УДК 621.43:681.518

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-259-263

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

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРНОГО ПАРКА

Показана целесообразность оперативного контроля энергетических параметров машинно-тракторного парка (МТП) сельхозпредприятия в условиях эксплуатации, позволяющего своевременно провести ремонтно-обслуживающие мероприятия для снижения потерь мощности. Разработан алгоритм автоматизации мониторинга энергетических показателей тракторных двигателей, включающий основные технологические процедуры по каждой единице техники хозяйства. Сформирована автоматизированная система на основе предложенного алгоритма и разработанного в СибФТИ диагностического устройства энергетического мониторинга тракторного парка сельхозпредприятия. Рассмотрены вопросы практического применения системы в сельхозпредприятии.

Ключевые слова: тракторный двигатель, диагностирование, динамический метод, мощность, энергетические параметры, сельхозпредприятие.

Потери мощности тракторов при выполнении сельскохозяйственных работ из-за износа деталей, нарушения регулировок и настроек механизмов и систем существенно снижают эффективность и конкурентоспособность хозяйства. Отсутствие контроля параметров технического состояния двигателей внутреннего сгорания (ДВС) МТП сельхозпредприятия (мощность, расход топлива) без специальных средств приводит к использованию тракторов при завышенных расходах топлива из-за потери тяговых свойств. В то же время при обеспечении постоянного определения фактического состояния машинно-тракторного агрегата можно выявить скрытые резервы по мощности в пределах 6-15,6 %, по расходу топлива – 12-18,7 % [1, 2].

Это дает основания для решения задачи поддержания необходимого уровня энергообеспеченности полевых работ за счет оперативной оценки энергетических параметров каждого трактора МТП отдельного хозяйства и своевременного принятия управляющих воздействий, что обеспечит снижение себестоимости и трудоемкости ремонтно-обслуживающих работ.

Имеющийся метод энергетической оценки сельхозмашин по ГОСТ 52777 предусматривает стендовые испытания двигателей, что практически исключает его использование в эксплуатационных условиях. Поэтому целесообразно применение известного и получившего широкое распространение динамического метода диагностики тракторных двигателей [3]. Особенностью метода является необходимость получения и обработки больших объемов данных физических рабочих процессов. Успешному решению этой задачи способствует существенное развитие цифровых технологий и электронных средств в системе технического обслуживания и ремонта автотракторной и комбайновой техники [4, 5].

Исходя из этого, для автоматизации процесса проведения энергетической оценки целесообразно привлечение информационных цифровых технологий для реализации сложных алгоритмов компьютерного моделирования переходных процессов, расчета скоростных характеристик и энергетических параметров ДВС. Кроме того, важно решить задачу информационного сопровождения технологического процесса оценки мощности ДВС, обеспечивая регистрацию данных и их обработку, а также визуализацию результатов на основе удобного интерфейса пользователя.

Цель исследования – разработка автоматизированной системы энергетического мониторинга тракторного парка сельхозпредприятия на основе динамического метода диагностики ДВС с применением современных информационных технологий сбора и обработки данных.

Методы исследований. Методической основой исследований является *компьютерная модель динамики ДВС*, разработанная с учетом многолетнего опыта разработчиков [6]. Она учитывает нелинейность и нестационарность отдельных звеньев, влияние изменения множе-

ства важнейших параметров отдельных агрегатов и систем и проявление существенных нелинейностей и других отклонений на выходные процессы двигателя в функции времени, углового перемещения, скоростного и нагрузочного режимов. При этом рассчитываются временные, частотные и статистические характеристики процессов, их частные и интегральные показатели. Она применима как при стендовых исследовательских испытаниях, так и в эксплуатационных условиях.

Для определения мощности ДВС при динамическом методе вычисляется угловое ускорение коленчатого вала ε . В стационарном режиме за счет неравномерности вращения коленчатого вала и в режиме свободного разгона (при моменте нагрузки $M_{наг} = 0$) угловое ускорение коленчатого вала определяется зависимостью:

$$\varepsilon = \frac{1}{J_D} \left(M_i - \omega^2 \frac{dJ_D}{d\varphi} - M_{вн} - M_{наг} \right) = \frac{1}{J_D} M_i^{\kappa} + M_i^{\varepsilon} - M_{ин} - M_{вн} - M_{наг}, \quad (1)$$

где $J_D = J_D(\varphi)$ – приведенный момент инерции ДВС и нагрузочных масс (при моменте нагрузки $M_{наг} = 0$ – это собственный приведенный к коленчатому валу момент инерции ДВС);

