

## ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК / TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 631.3.004.5:658.58(470.343)

DOI 10.26897/1728-7936-2018-6-51-55

**ЧЕЧЕТ ВИКТОР АНАТОЛЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, профессор

E-mail: d.chechet@list.ru

**ЛЕВШИН АЛЕКСАНДР ГРИГОРЬЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: alev200151@rambler.ru

**СКОРОХОДОВ АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: skoranat@mail.ru

**ЕГОРОВ ВЯЧЕСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ**, аспирант

E-mail: vacmsk@gmail.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНОЙ ДИАГНОСТИКИ МАШИН**

Раскрывается системный подход к диагностированию технических объектов с применением современных методов и средств. Рассматриваются два из трех уровней глубины поиска неисправностей в единой концепции, называемой системной диагностикой. Первый уровень включает в себя исследование органолептических показателей объекта и его работы. Подобные показатели обладают высокой иллюстративностью лишь для опытных экспертов, поэтому для их интерпретации предлагается использовать экспертную систему *Exsys* – программно-аппаратный комплекс в совокупности с базами данных. Разработанная авторами экспертная система реализует поиск неисправностей по внешним признакам проявления и выдает доминантный ряд их вероятных причин по мере убывания апостериорных вероятностей. Более полная информативность реализуется посредством применения инструментальных (индикаторных и углубленных) методов диагностики. Применение комплексных методов в рамках системной диагностики является весьма актуальной задачей повышения надежности и долговечности автотракторных и комбайновых дизелей путем управления их техническим состоянием в эксплуатации и одной из главных технологий ресурсосбережения АПК.

**Ключевые слова:** техническая диагностика, экспертная система, индикаторные методы, системный подход.

**Формат цитирования:** Чечет В.А., Левшин А.Г., Скороходов А.Н., Егоров В.В. Основные положения системной диагностики машин // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. N 6(88). С. 51-55. DOI 10.26897/1728-7936-2018-6-51-55.

**FUNDAMENTALS OF SYSTEMATIC DIAGNOSTICS OF MACHINES****VIKTOR A. CHECHET**, PhD (Eng), professor

E-mail: d.chechet@list.ru

**ALEKSANDR G. LEVSHIN**, DSc (Eng), professor

E-mail: alev200151@rambler.ru

**ANATOLY N. SKOROKHODOV**, DSc (Eng), professor

E-mail: skoranat@mail.ru

**VIACHESLAV V. YEGOROV**

E-mail: vacmsk@gmail.com

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The paper reveals a systematic approach to the diagnostics of technical objects using modern methods and means. Two authors consider two of the three diagnosing levels as elements of the unified concept called systematic diagnostics. The first level includes examination of so called organoleptic indicators of the object and its functioning. Such indicators only have high significance for experts, so to interpret them the authors suggest applying the *Exsys* expert evaluation system, which is a software and hardware package together with its databases. The expert system elaborated by the authors can trace a defect by its symptoms, and gives a list

of probable causes of defects in a descending probability level. The more complete information capability is enhanced by applying instrumental (indicator and in-depth ones) diagnostics methods. The use of complex methods in the framework of system diagnostics is a very urgent task of increasing the reliability and durability of automotive and combine diesel engines by controlling their technical condition during their operation and one of the main technologies of resource-saving farming technology.

**Key words:** technical diagnostics, expert system, indicator methods, systemic approach.

**For citation:** Chechet V.A., Levshin A.G., Skorokhodov A.N., Yegorov V.V. Fundamentals of systematic diagnostics of machines. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2018; 6(88): 51-55. (in Russian). DOI 10.26897/1728-7936-2018-6-51-66.

**Введение.** В системе технического обслуживания и ремонта машин и оборудования АПК различают три стратегии ТОР [1]: заявочная (по потребности после отказа); плановая (по факту наработки и содержанию ремонтно-обслуживающих воздействий); планово-предупредительная (по состоянию с периодическим диагностированием).

Заявочная стратегия зародилась в России еще в начале 20-го в. с появлением первых тракторов. Плановая стратегия возникла в СССР в середине 30-х гг. в процессе формирования МТС и утвердилась вплоть до нашего времени. Фактическими авторами третьей стратегии были советские ученые В.М. Михлин и В.И. Бельских. По их инициативе ГОСНИТИ совместно с Сельхозтехникой Богодуховского района Харьковской области в 1970-1971 гг. был проведен известный Богодуховский эксперимент по предремонтно-му диагностированию тракторных дизелей [2].

