



## Цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия

**Виктор Валентинович Альт,**  
академик РАН, доктор технических наук,  
профессор, e-mail: sibfti.n@ngs.ru;  
**Олег Федорович Савченко,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник;

**Олег Владимирович Елкин,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник

Сибирский физико-технический институт аграрных проблем Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, п. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация

**Реферат.** Важное направление повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов – оперативный контроль мощности тракторов сельхозпредприятия. Показали, что потеря мощности тракторов и снижение их тяговых свойств повышают расход топлива на 10-15 процентов, а также эксплуатационные затраты. (*Цель исследования*) Разработать цифровую технологию оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия с применением динамической модели двигателей внутреннего сгорания и создать конфигурацию программно-аппаратных средств, базирующихся на современных информационных технологиях сбора и обработки данных. (*Материалы и методы*) Выбрали динамический метод диагностики двигателей внутреннего сгорания с использованием тестовых циклических воздействий, моделированием процесса измерения диагностического сигнала на фоне помех и анализом измерительной информации для расчета мощности. Обосновали структурную схему диагностического устройства, обеспечивающую выполнение необходимых технологических операций. Провели экспериментальные исследования цифровой технологии по оценке мощности тракторного парка сельхозпредприятия. (*Результаты и обсуждение*) Разработали алгоритм расчета мощности двигателей внутреннего сгорания в режиме реального времени по скоростной характеристике. Создали диагностическое устройство, обеспечивающее регистрацию данных, расчет скоростных характеристик и мощности двигателей внутреннего сгорания, а также информационное сопровождение всего технологического цикла. Определили, что завышенный расход топлива, необходимый для поддержания номинального значения мощности двигателей тракторного парка, за период наблюдений в среднем за год составляет 6525 килограммов, а затраты на него с учетом средней оптовой цены на дизельное топливо достигли 206 837 рублей. Показали возможность снижения затрат, необходимых для поддержания выявленных отклонений мощности вследствие завышенного расхода топлива путем своевременных ремонтно-регулирующих управляющих воздействий. Рассмотрели направления дальнейшего развития цифровой технологии и устройств. (*Выводы*) Предложили цифровую технологию и диагностическое устройство для оценки мощности тракторных двигателей внутреннего сгорания в производственных условиях. Рекомендовали сельхозпредприятиям использовать их как инструмент оперативного контроля энергообеспечения полевых работ для эффективной эксплуатации тракторного парка и снижения затрат.

**Ключевые слова:** тракторный парк, двигатель внутреннего сгорания, мощность тракторов, диагностика двигателей внутреннего сгорания, математическая модель, информационное сопровождение технологического цикла.

**■ Для цитирования:** 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.

## Digital Technology of Assessment the Power Capacity of Tractor Fleet of an Agricultural Enterprise

**Viktor V. Alt,**  
member of RAS, Dr.Sc.(Eng.), professor,  
e-mail: sibfti.n@ngs.ru;

**Oleg F. Savchenko,**  
Ph.D.(Eng.), key research engineer;  
**Oleg V. Elkin,**  
Ph.D.(Eng.), key research engineer

Siberian Physics and Technology Institute of Agrarian Problems of the Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies at the Russian Academy of Sciences, p. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation

