

Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий

Юрий Владимирович Катаев, Михаил Геннадьевич Загоруйко, Игорь Александрович Тишанинов, Евгений Анатольевич Градов
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия
e-mail: egradov82@mail.ru

Аннотация. В работе представлена информация о причинах возникновения отказов в двигателях сельскохозяйственной техники, дается краткий обзор о способах определения неисправностей с использованием цифровых технологий, внедряемых в процесс диагностирования, и способах их устранения. Проанализировано внедрение прогнозирования как отдельного этапа в процесс диагностирования сельскохозяйственной техники с применением технологий машинного обучения в виде нейронных сетей. В результатах исследования отражено, что нейронная сеть, анализируя огромное количество получаемых данных при удаленном диагностировании, способна точнее прогнозировать отказы в двигателях сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника; двигатель внутреннего сгорания; цифровые технологии; диагностирование; прогнозирование; нейронная сеть.

Для цитирования: Катаев Ю. В., Загоруйко М. Г., Тишанинов И. А., Градов Е. А. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий // Аграрный научный журнал. 2022. № 2. С. 79–82. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp79-82>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Prediction of failures in agricultural machinery engines using digital technologies

Yuriy V. Kataev, Mikhail G. Zagoruiko, Igor A. Tishaninov, Evgeniy A. Gradov
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
e-mail: egradov82@mail.ru

Abstract. The paper provides information on the causes of failures in agricultural machinery engines, provides a brief overview of the ways to identify malfunctions using digital technologies introduced into the diagnostic process, and ways to eliminate them. The introduction of forecasting as a separate stage in the process of diagnosing agricultural machinery using machine learning technologies in the form of neural networks is analyzed. The results of the study reflect that the neural network, analyzing a huge amount of data obtained during remote diagnostics, is able to more accurately predict failures in agricultural machinery engines.

Keywords: agricultural machinery; internal combustion engine; digital technologies; diagnostics; forecasting; neural network.

For citation: Kataev Yu. V., Zagoruiko M. G., Tishaninov I. A., Gradov E. A. Prediction of failures in agricultural machinery engines using digital technologies. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2022;(2):79–82. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp79-82>.

Введение. Онлайн-мониторинг технического состояния сельскохозяйственной техники и цифровизация процессов диагностирования с применением интеллектуальных систем машинного обучения являются одним из основных направлений совершенствования эксплуатации машинно-тракторного парка агропромышленного комплекса (МТП АПК) и поддержания техники в работоспособном состоянии. Для решения этих задач необходимы современные алгоритмы в диагностировании сельскохозяйственной техники, адаптированные и работающие с новыми теоретическими моделями и элементами искусственного интеллекта.

Предлагается обрабатывать выходные параметры работы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) стандартными языками программирования Python и C++. Это позволит адаптировать наиболее подходящие параметры статического анализа используемых данных в массиве нейронной сети, которые также могут быть использованы в других цифровых модулях при удаленной диагностике автотракторной техники и контролировать в онлайн-режиме их техническое состояние.

В связи с этим разработка новых цифровых систем диагностирования, основанных на интеллектуальных технологиях, использующих принципы и алгоритм работы нейронных сетей, является одной из актуальных задач инженерно-технических служб АПК.

Использование цифровых технологий в диагностировании и контроле параметров технического состояния ДВС сельскохозяйственной техники повышают ее техническую готовность и увеличивают эффективность аграрного производства [2, 7].

Цифровые методы при онлайн-мониторинге дают возможность оценивать и определять причины отказа работы отдельных узлов ДВС по заданным параметрам, а интеллектуальная система диагностирования позволяет автоматизировать технические процессы и оценивать эффективность работы сельскохозяйственной техники в целом.



Цель исследования – прогнозирование отказов работы ДВС сельскохозяйственной техники по выходным параметрам с применением цифровых технологий.

Методика исследований. Анализировались цифровые методы контроля технического состояния сельскохозяйственной техники с использованием материалов дилерских служб ведущих мировых производителей техники, онлайн-платформ, тематических выставок, нормативно-правовых документов, регламентирующих проведение онлайн-мониторинга и диагностирования при техническом обслуживании, а также научных трудов в этой области исследований. При сборе информации и обработке полученных результатов в работе были применены классические методы статистики.

Результаты исследований. В условиях реальной эксплуатации сельскохозяйственной техники 1/3 всех отказов приходится на ДВС [3]. Применение цифровых технологий при контроле технического состояния техники и прогнозирования отказов отдельных узлов двигателя позволяет рационально проводить мероприятия по поддержанию машин в работоспособном состоянии.