Несмотря на крайне ограниченный набор диагностических средств и их высокую трудоемкость, удалось, как минимум, на 40...50% снизить объем капремонтов, в том числе переведа часть из них в разряд текущих ремонтов. К сожалению, данный эксперимент по отмеченным причинам, а также из-за невозможности изменения существовавшей в то время общей плановой системы широкого распространения не получил. Отметим, что уже при существующей системе ремонта ДВС недоиспользование ресурса его деталей составляет (для автомобильного транспорта) 35...45% [3]. Таким образом, в условиях рынка и при наличии современных средств диагностирования гибкая планово-предупредительная стратегия, на наш взгляд, становится главным фактором поддержания технического состояния машин АПК на требуемом уровне, а диагностика, в свою очередь, служит основным управляющим элементом [4].

**Цель исследования** – проанализировать принципы системной диагностики машин как основу гибкой планово-предупредительной стратегии технического обслуживания машинно-тракторного парка.

**Методика исследования** – системный иерархический анализ, экспертные и индикаторные методы оценки технического состояния мобильных систем.

**Результаты и обсуждение.** В настоящий момент как в АПК, так и в других отраслях народного хозяйства, эксплуатирующих мобильные энергетические установки, методы и средства технической диагностики разрознены и не представляют целостной системы, способной эффективно управлять техническим состоянием. В связи с этим авторами впервые предложено сформировать основные подходы к диагностике машин как целостной методологии и ввести в технический обиход термин «системная диагностика».

**Системная диагностика** – методология диагностирования, использующая дифференцированный по уровням комплекс методов и средств оценки технического состояния с целью получения максимально возможной информации с минимально возможными трудовыми и материальными затратами и базирующаяся, в свою очередь, на трехуровневой иерархической системе поиска неисправностей.

К первому уровню системной диагностики относят органолептические методы, ко второму и третьему – инструментальные: соответственно индикаторные и углубленные.

**Объект диагностирования** рассматривается как сложная система, расчленяемая по функциональному признаку на иерархическую структуру (дерево целей), т.е. на системы, подсистемы, составные части и первичные элементы. Последние определяют предел дискретности структуры и дальнейшую целесообразность ее членения (фильтры, неразборные узлы, электронные блоки и т.д.). Далее каждому элементу назначается структурный параметр, непосредственно характеризующий его физическое состояние, и определяется ожидаемая (априорная) вероятность появления неисправности или отказа в зависимости от наработки и условий эксплуатации. Затем выстраивается базовая матрица структурных параметров, качественных признаков и диагностических параметров, субъективно или косвенно характеризующих состояние объекта диагностирования. Полученная база данных служит первым шагом к формированию интеллектуальной экспертной системы распознавания образов путем использования органолептических методов диагностики.

К **органолептическим методам диагностирования** относят методы, реализуемые без применения инструментов, т.е. основанные только на органах восприятия человека (визуально, сенсорно, акустически, обонятельно и др.). В практике эксплуатации опытные механики выявляют до 70% неисправностей 1-й и 2-й групп сложности с помощью качественных признаков (аномальные стуки и шумы, оптическая плотность и цвет выхлопа, подтекание рабочих жидкостей и т.д.). Однако помощь экспертов подобной квалификации не всегда доступна, и поэтому современными исследователями разрабатываются так называемые экспертные системы, представляющие собой одну из ступеней развития искусственного интеллекта.

Впервые экспертная система для АПК была разработана в ГОСНИТИ в 1990 г. [5]. Однако уже тогда была выявлена недостаточная эффективность применяемого алгоритма Байеса для диагностирования машин. Экспертные системы технической диагностики разрабатываются и в наше время, например, для станочного оборудования [6], судовых дизелей [7] и газотурбинных двигателей [8].

Однако по ряду причин они также не удовлетворяют требованиям к экспертной системе для нужд агроинженерии.

Для реализации 1-го уровня системной диагностики авторами разработана и совершенствуется экспертная система *Exsys* на открытых базах данных, предназначенная специально для диагностирования технических объектов (в нашем случае – автотракторных дизелей). Базы данных системы представляют собой так называемые матрицы вероятностей, в которых для каждого диагностического признака и каждой неисправности установлен коэффициент соответствия  $P_{ij}$ , равный вероятности появления признака  $S_j$  при неисправности