**Abstract.** One of the important ways to increase the efficiency of using machinery and tractors is to ensure operating control of the power capacity of tractors employed in agricultural enterprises. It is shown that power loss of tractors and their decreased traction properties result in increased fuel consumption by 10-15 percent as well as increased operating costs. (*Research purpose*) To develop a digital technology of assessing the power capacity of the internal combustion engines (ICE) of the tractor fleet employed in agricultural enterprise and develop a configuration of software and hardware based on modern information technologies for data collection and processing. (*Materials and methods*) The authors used a dynamic method of ICE diagnostics using test cyclic effects, modeling measurements of a diagnostic signal against the background of hindrances, and an analysis of measuring information for power calculation purposes. A structural diagram of the diagnostic device performing necessary technological operations has been offered as a result. The authors also conducted pilot studies of using digital technology for assessing the power capacity of the tractor fleet employed in an agricultural enterprise. (*Results and discussion*) The authors have developed an algorithm of ICE power calculation in real time taking into account speed considerations and developed a diagnostic device providing data recording, calculation of ICE speed and power characteristics, as well as information support of the entire production cycle. It has been determined that the increased fuel consumption necessary to maintain the rated value of the tractor engine power during the observation period averaged 6525 kilograms per year, and the fuel cost, taking into account the average wholesale price of diesel fuel, reached 206,837 rubles. The authors have shown a possibility of reducing costs required to maintain the detected power deviations due to excessive fuel consumption through timely repair and adjustment-and-control actions. They have evaluated possible directions of further development of the digital technology and devices. (*Conclusions*) The authors have proposed a digital technology and a diagnostic device for evaluating the power of internal combustion tractor engines under production conditions. The proposed technology and diagnostics device are recommended for use by agricultural enterprises as an operating control instrument of the power supply of field works to ensure the efficient operation of the tractor fleet and provide for cost reduction.

**Keywords:** tractor fleet, internal combustion engine (ICE), tractor power, ICE diagnosing, mathematical model, information support of technological cycle

■ **For citation:** Alt V.V., Savchenko O.F., Elkin O.V. Tsifrovaya tekhnologiya otsenki moshchnosti traktornogo parka sel'khozpredpriyatiya [Digital technology of assesment the power capacity of tractor fleet of an agricultural enterprise]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 25-31 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-25-31.

**И**зменение технического состояния тракторного парка сельхозпредприятия из-за износа деталей, нарушения регулировок и настроек механизмов и систем приводит, как правило, к потере мощности тракторов, что существенно снижает эффективность и конкурентоспособность хозяйства. Отсутствие контроля параметров технического состояния двигателей внутреннего сгорания (ДВС) машинно-тракторного парка (мощности, расхода топлива – без специальных средств) при выполнении сельскохозяйственных работ повышает расход топлива на 10-15% из-за потери тяговых свойств. Необходим оперативный контроль энергетического потенциала машинно-тракторного парка, для чего требуется мониторинг параметров ДВС – непрерывное или периодическое определение эффективной мощности, которое стало перспективным направлением диагностики самоходных машин в АПК [1].

Сравнение методик энергетических оценок сельскохозяйственной техники показало, что имеющийся метод энергетической оценки сельхозмашин по ГОСТ 52777 предполагает применение расходомеров топлива и использование регуляторных характеристик ДВС, определяемых по стендовым испытаниям двигателей, что практически исключает использование этого метода в эксплуатационных условиях.

В этой связи несомненна актуальность разработ-

ки новых диагностических средств контроля энергетических показателей в производственных условиях, для чего следует воспользоваться динамическим методом диагностики тракторных двигателей. Измеряя угловую скорость и ускорение коленчатого вала ДВС при тестовом циклическом воздействии, можно построить скоростную динамическую характеристику, аналогичную получаемой при стендовых испытаниях. По ее параметрам определяют динамические свойства и мощность ДВС.

Углубленный анализ параметров и характеристик состояния ДВС в переходных режимах требует привлечения быстродействующих технических средств и передовых технологий обработки больших объемов информации с использованием цифровой техники. Наряду с очевидными достижениями цифровых технологий следует отметить интеллектуализацию компьютеров и, в отличие от аналоговой техники, создание унифицированного носителя информации, объединяющего в единое целое весь технологический процесс исследований в режиме реального времени [2]. Применение достижений цифровой техники оказало значительное влияние на процессы оптимального функционирования машинно-тракторного парка путем автоматизации сельскохозяйственных технологических операций и автоматизированного информационного сопровождения технологических про-



цессов, а особенно моделирования сельскохозяйственных объектов, в том числе создания и совершенствования математических моделей работы ДВС.

