

## **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИНЫ ПО ДАНЫМ ЕЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

**В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе,**

**С. Н. Девянин, Н. Н. Пуляев**

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный  
университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»*

*(г. Москва, Российская Федерация)*

***Аннотация:** Техническое состояние мобильной сельскохозяйственной техники оказывает существенное влияние на качество и количество производимой сельскохозяйственной продукции. Особенно остро это ощущается в период проведения посевных и уборочных работ, когда каждый день задержки работ приводит к потерям от 3 до 5 % урожая. Своевременное обслуживание техники по предварительно выявленным неисправностям или прогнозным оценкам ожидаемых неисправностей позволит привести эти потери к минимуму. Решение этой задачи может быть получено при использовании развивающихся цифровых технологий организации и управления сельскохозяйственным производством и создании мобильных систем диагностики технического состояния машин. Современные мобильные энергетические средства имеют хорошо развитую систему электронного управления машиной и ее компонентами. Для эффективного управления машиной в системе задействовано большое число датчиков и исполнительных устройств. Сигналы датчиков и системы управления передаются по шине данных и могут быть считаны в процессе эксплуатации машины. Эта информация может быть использована для оценки технического состояния машины без ее исключения из рабочего процесса для диагностического контроля. Такой подход может быть реализован при разработке диагностических комплексов и алгоритмов их определения на основании имеющихся данных информационной шины. В работе рассмотрена возможность его реализации и способы решения данной задачи.*

***Ключевые слова:** сельскохозяйственные тракторы; оценка технического состояния; неисправность; диагностический комплекс.*

## **EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE MACHINE ACCORDING TO ITS CONTROL SYSTEM DATA**

**V. I. Trukhachev, O. N. Didmanidze,**

**S. N. Devyanin, N. N. Pulyaev**

*Russian Timiryazev State Agrarian University*

*(Moscow, Russian Federation)*

**Abstract:** *The technical condition of mobile agricultural machinery has a significant impact on the quality and quantity of agricultural products. This is especially acute during the period of sowing and harvesting operations, when every day of delays in work leads to losses from 3 to 5% of the crop. Timely maintenance of equipment based on previously identified malfunctions or predictive estimates of expected malfunctions will reduce these losses to a minimum.*

*The solution to this problem can be obtained by using the developing digital technologies for organizing and managing agricultural production and creating mobile systems for diagnosing the technical condition of machines.*

*Modern mobile power means have a well-developed electronic control system for the machine and its components. To effectively control the machine, a large number of sensors and actuators are involved in the system. The signals from the sensors and the control system are transmitted over the data bus and can be read out while the machine is in operation. This information can be used to assess the technical condition of the machine without excluding it from the workflow for the purpose of diagnostic verification. This approach can be implemented in the development of diagnostic complexes and algorithms for their determination based on the available data on the information bus. This article discusses the possibility of its implementation and how to solve this problem.*

**Keywords:** *agricultural tractors; technical condition assessment; malfunction; diagnostic complex.*

Обеспечение продовольствием – основная задача сельскохозяйственного производства, от решения которой зависит эффективность работы всех других отраслей экономики страны. Несмотря на ежегодное увеличение объемов производства продукции растениеводства на 10 % в рублевом эквиваленте за последние 10 лет (данные Федеральной службы государственной статистики РФ) [1], этот рост был бы еще более существенным при снижении потерь. По данным авторов статьи [2] общий объем потерь продукции с ее недобором составляет 25...30 % валового производства.

Основная доля потерь растениеводства приходится на несвоевременность полевых работ. Хорошо известно выражение «один день год кормит». Несвоевременность проведения весенних полевых работ, а также потеря времени на уборке приводят к потере урожая. Авторы, рассматривая различные причины потерь урожайности, показали, что в уборочную страду задержка работ снижает урожай, и, опоздав со сроком на 7...10 дней, можно по-

терять до 30 % урожая зерна или 3...5 % на каждый день задержки [3].

Высокая безотказность работы техники в этот период особенно важна. Одним из способов обеспечения такой работы является предиктивное или прогнозное обслуживание техники на основе полученной информации о ее техническом состоянии в процессе эксплуатации. Своевременное обслуживание техники по предварительно выявленным неисправностям или прогнозным оценкам ожидаемых неисправностей позволит привести эти потери к минимуму.

Решение этой задачи может быть получено при использовании развивающихся цифровых технологий организации и управления сельскохозяйственным производством и создании мобильных систем диагностики технического состояния машин. Опыт их использования в Германии и Великобритании показал возможность [4]:

- сократить время уборочной кампании на три дня,
- повысить производительность на 10 %,
- повысить коэффициент использования рабочего времени – на 7 %.
- сократить затраты не менее чем на 0,5 %.
- получить дополнительный эффект от удаленной диагностики и выявления на ранней стадии узлов и компонентов, нуждающихся в срочном сервисном обслуживании.

Современные мобильные энергетические средства имеют хорошо развитую систему электронного управления машиной и ее компонентами [5]. Для эффективного управления машиной в системе задействовано большое число датчиков и исполнительных устройств. Системы управления сельскохозяйственной техникой постоянно оснащаются возрастающим числом электронных систем, которые работают в режиме интенсивного обмена данными и информацией по шине CAN, причем потребности в количестве и скорости обмена данными постоянно растут. Основной причиной таких изменений являются периодические ужесточения экологических норм и обеспечение высоких показателей эффективности работы машины при их соблюдении.