Причиной выхода из строя узлов и агрегатов может быть не только износ отдельных деталей, но и влияние на них вибрационных сил [4, 5, 6, 8]. Неисправности деталей ДВС постгарантийной сельскохозяйственной техники – частая причина отказов. В нашем случае, для прогнозирования событий отказов работы топливного насоса высокого давления (ТНВД) на рис. 1 сформирована схема развития отказов, где показаны основные факторы отказов, ускоренный износ и инициирующее событие, приводящее к ремонту.

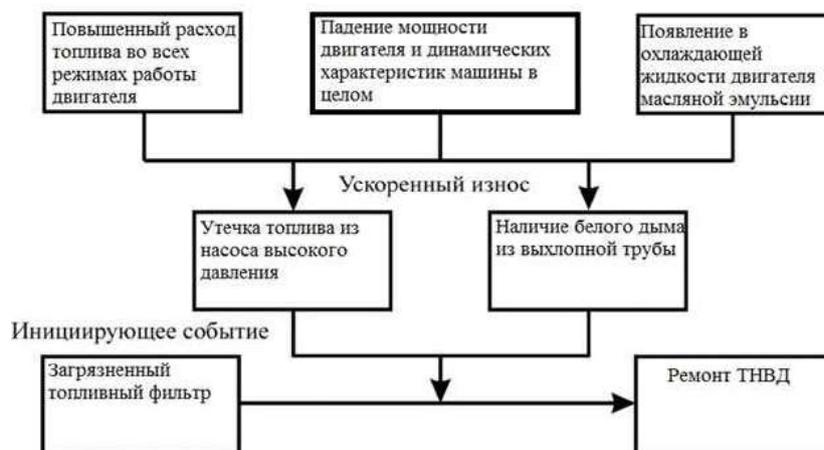


Рис. 1. Прогнозирование отказов работы ТНВД

По результатам мониторинга отказов работы ДВС в реальных условиях и по официальным данным онлайн-платформ ремонтно-обслуживающих баз за 2019–2020 гг. определены (рис. 2) основные отказы двигателей энергонасыщенных тракторов зарубежного и российского производства.

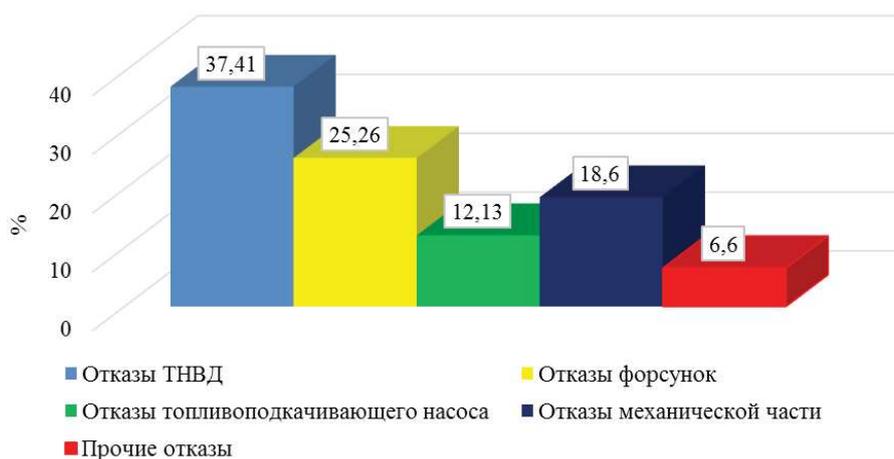


Рис. 2. Основные отказы двигателей энергонасыщенных тракторов

Использование цифровых технологий при диагностировании техники, позволяет 1,3–1,8 раза сократить трудоёмкость выполняемых операций благодаря автоматизированному получению и обработке информации о параметрах технического состояния [7].

Цифровые методы подхода по описанию математической модели параметров основаны на предположении о неизменности технических условий эксплуатации машины, и неизменности причин выходных данных [9].

Прогнозирование отказов в ДВС с помощью искусственного интеллекта в виде нейронной сети происходит следующим образом. Специальное устройство считывает технические параметры работы двигателя с помощью модуля диагностирования и отправляет на сервер, где происходит их дальнейшая расшифровка с помощью технологий ма-



шинного обучения. На основании полученных расшифрованных технических параметров система определяет остаточный ресурс узлов и агрегатов и на основе этого прогнозирует события будущих неисправностей или отказов. Этот метод диагностики отказов способствует своевременному проведению технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин. Цифровые режимы работы позволяют с определенной точностью моделировать явления износа деталей двигателя. Таким образом, можно раньше обнаружить изменения прогнозного параметра и принять меры для предотвращения сбоев работы агрегата. Для статически-цифрового метода модели прогнозирования требуется обозначить прогнозирующий фактор и идентифицировать его изменения с течением времени. Анализ математического метода заключается в том, что по известным параметрам работы двигателя фиксируется время, в течение которого полученные технические параметры не должны выходить за границы заданных значений, и, проводя постоянный онлайн-мониторинг технического состояния, нейронные сети позволяют определять момент начала перехода этих показателей за указанные границы.