Известны математические модели на основе диагностических схем переходных процессов ДВС, использующие внутрицикловые изменения угловой скорости вращения коленчатого вала ДВС, реализующие имитационное моделирование и идентификацию рабочего процесса ДВС. Они включают методы оценки работоспособности двигателя путем получения диагностической информации и создания программно-технических средств диагностирования ДВС различного назначения [3, 4]. Однако применение этих моделей затруднено для оценки мощности тракторных ДВС в условиях эксплуатации, а с учетом множества разномарочных двигателей, становится достаточно сложным, трудоемким и недостаточно оперативным.

В Сибирском физико-техническом институте аграрных проблем совершенствуют динамическую математическую модель ДВС с целью диагностирования тракторных двигателей в условиях эксплуатации с использованием измерительных, вычислительных и интеллектуальных технологий. Развитие идет в направлении реализации как технологий измерений быстропеременных рабочих процессов двигателей, так и сложных алгоритмов компьютерного моделирования переходных процессов, расчета скоростных характеристик и энергетических параметров ДВС, а также создания информационного сопровождения всего цикла технологического процесса оценки мощности двигателей [5].

**Цель исследования** – разработать цифровую технологию оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия с применением динамической модели ДВС и создать конфигурацию программно-аппаратных средств, базирующихся на современных информационных технологиях сбора и обработки данных.

**Материалы и методы.** Методической основой исследований служит компьютерная модель динамики ДВС, разработанная с учетом многолетнего опыта разработчиков [6]. Она учитывает нелинейность и нестационарность отдельных звеньев, влияние изменения множества 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. Рассчитывают временные, частотные и статистические характеристики процессов, их частные и интегральные показатели. Компьютерная модель применима как при стендовых исследовательских испытаниях, так и в эксплуатационных условиях. Для определения мощности ДВС при динамическом методе вычисляют угловое ускорение коленчатого вала  $\varepsilon$ , рад/с<sup>2</sup>. В

стационарном режиме из-за неравномерности вращения коленчатого вала и в режиме свободного разгона (при моменте нагрузки  $M_{\text{наг}} = 0$ ) угловое ускорение коленчатого вала определяют зависимостью:

$$\varepsilon = \frac{1}{J_d} \left( M_i - \omega^2 \frac{dJ_d}{d\varphi} - M_{\text{вп}} - M_{\text{наг}} \right) = \frac{1}{J_d} (M_i^k + M_i^r - M_{\text{ин}} - M_{\text{вп}} - M_{\text{наг}}), \quad (1)$$

где  $J_d$  – приведенный момент инерции ДВС и нагрузочных масс (при моменте нагрузки  $M_{\text{наг}} = 0$  – это собственный приведенный по отношению к коленчатому валу момент инерции ДВС), кг/м<sup>2</sup>;

$\omega$  – угловая скорость коленчатого вала (частота вращения  $n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \omega d\varphi$ ), рад/с;

$\varphi$  – угол поворота коленчатого вала (ПКВ), рад;

$M_i = M(\omega, \psi, \varphi) = M_i^k + M_i^r$  – индикаторный момент двигателя ( $\psi$  – положение органа топливоподачи), Н·м;

$$M_i^k = \sum_{k=1}^{i_{\text{ц}}} M_{i1(k)}^k \text{ и } M_i^r = \sum_{k=1}^{i_{\text{ц}}} M_{i1(k)}^r - \text{компрессионная и}$$

газовая составляющие индикаторного момента;

$M_{i1}^k$  и  $M_{i1}^r$  – компрессионная и газовая составляющие одного цилиндра, Н·м;

$i_{\text{ц}}$  – число цилиндров;

$$M_{\text{ин}} = M_{\text{ин}}(\omega, \varphi) =$$

$$= M_{\text{ин}}^{\text{рег}}(\varphi - \zeta_m) + M_{\text{ин}}^{\text{ост}} = \omega^2 \frac{dJ_d}{d\varphi} - \text{инерционная}$$

составляющая крутящего момента, содержащая регулярную компоненту, вызванную неуравновешенными инерционными силами (например, у двигателя компоновки 4-Р это вторая гармоника частоты вращения), и остаточную компоненту случайного характера, присущую всем двигателям, Н·м;

$M_{\text{вп}} = M_{\text{вп}}(\omega, \varphi)$  – момент внутренних потерь (преимущественно трения), Н·м.