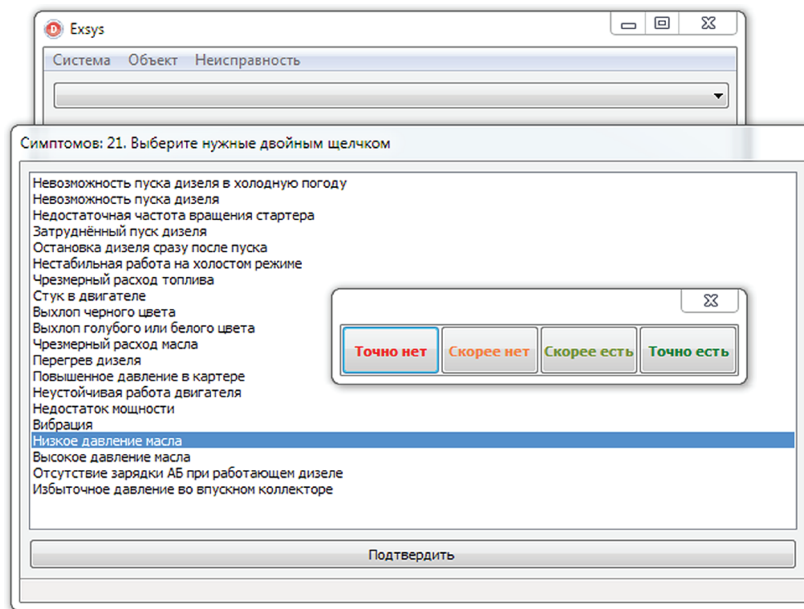
$D_i$ . Фрагмент матрицы вероятностей для трактора МТЗ-82 (дизель Д-240) приведен в таблице.

Исходя из приведенной матрицы неисправностей, можно, к примеру, утверждать, что дополнительное сопротивление в системе вентиляции картера с вероятностью 0,75 приведет к повышению давления газов в картере (в зависимости от характера сопротивления), а, следовательно, в некоторых случаях (с вероятностью 0,25) может наблюдаться чрезмерный расход масла, вызванный его утечкой через уплотнения двигателя, вследствие повышения давления.

Пример интерфейса программы во время работы с ней показан на рисунке 1.

**Фрагмент матрицы вероятностей**  
**Fragment of the probability matrix**

Неисправность \ Признак	Чрезмерный расход масла	Перегрев дизеля	Повышенное давление в картере	Неустойчивая работа двигателя	Недостаток мощности
Дополнительное сопротивление в системе вентиляции картера	0,25	0	0,75	0	0
Дополнительное сопротивление в системе подачи топлива	0	0	0	0,35	0,35
Дополнительное сопротивление в системе слива лишнего топлива в бак	0	0	0	0,05	0
Дополнительное сопротивление во впускной системе	0,1	0,05	0	0,3	0,2
Завышенный уровень масла в двигателе	0,3	0,15	0	0	0
Загрязнение воздушного фильтра	0,25	0,05	0	0,1	0,2



**Рис. 1. Интерфейс системы Exsys**  
**Fig. 1. Exsys system interface**

Если количество информации, которое возможно было получить посредством органолептических методов, ис-

черпано, а достоверный диагноз так и не был поставлен, переходят к инструментальным индикаторным методам.

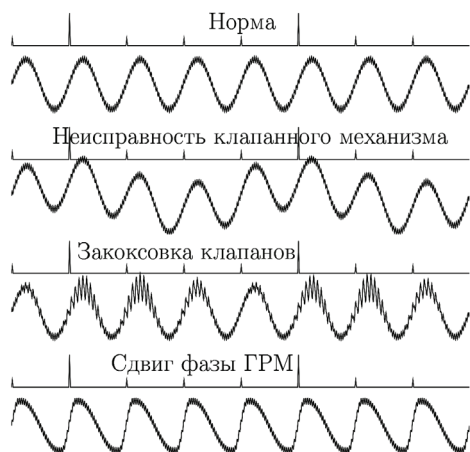
Таким образом, в контексте системной диагностики экспертная система становится интеллектуальной основой и ее связующим элементом с диагностикой индикаторной, тем самым повышая уровень апостериорных вероятностей постановки правильного диагноза и снижая ошибки 1-го и 2-го рода.

Кроме чисто диагностических функций, экспертная система также может стать инструментом обучения студентов и специалистов, а также консультантом в режиме удаленного доступа.

**Инструментальные индикаторные методы диагностики.** При реализации индикаторных методов диагностирования используют, как правило, накладные датчики, монтаж которых нетрудоемок. Индикаторные методы диагностирования классифицируются по характеру регистрируемых физических процессов. Примерами подобных методов могут служить:

- измерение расхода картерных газов для определения пневмоплотности сопряжений поршень-гильза;
- снятие осциллограмм пульсаций тока стартера для определения относительной компрессии по цилиндрам;
- бестормозные методы определения эффективных показателей ДВС [9];
- анализ виброакустических, пневмогидравлических и магнитоэлектрических осциллограмм [10-11];
- комплексные системы инструментальной диагностики [12].