Основным элементом цифровой нейронной сети является нейрон (рис. 3).

Формальный нейрон

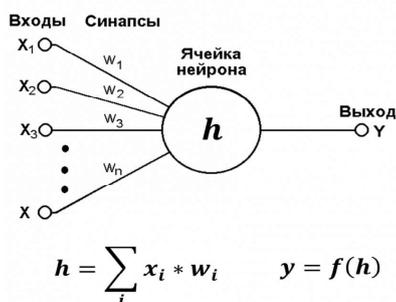


Рис. 3. Схема простейшего нейрона

Простейший элемент, который имеет лимитное количество входов x_1, x_2, x_3, x и каждый из этих входов имеет свою определенную массу. Нейрон выполняет сумму своих входов x_1, x_2, x_3, x . В данном случае мы рассматриваем однослойную нейронную сеть [1, 10].

Связь между двумя нейронами выполняет синапс. Основным параметром синапсов вес, который всегда равен 1. Синапс отвечает за изменение входной информации между нейронами.

Для активации выходных сигналов используется следующая функция:

$$f(h) = h, \quad (1)$$

где h – сумматор, определяет сумму входных сигналов между нейронами.

Функцией активации является сигмоидальная функция (сигмоида), которая применима для следующих условий: тестирование входного и выходного нейрона без модульного преобразования [12]:

$$f(h) = \frac{1}{1 + e^{-a \cdot h}}, \quad (2)$$

где a – степень сигмоидальной функции

Это одна из самых распространенных сигмоидальных функций активации нейронной сети, диапазон выходных параметров не должен превышать значений (0,1).

Сигмоидальная функция активация нейронной сети представлена на рис. 4.

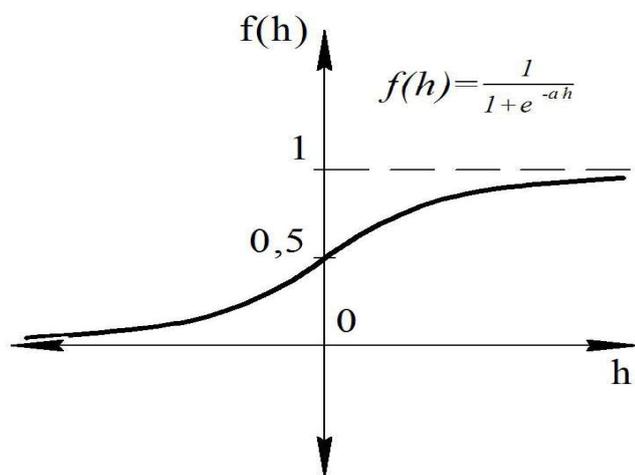


Рис. 4. Сигмоидальная функция активации

Первый приоритет интеллектуальной системы – это анализ эффективности работы двигателя. Для решения этой задачи в сети выделяется подсистема, анализирующая входные данные: обороты двигателя, крутящий момент двигателя, часовой расход топлива и др.

Первые цифровые значения срабатывания активации определяются оператором, а далее – самой системой.

Также учитывается, что некоторые показатели производительности являются доминирующими (крутящий момент), поэтому чем больше будет полученных данных, тем будет проще и более точно проводить обработку информации с дальнейшей оценкой технического состояния машины.

Получаемая выходная информация, обработанная нейронной сетью, позволит нам оценить работу двигателя с учетом разных факторов: мощности двигателя, индикатора крутящего момента, часового расхода топлива и т.д.

Этот блок данных позволяет более точно проанализировать полученные значения, и в будущем обучить систему так, чтобы после получения одного блока выходных данных, система могла прогнозировать изменения в других блоках. Пример прогнозирования событий отказов ТНВД представлен в таблице [11].

Прогнозирование событий отказов работы ТНВД

Отказы ДВС	Причины возникновения отказов ДВС	Показатели, сопутствующие отказу
Снижение давления при впрыске топлива	Отказ работы датчика регулирующего давление топлива дизеля, основная причина слабого давления	Падение мощности ДВС, нестабильная работа, стук, дымление черного цвета
Засорение заборника и фильтрующих элементов в топливной системе	Потеря пропускной способности сетчатого фильтра вследствие загрязнения топливной системы отложениями	Трудный запуск ДВС с первого раза, возникновение рывков при управлении техникой





Прогнозирование отказов ТНВД можно упростить путем внесения всего диапазона известных данных в виде симптомов и неисправностей в модуль программы диагностирования при онлайн-мониторинге с использованием цифровых технологий. Следует отметить, что предложенная интеллектуальная система диагностирования проводит самообучение отдельных параметров, основываясь на методе выявления отказов. Характерной особенностью этого вида обучения является то, что вносимые данные могут иметь непостоянный характер, зависящий главным образом от условий эксплуатации, но система все равно с большой вероятностью спрогнозирует отказ.