Уравнение (1) при  $M_{\text{наг}} = \text{const}$  или  $M_{\text{наг}} = 0$  можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon^k + \varepsilon^r + \varepsilon_{\text{ин}}^{\text{рег}} + \varepsilon_{\text{ин}}^{\text{ост}} + \varepsilon_{\text{вп}} = \\ &= \sum_{m=1}^{i_{\text{ц}}} \varepsilon_{i1}^k(\varphi - \xi_m) + \sum_{m=1}^{i_{\text{ц}}} \varepsilon_{i1}^r(\varphi - \xi_m) + \\ &+ \sum_{m=1}^{i_{\text{ц}}} \varepsilon_{\text{ин}1}(\varphi - \zeta_m) + \varepsilon_{\text{ин}}^{\text{ост}} + \varepsilon_{\text{вп}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\xi_r$  – угол сдвига по фазе (по углу ПКВ) в соответствии с диаграммой распределения вспышек по цилиндрам, рад;

$\zeta_m$  – угол сдвига по фазе между инерционными составляющими, зависящий от конструктивного расположения кривошипно-шатунных механизмов, рад;

$l$  – индекс для одного цилиндра.

Полное ускорение  $\varepsilon$  содержит составляющие:

- индикаторные – компрессионную  $\varepsilon^k$  и газовую  $\varepsilon^g$ ;
- инерционные – регулярную  $\varepsilon_{ин}^{рег}$  и остаточную  $\varepsilon_{ин}^{ост}$ ;
- внутренних потерь (преимущественно трения)  $\varepsilon_{вп}$ .

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 используют сигналы физических процессов, характеризующие работу двигателя. После измерения и предварительной обработки сигналов с датчиков информацию полностью обрабатывают. 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. Поэтому измеряемые процессы следует рассматривать как аддитивную совокупность полезного информативного (диагностического) процесса и помех. Для определения параметров при обосновании метода целесообразно использовать известные вероятностные методы анализа сигналов, статистические методы оптимальной обработки сигналов на фоне помех [7].

Важным аспектом развития исследований служит необходимость учета того, что современные автотракторные двигатели оснащены электронной системой управления, обеспечивающей требуемый алгоритм управления режимами работы на основе характеристик по измеренным значениям параметров. Отсюда очевиден принцип создания диагностических систем, использующих бортовую сеть трактора: диагностирование различными аналитическими методами по измеренным процессам не только со специальных 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.

**Результаты и обсуждение.** В результате выполненных исследований по созданию динамической модели ДВС и моделированию процесса измерения диагностических сигналов разработали алгоритм расчета мощности ДВС [8, 9].

Определили требования к функциональным возможностям и техническим характеристикам устройства оценки мощности ДВС в производственных условиях. Обосновали структурную схему (рис. 1). Раз-

работали диагностическое устройство «МОТОР-ТЕСТЕР СибФТИ» (далее – мотор-тестер), ведущие разработчики устройства – С.Н. Ольшевский, Д.Н. Клименко.

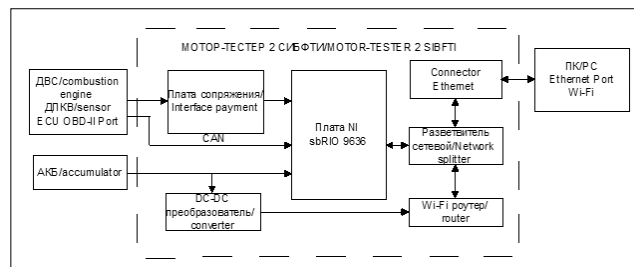


Рис. 1. Структурная схема диагностического устройства:

ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ECU – электронный блок управления двигателем; ДПКВ – датчик положения коленчатого вала; АКБ – аккумуляторная батарея; ПК – персональный компьютер

Fig1. Block diagram of a diagnostic device:

ДВС – internal combustion engine; ECU – electronic control unit of internal combustion engine; ДПКВ – position sensor of a crankshaft; АКБ – accumulator battery; ПК – personal computer

Применили специализированную плату NI sbRIO-9636, функционирующую на базе программируемой логической интегральной схемы и контроллера реального времени компании *National Instruments* (США). Особое внимание уделили получению диагностического сигнала, для формирования которого используется сигнал как от специально устанавливаемого на ДВС датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) в картере сцепления напротив зубчатого венца маховика, так и от штатного датчика ДВС по диагностическому разъему (OBD-II). Разработали плату сопряжения, входящую в блок регистрации, на выходе которой в результате преобразований получили информационный сигнал, характеризующий частоту и ускорение вращения коленчатого вала, поступающий на обработку в контроллер и далее в персональный компьютер с использованием Ethernet-интерфейса [10].

Для реализации цифровой технологии разработали специальное программное обеспечение, осуществляющее регистрацию диагностических сигналов быстропеременных процессов при работе ДВС и расчет мощности автотракторного двигателя в режиме реального времени по скоростной характеристике. При регистрации данных одновременно с работой программного обеспечения механизатор выполняет процедуру многократных тестов воздействия на ДВС в виде серии циклов разгона-выбега, что отражено в Свидетельстве РФ государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662533 (RU).

Удобный интерфейс дает возможность пользователю непосредственно контролировать процесс подачи тестовых воздействий, регистрировать данные и визуализировать результаты расчетов. Помимо про-





водной передачи предусмотрена беспроводная, что особенно важно в производственных условиях.

Полученные данные мощности ДВС оценивают с учетом их динамики в ходе эксплуатации, сравнивая их с паспортными значениями. На основе результатов анализа формируют заключение о продолжении эксплуатации трактора или о необходимости ремонтно-регулирующих работ.

Цифровую технологию оценки мощности тракторных ДВС проверили экспериментально с помощью мотор-тестера СибФТИ в условиях ФГУП «Элитное» Новосибирской области. Испытания проводили во время полевых работ в течение двух лет (2015-2016 гг.) с мая по октябрь с периодичностью 2-4 раза в неделю на пяти тракторах отечественного производства, оборудованных датчиками угла поворота коленчатого вала (табл. 1). В ходе мониторинга выявили неисправности и дали рекомендации по их устранению (табл. 2).

за год составляет 6525 кг, а затраты на него с учетом средней оптовой цены на дизельное топливо достигли 206 837 руб. На основе полученных экспериментальных данных в хозяйстве своевременно предприняли управляющие воздействия, что обеспечило снижение затрат и более эффективное использование техники. Разработали методические положения по диагностированию ДВС динамическим методом с применением мотор-тестера. Информационную технологию определения мощности ДВС можно рассматривать как дополнение к технологии диагностирования тракторов с помощью установки КИ-13940 ГОСНИТИ для измерения частоты вращения коленчатого вала и определения мощности дизеля тракторов путем формирования дополнительной технологической карты [11, 12].

Для дальнейшего развития цифровой технологии необходимы расширение номенклатуры контролиру-

Таблица 1

Table 1

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**  
**RESULTS OF ASSESSMENT THE POWER CAPACITY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