На рисунке 2 представлена осциллограмма пульсаций давления во впускном коллекторе, синхронизированная с пульсациями высокого давления в топливном трубопроводе конкретной форсунки, регистрируемыми с помощью накладного пьезодатчика.



**Рис. 2. Осциллограммы пульсаций давления во впускном коллекторе**

**Fig. 2. Oscillograms of pressure pulsations in the intake manifold**

Таким образом, совместно с первым (органолептическим) уровнем диагностирования индикаторные методы способны существенно повысить эффективность плано-предупредительной стратегии технического сервиса. Например, при вводе в регламент ТО-2 оперативной диа-

гностики, а в регламент ТО-3 – расширенной оперативной диагностики – можно изменить после постановки диагноза межремонтные интервалы [4], определить перед ремонтом вид и объем ремонтно-технологических воздействий, оценить качество сборки и ремонта и т.д. Практически в большинстве случаев мы получаем реальную возможность своевременного выявления неисправностей 2-й группы сложности и их последующего устранения, тем самым предупреждая их развитие в сложные ресурсные отказы. Например, осциллограмма пульсаций давления в топливном трубопроводе с большой вероятностью покажет наличие таких неисправностей распылителя, как ухудшение подвижности иглы, нарушение герметичности запорного конуса, закоксовка сопел. При этом предупреждается повышенный износ гильзы, перегрев или даже прогар днища поршня, перерасход топлива.

Аналогично предыдущему шагу, если индикаторные методы не дали достоверного результата, переходят к углубленным инструментальным методам технического диагностирования, также интегрированным в единую трехуровневую систему.

### Выводы

Применение рассмотренных комплексных методов в рамках системной диагностики является весьма актуальной задачей повышения надежности и долговечности автотракторных и комбайновых дизелей путем управления их техническим состоянием в эксплуатации [13] и одной из главных технологий ресурсосбережения АПК.

### Библиографический список

1. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: Учебное пособие / В.И. Черноиванов, В.В. Бледных, А.Э. Северный и др.; Под ред. В.И. Черноиванова; 2-е изд., перераб. и доп. М., 2003. 992 с.
2. Бельских В.И. Показатели технического состояния тракторов и средства для их определения // Техника в сельском хозяйстве. 1971. № 9. С. 70.
3. Данилов Ю.И., Денисов А.С., Данилов И.К. Совершенствование планирования эксплуатационно-ремонтных циклов двигателей внутреннего сгорания // Вестник СГТУ. 2013. № 1 (69). С. 229-232.
4. Андриян К.Э., Курсин Д.А. Анализ и планирование технического обслуживания и ремонта сложного объекта на основе его функционального состояния // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 8. С. 11.
5. Кононогов С.А. Поиск неисправностей дизеля СМД-62 с применением экспертной системы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.20.03). М.: ГОСНИТИ, 1990. 24 с.
6. Каракозова А.В., Игнатъев А.А. Предпосылки создания экспертной системы для контроля динамического состояния шлифовальных станков // Вестник СГТУ. 2011. Т. 3. № 2 (58). С. 171-177.
7. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой

логики // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 1 (150). С. 83-92.

8. Жернаков С.В., Кобылев С.В. Использование рекуррентных нейросетей в задаче диагностики технического состояния гидромеханического автомата разгона // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15. № 3 (43). С. 142-156.

9. Манаков А.Л., Алехин А.С., Ижбулдин Е.А. Методика определения эффективной работы ДВС // Вестник ИрГТУ. 2015. № 8 (103). С. 145-149.

10. Лавриненко О.В. Определение информативных параметров для системы диагностики газораспределительного механизма ДВС // Вестник НТУ ХПИ. 2014. № 62 (1104) С. 87-94.

11. Кузнецов В.Н., Беляев В.И., Мельников Ф.П. Влияние фаз газораспределения на изменение давления во впускном коллекторе многоцилиндрового двигателя // Вестник АГАУ. 2014. № 12 (122). С. 137-141.

12. Балабин В.Н., Какоткин В.З., Лобанов И.И. Результаты применения комплексной системы контроля и диагностики локомотивных дизелей // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 9. С. 11-16.

13. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1984. 335 с.