Заключение. Исследование выходных параметров ДВС с помощью интеллектуальной системы показывает, что своевременный сбор цифровых параметров о техническом состоянии отдельных систем двигателя с использованием онлайн-мониторинга повышает надежность эксплуатации автотракторной техники.

Использование предложенного метода диагностирования и оценки параметров технического состояния сельскохозяйственной техники с применением самообучающейся нейронной сети позволит своевременно прогнозировать и определять возможные отказы ДВС, что сокращает незапланированные простои техники из-за технических неисправностей и повысит работоспособность машины в течение всего срока эксплуатации.

Методика способствует своевременному техническому обслуживанию и ремонту машин.

Реализация онлайн-мониторинга технического состояния сельскохозяйственной техники с помощью интеллектуальных технологий в реальных условиях эксплуатации повышает ее производительность на 14–18 %, а также способствует сокращению трудоемкости проведения операций диагностирования на 1,3–1,8 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. М., 2015. 496 с.
2. 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.
3. Дидманидзе О.Н., Митягин Г.Е., Измайлов А.Ю. Технологические процессы диагностирования и технического обслуживания двигателей транспортных и транспортно-технологических машин. М., 2015. 109 с.
4. Дорохов А.С. Совершенствование входного контроля качества сельскохозяйственной техники на дилерских предприятиях // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2009. № 2(33). С. 73–75.
5. Дорохов А. С. Бесконтактный контроль качества запасных частей сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2010. № 2(41). С. 73-75.
6. Дорохов А.С. Влияние размеров в поле допуска на ресурс изделий // Грузовик. 2013. № 8. С. 34–37.
7. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. № 2(102). С. 45–50.
8. Измайлов А. Ю., Дидманидзе О. Н., Митягин Г. Е. Современные проблемы и направления технической эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин. М., 2015. 109 с.
9. Измайлов А. Ю., Хорошенко В. К., Лужнова Е. С. Управление сельскохозяйственными мобильными агрегатами с использованием навигационной системы ГЛОНАСС/GPS // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 15–20.
10. Кадури А., Николенко С., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб., 2018. 480 с.
11. Лянденбургский В.В., Тарасов А.А., Федосков А.В. и др. Анализ неисправностей топливных систем дизельных автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 3. С. 3-11.
12. Яхьяева, Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М., 2012. 316 с.

REFERENCES

1. Galushkin A.I. Neural networks: fundamentals of theory. Moscow, 2015. 496 p.
2. Didmanidze O.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Trends in the development of digital technologies for diagnosing the technical condition of tractors. *Machinery and equipment for the village*. 2020; 11(281): 39–43.
3. Didmanidze O. N., Mityagin G. E., Izmailov A. Yu. Technological processes of diagnostics and maintenance of engines of transport and transport-technological machines. Moscow, 2015. 109 p.
4. Dorokhov A.S. Improvement of input quality control of agricultural machinery at dealer enterprises. *Vestnik FGOU VPO MGAU*. 2009; 2(33): 73-75.
5. Dorokhov A. S. Contactless quality control of spare parts of agricultural machinery. *Bulletin of FGOU VPO MGAU*. 2010; 2(41): 73-75.
6. Dorokhov A. S. Effect sizes in the field access to online products. *Truck*. 2013; 8: 34-37.
7. Erokhin M. N., Dorokhov A. S., Kataev V. Intelligent system diagnostics technical parameters of agricultural machinery. *Agro engineering*. 2021; 2(102): 45-50.
8. Izmailov A. Yu., Didmanidze O. N., Mityagin G. E. Modern problems and directions of technical operation of transport and transport-technological machines. Moscow, 2015. 109 p.
9. Izmailov A. Yu., Khoroshenkov V. K., Luzhnova E. S. Management of agricultural mobile units using the GLONASS navigation system/GPS. *Agricultural machines and technologies*. 2015; 3: 15-20.
10. Kadurin A., Nikolenko S., Arkhangelskaya E. Deep learning. Immersion in the world of neural networks. St. Petersburg, 2018. 480 p.
11. Lyandenbursky V. V., Tarasov A. A., A Fedoskov.V., Krivobok S. A. Analysis of malfunctions of fuel systems of diesel cars. *The world of transport and technological machines*. 2011; 3: 3-11.
12. Yakhyaeva G.E. Fuzzy sets and neural networks. Moscow, 2012. 316 p.

Статья поступила в редакцию 20.10.2021; одобрена после рецензирования 30.10.2021; принята к публикации 15.12.2022.
The article was submitted 20.10.2021; approved after reviewing 30.10.2021; accepted for publication 15.12.2022.