| Тракторы<br>Tractors | Двигатель / Engine |                                              | Эффективная мощность, кВт / Effective power, kW |      |      |      |       |       |      |       |         |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|--------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|-------|---------|------|------|------|------|------|------|
|                      | Марка<br>Brand     | Номинальная мощность, кВт<br>Rated power, kW | 2015 г.                                         |      |      |      |       |       |      |       | 2016 г. |      |      |      |      |      |      |
|                      |                    |                                              | 167                                             | 162  | 165  | 155  | 154   | 150   | 134  | 145,7 | 133     | 135  | 133  | 134  | 132  | -    | -    |
| К-700А               | ЯМЗ-238НДЗ         | 173                                          | 167                                             | 162  | 165  | 155  | 154   | 150   | 134  | 145,7 | 133     | 135  | 133  | 134  | 132  | -    | -    |
| МТЗ-1221             | ММЗ-Д260.1         | 61                                           | 102                                             | 97   | 104  | 111  | 108,8 | 106,9 | 109  | 106,7 | 100     | 101  | 80   | 109  | 100  | 103  | 103  |
| МТЗ-82               | ММЗ-Д243.1         | 61                                           | 54,8                                            | 57,3 | 52,5 | 54,7 | 61,2  | 63,4  | -    | -     | 65,6    | 68,7 | 66,2 | 68,5 | 67,9 | -    | -    |
| МТЗ-82               | ММЗ-Д243.1         | 61                                           | 69,4                                            | 57,2 | 54,8 | 61,6 | 55,9  | 63    | 56,7 | 56,8  | 56,9    | 59,7 | 55,7 | 56,7 | 54,8 | 56,8 | 55,4 |
| МТЗ-82               | ММЗ-Д243.1         | 61                                           | 56,6                                            | 54,4 | 57,9 | 54,7 | 52,8  | -     | -    | -     | 58,5    | 56   | 56,2 | 59,4 | 62,5 | -    | -    |

Оценены значения мощности ДВС и установлены их изменения во времени как по каждому трактору в отдельности, так и по контрольной группе тракторов в целом:

- по группе тракторов МТЗ-82 за период испытаний при каждом измерении изменялись значения мощности в пределах 5-10% от среднего разброса;
- на МТЗ-1221 в 2015 г. выявили снижение мощности на 7,9% от номинальной, а в 2016 г. – 11,2%. Обнаружили неисправность регулятора насоса;
- на К-700А отметили падение мощности (до 20%) за весь период наблюдений.

Проведенный анализ показал, что завышенный расход топлива, необходимый для поддержания номинального значения мощности ДВС исследуемого тракторного парка, за период наблюдений в среднем

емых параметров, совершенствование датчиков физических процессов ДВС, в том числе и добавление измерительного канала расхода топлива. Весьма перспективен отказ от необходимости проведения механизатором специальных качественных тестовых действий (серии полноценных циклов разгона-выбега) для исключения непроизводительных временных и трудовых затрат. Малогабаритные быстродействующие надежные средства для передачи, обработки и визуализации информации будут востребованы при создании встроенных средств диагностирования ДВС, систем удаленной оценки мощности тракторных ДВС через спутниковую навигацию.

**Выводы.** Предлагаемая цифровая технология и диагностическое устройство позволяют оценить мощность тракторных ДВС в производственных услови-

