engineering Research. – 2020. – 20 (3). 332-345.
13. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Принципы разработки компьютерной динамической модели автотракторных ДВС // Вестник НГАУ. – 2014. – № 2. – С. 141-146.
14. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В., Ольшевский С.Н., Клименко Д.Н. Моделирование процесса оптимального определения параметров состояния двигателя внутреннего сгорания измерительной экспертной системой // Вычислительные технологии. – 2015. – Т. 20. – № 6. – С. 22-35.
15. Альт В.В., Ольшевский С.Н., Клименко Д.Н., Борисов А.А., Орехов А.К. Определение мощности автотракторных двигателей по параметрам системы бортовой диагностики // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 119. – С. 151-156.
16. Альт В.В., Савченко О.Ф., Елкин О.В. Цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13. – № 4. – С. 25-31. DOI 10/22314/2073-7599-2019-13-4-25-31.

УДК: 631.153.46

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-328-333

*Саяпин А.С., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Молибоженко К.К.,
ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва*

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЧЕТЧИКОВ-ИНДИКАТОРОВ

В статье рассматриваются вопросы возможности повышения контролепригодности и приспособленности к диагностированию узлов коробок перемены передач с гидравлическим управлением энергонасыщенных тракторов для повышения эксплуатационной надежности за счет использования дополнительных средств контроля технического состояния в условиях рядовой эксплуатации.

Ключевые слова: датчик, диагностирование, техническое состояние, коробка перемены передач, трактор.

В настоящее время продукция АО «Петербургский тракторный завод» (АО ПТЗ) пользуется заслуженным успехом у сельхозтоваропроизводителей, выпуск тракторов за последние годы неуклонно увеличивается. При этом совершенствуются и сервисные центры фирменной дилерской сети, обеспечивающие полноту проведения регламентного технического обслужи-