ω – угловая скорость коленчатого вала (частота вращения $n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \omega d\varphi$); φ – угол поворота коленчатого вала (ПКВ);

$M_i = M_i(\omega, \psi, \varphi) = M_i^{\kappa} + M_i^{\varepsilon}$ – индикаторный момент двигателя (ψ – положение органа топливоподачи); $M_i^{\kappa} = \sum_{k=1}^{i_u} M_{i1(k)}^{\kappa}$ и $M_i^{\varepsilon} = \sum_{k=1}^{i_u} M_{i1(k)}^{\varepsilon}$ – компрессионная и газовая составляющие индикаторного момента; M_{i1}^{κ} и M_{i1}^{ε} – компрессионная и газовая составляющие одного цилиндра; i_u – число цилиндров;

$M_{ин} = M_{ин}(\omega, \varphi) = M_{ин}^{pec}(\varphi - \zeta_m) + M_{ин}^{ост} = \omega^2 \frac{dJ_D}{d\varphi}$

– инерционная составляющая крутящего момента, содержащая регулярную составляющую, вызванную неуравновешенными инерционными силами; $M_{вн} = M_{вн}(\omega, \varphi)$ – момент внутренних потерь (преимущественно трения). Если обеспечить разделение полного ускорения коленчатого вала ДВС на отдельные составляющие для каждого из цилиндров как в стационарном режиме полной нагрузки, так и в разгоне, то по ним можно оценить неравномерность работы цилиндров и внутрицикловую неравномерность работы ДВС.

При диагностировании состояния ДВС используются *сигналы физических процессов*, характеризующие работу двигателя. После измерения и предварительной обработки сигналов с датчиков выполняется обработка информации. 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 (диагностического) процесса и помехи. Для определения параметров при обосновании метода целесообразно использование известных вероятностных методов анализа сигналов, статистических методов оптимальной обработки сигналов на фоне помех [7].

Важным аспектом развития исследований является необходимость учета того, что современные автотракторные 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 [8].

Результаты исследований. Обоснован и разработан алгоритм автоматизации мониторинга энергетических показателей машинно-тракторного парка сельхозпредприятия, схема

которого приведена на рисунке 1.

Рисунок 1. Схема алгоритма мониторинга энергетических показателей МТП

В алгоритме предусмотрены процедуры ввода исходных (паспортных) данных по каждой единице тракторного парка отдельного сельхозпредприятия, оценки текущих энергетических показателей каждого трактора с помощью инструментального средства, формирование баз данных текущих и паспортных значений, а также результатов отклонений и рекомендаций.

В качестве инструментального средства для автоматизации оценки энергетических параметров ДВС применено разработанное в СибФТИ СФНЦА РАН диагностическое устройство [8, 9]. Его структурная схема приведена на рисунке 2.

Рисунок 2. Структурная схема мотор-тестера автоматизации энергетической оценки ДВС
 ДВС - двигатель внутреннего сгорания; ECU – электронный блок управления двигателем;
 ДПКВ - датчик положения коленчатого вала; АКБ - аккумуляторная батарея; ПК - персональный компьютер

Основные функции: измерение частоты вращения коленчатого вала при динамических воздействиях на ДВС; синхронизация измерений с контролем и обеспечением в цикле испытаний необходимого числа полноценных единичных тестовых воздействий; построение скоростной динамической характеристики ДВС по мощности и крутящему моменту; расчет комплекса диагностических энергетических характеристик по скоростной характеристике аналогично стендовым испытаниям.

При регистрации данных одновременно с работой программного обеспечения механизатором выполняется процедура многократных тестов воздействия на ДВС (разгон-выбег). Оценка мощности ДВС выполняется в режиме реального времени по скоростной характеристике методом дискретного дифференцирования данных временных интервалов.

Обеспечивается информационное сопровождение операций технологического процесса энергетической оценки ДВС с использованием удобного интерфейса пользователя, предоставляя пользователю возможность, среди прочих, непосредственно контролировать процесс подачи тестовых воздействий, регистрации данных.

Проведена экспериментальная проверка автоматизированной системы в условиях сельскохозяйственного предприятия на примере ФГУП «Элитное» Новосибирской области [10]. Испытания проводились во время полевых работ с мая по октябрь с периодичностью 2–4 раза в неделю на пяти тракторах отечественного производства, оборудованных датчиками угла поворота коленчатого вала. Оценены значения мощности ДВС и установлены их изменения во времени как по каждому трактору, так и, в целом, по контрольной группе тракторов:

- по группе тракторов МТЗ-82 за период испытаний значение мощности изменялись в пределах 5–10 % от среднего разброса от измерения к измерению;
- на МТЗ-1221 в 2015 году выявлено снижение мощности на 7,9 % от номинальной, а в 2016 году уменьшение мощности до 11,2 %, что на 3,3 % выше по отношению к 2015 г. Выявлена неисправность регулятора насоса;
- на К-700А наблюдалось падение мощности (до 20 %) за весь период наблюдений.