| Таблица 2                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Table 2                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| НЕИСПРАВНОСТИ, ВЫЯВЛЕННЫЕ ВО ВРЕМЯ МОНИТОРИНГА<br>FAULTS DETECTED DURING MONITORING |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                     |
| Марка и номер трактора<br>Tractor brand and number                                  | Неисправности<br>Faults detected                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Рекомендации<br>Recommendations                                                                                                                                                     |
| MT3-82, инв. №51<br>MTZ 82, inv. No 51                                              | 1. 1 и 2 цилиндр – форсунки неисправны<br>2. Подтекает штуцер на ФТО*<br>3. Стук клапанов 3 цилиндра<br>1. Cylinder 1 and 2 – nozzles are faulty<br>2. Leaking union of a secondary fuel filter<br>3. Knocking valves of cylinder 3                                                                                     | Провести внеплановый ремонт<br>To make off-schedule repair                                                                                                                          |
| MT3-82, инв. №60<br>MTZ 82, inv. No 60                                              | 1. Подтекание топлива на выходе из ФТО к ТНВД*<br>2. Стук клапанов 1-го и 2-го цилиндра<br>3. ТНВД не отрегулирован, нет пломбы<br>1. Fuel dribbling between the secondary fuel filter and the fuel injection pump<br>2. Knocking valves of cylinder 1 and 2. The fuel injection pump is not adjusted, there is no seal | Провести ремонт (замена ТНВД и распылителей форсунок, регулировка)<br>To make repair (replacement of the fuel injection pump and nozzle sprayers, adjustment)                       |
| К-700А, инв. № 3<br>K-700A, inv. No. 3                                              | Существенное снижение мощности, разгерметизация воздухопровода, затрудненный пуск<br>Significant power decrease, depressurization of an air duct, complicated starting                                                                                                                                                  | Ремонт, после чего мощность составила 85% от номинальной<br>Repair resulting in power value of 85% of the rated one                                                                 |
| MT3-82, инв. №51<br>MTZ 82, inv. No 51                                              | Существенное снижение мощности<br>Significant power decrease                                                                                                                                                                                                                                                            | Ремонт, после чего мощность ДВС составила 90% от номинальной<br>Repair resulting in ICE power value of 90% of the rated one                                                         |
| MT3-1221, инв. №10<br>MTZ 1221, inv. No 10                                          | Выявлена неустойчивость работы ДВС при повышенной частоте вращения коленчатого вала<br>Instable operation of an ICE at the increased crankshaft speeds                                                                                                                                                                  | Возможная причина – неисправность регулятора насоса, необходим ремонт<br>A possible reason – malfunction of the pump governor, repair is required                                   |
| MT3-82, инв. №60<br>MTZ 82, inv. No 60                                              | Проводили небольшой ремонт неоднократно в период с мая по октябрь<br>Small repair operations were repeatedly made from May to October                                                                                                                                                                                   | Трактор работал в сезоне очень мало, причина – возникающие мелкие неисправности техники The tractor worked very little during the season due to small malfunctions of the equipment |
| MT3-82, инв. №5<br>MTZ 82, inv. No 5                                                | Обнаружена неисправность турбины<br>Malfunction of the turbine is detected                                                                                                                                                                                                                                              | Замена/ремонт турбины<br>Replacement / repair of the turbine                                                                                                                        |

\*Примечание:

ФТО – фильтр тонкой очистки; ТНВД – топливный насос высокого давления; ДВС – двигатель внутреннего сгорания

ях. Сельхозпредприятие может использовать их как инструмент оперативного контроля энергообеспече-

ния полевых работ для снижения затрат и повышения эффективности использования тракторного парка.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дунаев А.В., Костомахин М.Н., Воронов А.Н. Перспективы развития диагностирования самоходных машин в АПК // *Труды ГОСНИТИ*. 2016. Т. 122. С. 63-70.
2. Тимонин С.Б., Тимонина А.С. Внедрение цифровых технологий в процессы обеспечения оптимального функционирования машинно-тракторного агрегата // *Нива Поволжья*. 2018. №3. С.124-132.
3. Гребенников С.А., Гребенников А.С., Косарева А.В., Шерин А.А. Диагностирование элементов ДВС динамическим методом // *Грузовик*. 2016. №10. С. 20-24.
4. Кривцов С.Н. Методический подход к формированию динамической модели дизельного автомобиля с аккумуляторной топливоподающей системой // *Автомобильная промышленность*. 2016. №10. С. 10-14.
5. Савченко О.Ф., Альт В.В., Добролюбов И.П., Ольшевский С.Н. Развитие средств автоматизации измерений и анализа рабочих процессов при испытаниях ДВС // *Двигатель*. 2014. №2. С. 26-31.
6. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Ольшевский С.Н. Принципы разработки компьютерной динамической модели автотракторных ДВС // *Вестник НГАУ*. 2014. №2. С. 141-146.
7. Cooper G.R., McGillem C.D. Probabilistic methods for signal and system analysis. New York: Oxford University Press. 1999. 496.
8. 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.
9. 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.
10. Альт В.В., Ольшевский С.Н., Клименко Д.Н., Борисов А.А., Орехов А.К. Определение мощности автотрактор-



ных двигателей по параметрам системы бортовой диагностики // *Труды ГОСНИТИ*. 2015. Т. 119. С. 151-156.

11. 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. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурылев Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. М.: ВИМ. 2012. 56 с.