### References

1. Chernoiivanov V.I., Blednykh V.V., Severnykh A.E. et al. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom khoziaystve [Maintenance and repair of farming machinery]. Moscow, 2003: 992 (in Rus.).

2. Belskih V.I. Pokazateli tehniceskogo sostoyaniya traktorov i sredstva dlya ih opredeleniya [Indicators of tractors' technical condition and means of their detection]. *Tehnika v selskom hozyaystve*, 1971; 9: 70. (in Rus.).

3. Danilov Yu.I., Denisov A.S., Danilov I.K. Sovershennostvovanie planirovaniya ekspluatatsionno-remontnykh tsiklov dvigateley vnutrennego sgoraniya [Improving maintenance cycles of internal combustion engines]. *Vestnik SGTU*, 2013; 1 (69): 229-232. (in Rus.).

4. Andriyan K.E., Kursin D.A. Analiz i planirovanie tehniceskogo obslu-zhivaniya i remonta slozhnogo ob'ekta na osnove ego funktsionalnogo sostoyaniya [Analysis and planning of complex object maintenance basing on its functional condition]. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana*, 2011; 8: 11. (in Rus.).

### Критерии авторства

Чечет В.А., Левшин А.Г., Скороходов А.Н., Егоров В.В. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Чечет В.А., Левшин А.Г., Скороходов А.Н., Егоров В.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 15.11.2018

5. Kononogov S.A. Poisk neispravnostey dizelya SMD-62 s primeneniem ekspertnoy sistemy [Search of defects of SMD-62 diesel engine by means of an expert system]. Self-review of PhD (Eng) thesis. Moscow, GOSNITI, 1990: 24. (in Rus.).

6. Karakozova A.V., Ignatev A.A. Predposylki sozdaniya ekspertnoy sistemy dlya kontrolya dinamicheskogo sostoyaniya shlifovalnykh stankov [Background for developing an expert system for controlling the dynamic state of grinding machines]. *Vestnik SGTU*, 2011; Vol. 3; 2(58): 171-177. (in Rus.).

7. Polkovnikova N.A., Kureychik V.M. Razrabotka modeli ekspertnoy sistemy na osnove nechyotkoy logiki [Development of fuzzy-logic basing on expert system model]. *Izvestiya YuFU. Tehnicheskoe nauki*, 2014; 1(150): 83-92. (in Rus.).

8. Zhernakov S.V., Kobylev S.V. Ispolzovanie rekur-rentnykh neyrosetey v zadache diagnostiki tehniceskogo sostoyaniya gidromehaniceskogo avtomata raz-gona [Using recurrent neural networks in the task of diagnosing the technical condition of hydromechanical acceleration unit]. *Vestnik UGATU*, 2011; 3(43):142-156. (in Rus.).

9. Manakov A.L. Alekhin A.S., Izhbuldin Ye.A. Meto-dika opredeleniya effektivnoy raboty DVS [Method of detecting effective ICE functioning]. *Vestnik IrGTU*, 2015; 8 (103): 145-149. (in Rus.).

10. Lavrinenko O.V. Opredelenie informativnykh parametrov dlya sistemy diagnostiki gazoraspre-delitel'nogo mehanizma DVS [Finding informative parameters for diagnosing system for ICE timing mechanism]. *Vestnik NTU HPI*, 2014; 62 (1104): 87-94. (in Rus.).

11. Kuznetsov V.N., Belyaev V.I., Melnikov F.P. Vliyanie faz gazoras-predeleniya na izmenenie davleniya vo vpusknom kollektore mnogotsilindrovogo dvigatelya [In-fluence of timing phases on pressure in intake manifold of multi-cylinder engine]. *Vestnik AGAU*, 2014; 12 (122): 137-141. (in Rus.).

12. Balabin V.N., Kakotkin V.Z., Lobanov I.I. Re-zultaty primeneniya kompleksnoy sistemy kontrolya i diagnostiki lokomotivnykh dizeley [Results of applying the complex control and diagnostic system for locomotive diesel engines]. *Sovremennyye naukoymkie tehnologii*, 2014; 9: 11-16. (in Rus.).

13. Mikhlin V.M. Upravlenie nadyozhnost'ju sel'sko-hozyaystvennoy tehniky [Farming machinery reliability management]. Moscow, Kolos, 1984: 335. (in Rus.).

### Contribution

Chechet V.A., Levshin A.G., Skorokhodov A.N., Yegorov V.V. carried out the experimental work, and basing on the obtained results summarized the material and wrote the manuscript. Chechet V.A., Levshin A.G., Skorokhodov A.N., Yegorov V.V. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on November 15, 2018