Полученные параметры мощности по ДВС оценивались с учетом динамики их изменения при выполнении полевых работ. Формировалось заключение о возможности дальнейшей эксплуатации трактора; предлагались рекомендации об оперативном проведении требуемого технического обслуживания, ремонтно-регулирующих работ.

В результате исследований разработана цифровая технология энергетического мониторинга тракторного парка сельхозпредприятия и подготовлены методические рекомендации по диагностике ДВС энергонасыщенной техники динамическим методом [11, 12]. Технология предназначена для получения оперативных данных по энергетическим параметрам

тракторных двигателей МТП хозяйства, способствуя своевременному принятию управляющих воздействий.

Кроме того, зная фактически имеющийся на текущий момент времени энергетический потенциал хозяйства и учитывая экспериментально-обоснованную динамику его изменения, можно обеспечить объективное планирование сроков и объемов выполнения полевых работ, что способствует повышению эффективности использования техники и снижению себестоимости продукции.

Выводы.

Показана целесообразность оперативного контроля энергетических параметров ДВС МТП сельхозпредприятия в условиях эксплуатации, позволяющего своевременно провести ремонтно-обслуживающие мероприятия для снижения потерь мощности.

Разработан алгоритм автоматизации мониторинга энергетических показателей тракторных двигателей, включающий основные технологические процедуры по каждой единице техники хозяйства – ввод паспортных данных, измерение рабочих процессов при тестовом динамическом воздействии, расчет параметров.

Сформирована автоматизированная система на основе предложенного алгоритма и разработанного в СибФТИ СФНЦА РАН диагностического устройства энергетического мониторинга тракторного парка сельхозпредприятия во время полевых работ.

Экспериментальная проверка в производственных условиях подтвердила возможность мониторинга мощностных параметров ДВС во время полевых работ. Анализ полученных данных позволил хозяйству принять оперативные ремонтно-регулирующие управляющие воздействия, предотвратить перерасход топлива и увеличение затрат, повысить тем самым эффективность производства сельхозпродукции.

Использованные источники:

1. 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.
2. Калачин С.В. Прогнозирование изменения контролируемых эксплуатационных параметров МТА // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 6. – С. 29-31.
3. Добролюбов И.П., Лившиц В.М. Динамический метод диагностики автотракторных двигателей. Принципы построения диагностических моделей переходных процессов: метод. рекомендации. – Новосибирск: ВАСХ-НИИ, Сиб. отд-ние, 1981. – 88 с.
4. Тимонин С.Б., Тимонина А.С. Внедрение цифровых технологий в процессы обеспечения оптимального функционирования машинно-тракторного агрегата // Нива Поволжья. – 2018. – № 3. – С. 124-132.
5. Черноиванов В.И., Габитов И.И., Неговора А.В. Цифровые технологии и электронные средства в системе технического обслуживания и ремонта автотракторной и комбайновой техники // Технический сервис машин, 2018. – № 130. – С. 74–81.
6. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В., Ольшевский С.Н. Разработка компьютерной настраиваемой модели двигателя внутреннего сгорания // Вычислительные технологии, 2013. – Т.18. – № 6. – С. 54-61.
7. 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.
8. 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.
9. Альт В.В., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н., Елкин О.В., Клименко Д.Н. Автоматизированная технология энергетического мониторинга тракторного парка сельхозпредприятия // Труды ГОСНИТИ, 2017. – Т. 129. – С. 36-44.
10. Савченко О.Ф., Елкин О.В., Сапронов В.Н. Оценка мощности тракторных двигателей в производственных условиях с применением устройства «МОТОР-ТЕСТЕР СИБФТИ» // Научно-техническое обеспечение АПК Сибири: мат. междунар. науч.-техн. конф. – Новосибирск: СибИМЭ СФНЦА РАН, 2017. – Т. 1. – С. 390-394.
11. Альт В.В., Ольшевский С.Н., Савченко О.Ф., Елкин О.В., Добролюбов И.П., Клименко Д.Н., Орехов А.К., Борисов А.А. Методические положения по диагностике двигателей внутреннего сгорания энергонасыщенной техники динамическим методом. – Новосибирск: СибФТИ СФНЦА РАН, 2017. – 56 с.
12. 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.