## REFERENCES

1. Dunaev A.V., Kostomakhin M.N., Voronov A.N. Perspektivy razvitiya diagnostirovaniya samokhodnykh mashin v APK [Prospects for the development of diagnostics of self-propelled vehicles in agriculture]. *Trudy GOSNITI*. 2016. Vol. 122. 63-70 (In Russian).

2. Timonin S.B., Timonina A.S. Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologii v protsessy obespecheniya optimal'nogo funktsionirovaniya mashinno-traktornogo agregata [Introduction of digital technologies to ensure the optimal functioning of machine-tractor units]. *Niva Povolzh'ya*. 2018. N3. 124-132 (In Russian).

3. Grebennikov S.A., Grebennikov A.S., Kosareva A.V., Sherin A.A. Diagnostirovanie elementov DVS dinamicheskim metodom [Diagnosing ICE elements with a dynamic method]. *Gruzovik*. 2016. N10. 20-24 (In Russian).

4. Krivtsov S.N. Metodicheskiy podkhod k formirovaniyu dinamicheskoi modeli dizel'nogo avtomobilya s akkumulyatornoy toplivopoddayushchey sistemoy [Methodological approach to the formation of a dynamic model of a diesel vehicle with a battery-powered fuel supply system]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2016. N10. 10-14 (In Russian).

5. Savchenko O.F., Al't V.V., Dobrolyubov I.P., Ol'shevskiy S.N. Razvitie sredstv avtomatizatsii izmereniy i analiza rabochikh protsessov pri ispytaniyakh DVS [Developing automation tools for measurements and analysis of operating processes occurring while testing internal combustion engines]. *Dvigatelsestroenie*. 2014. N2. 26-31 (In Russian).

6. Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Ol'shevskiy S.N. Printsipy razrabotki komp'yuternoy dinamicheskoy modeli avtotraktornykh DVS [Principles of developing a computer dynamic model of an automotive ICE engine]. *Vestnik NGAU*. 2014. N2. 141-146 (In Russian).

7. Cooper G.R., McGillem C.D. Probabilistic methods for sig-

nal and system analysis. New York: Oxford University Press. 1999. 496 (In English).

8. Al't V.V., Ol'shevskiy S.N., Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Borisov A.A., Orekhov A.K. Razrabotka dinamicheskoy modeli DVS [Developing a dynamic model of an ICE]. *Trudy GOSNITI*. 2015. Vol. 118. 8-15 (In Russian).

9. Dobrolyubov I.P., Savchenko O.F., Al't V.V., Ol'shevskiy S.N., Klimenko D.N. Modelirovanie protsessa optimal'nogo opredeleniya parametrov sostoyaniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya izmeritel'noy ekspertnoy sistemoy [Modeling the process of optimal determination of the state parameters of an internal combustion engine with a measuring expert system]. *Vychislitel'nye tekhnologii*. 2015. Vol. 20. N6. 22-35 (In Russian).

10. Al't V.V., Ol'shevskiy S.N., Klimenko D.N., Borisov A.A., Orekhov A.K. Opredelenie moshchnosti avtotraktornykh dvigatelei po parametram sistemy bortovoy diagnostiki [Determining the power of automotive engines based on the parameters of an on-board diagnostic system]. *Trudy GOSNITI*. 2015. Vol. 119. 151-156 (In Russian).

11. Klimenko D.N., Orekhov A.K., Borisov A.A. Metodicheskie polozheniya po diagnostike dvigateley vnutrennego sgoraniya energonasyschennoy tekhniki dinamicheskim metodom [Guidelines for diagnosing internal combustion engines of energy-saturated equipment with the dynamic method]. Novosibirsk. SibFTI SFNTsA RAN. 2017. 56 (In Russian).

12. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Elizarov V.P., Lobachevskiy Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'ev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Kontseptsiya modernizatsii sel'skokhozyaystvennykh traktorov i traktornogo parka Rossii na period do 2020 goda [The concept of modernization of agricultural tractors and tractor fleet of Russia for the period up to 2020]. Moscow: VIM. 2012. 56 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 24.05.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 24.05.2019

Статья принята к публикации 03.07.2019  
The paper was accepted  
for publication on 03.07.2019