Усложнение системы управления снижает и ее надежность, а ненормальная работа любого из элементов системы управления

приводит к нарушению нормальной работы агрегата (узла) и, в конечном итоге, работы машины. Для обеспечения ее работоспособности и облегчения поиска неисправности задействована система самодиагностики, как встроенная в модуле электронной системы управления функция проверки и контроля наличия сбоев в работе и погрешности их измеряемых режимных параметров. Шина данных имеет выход на диагностический разъем для чтения данных при диагностике машины. Обмен данных производится в соответствии со стандартами SAE J1979 (для автотранспорта) и SAE J1939 (для тракторной и специализированной техники).

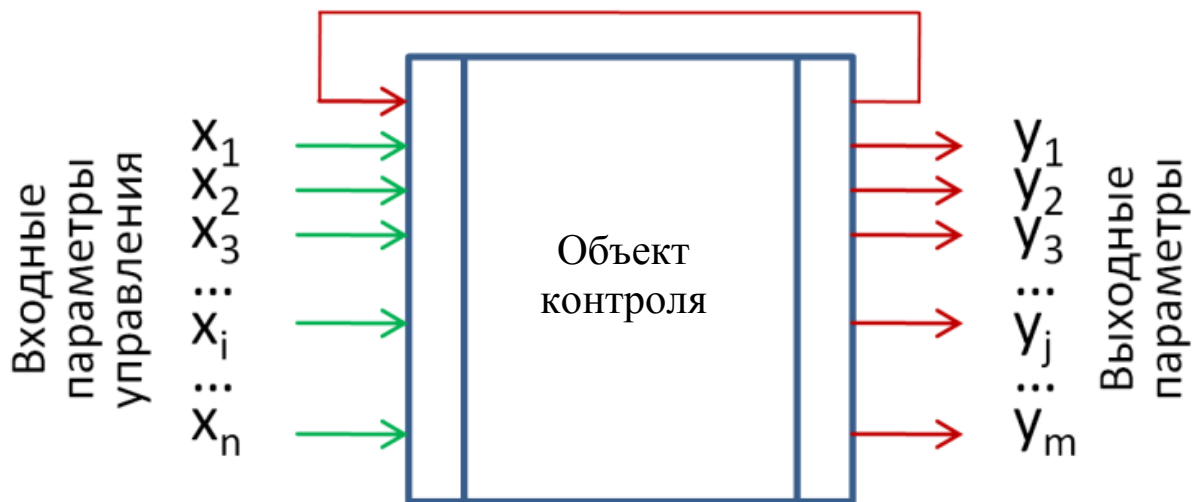
Однако эта система еще далека от совершенства и в основном анализирует элементы системы электронного управления процессами, электронные компоненты и их соединения. Чем сложнее поиск неисправности, тем больше времени потребуется на эту операцию, чем сложнее замена неисправной детали, тем больше времени потребуется на ремонт, чем реже выходит из строя деталь, тем больше времени потребуется на ее доставку в службу сервиса. При серьезных поломках машины, связанных с износом деталей эта операция может занять несколько дней простоя техники. Это время может быть сокращено, если к этой операции подготовиться заранее (выбрать удобное время, заказать детали, согласовать работы со службами сервиса, подготовить машину на замену и т. д.).

Производители техники для диагностирования разработанных электронных систем управления используют внутренние протоколы обмена данными, в связи с чем, предприятиям, эксплуатирующим технику, приходится либо приобретать дилерское оборудование к каждой конкретной марке машины, либо обращаться в специализированные дилерские службы [6], что существенно усложняет и замедляет процесс обслуживания.

Эффективность системы самодиагностики может быть повышена за счет разработки дополнительных алгоритмов обнаружения отклонений в нормальной работе узлов и протекания процессов в машине по данным CAN шины. Так как сигналы датчиков и системы управления передаются по шине данных и могут быть считаны в процессе эксплуатации машины, то эта информация может быть использована для оценки технического состоя-

ния машины без ее исключения из рабочего процесса для диагностического контроля. Если разработка алгоритмов поиска нарушения протекания процессов отличается от алгоритма управления процессами в машине, то это повышает достоверность обнаружения неисправности.

Альтернативный подход может быть реализован на анализе значений входных и выходных данных, которые имеют функциональные связи между собой (рисунок 1) и характер этих связей зависит как от условий работы машины, так и от технического состояния элементной базы. Такие связи могут быть получены статистической обработкой массива данных в виде регрессионных зависимостей. Имея информацию о функциональных связях параметров от условий работы, можно проследить характер и оценить степень изменения связи от технического состояния и на основании этого сделать заключение о необходимости обслуживания машины.



**Рисунок 1 – Схема объекта диагностики:**

$x$  – входные параметры;  $y$  – выходные параметры

Например, функциональные взаимосвязи при работе машины имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3) \\ y_2 = f_2(x_1, x_5, x_8, x_{11}, x_{16}) \\ y_3 = f_3(x_3, x_{12}, x_{13}, x_{17}, x_{18}) \\ y_4 = f_4(x_3, x_9, x_{11}) \\ \dots \\ y_i = f_i(x_m, x_i, x_j, x_n) \\ \dots \\ y_m = f_m(x_3, x_{10}, x_{12}, x_{17}, x_n) \end{array} \right. \quad (1)$$

Так как они регистрируются практически одновременно при работе машины, то эти зависимости могут рассматриваться совместно, т. е. образуют систему уравнений. Чем больше получено функциональных связей, тем легче локализовать причину нарушения нормальной работы.

Если в процессе эксплуатации машины наблюдаются нарушения каких-либо функциональных связей выше допустимых значений, то проводится их анализ по влияющим факторам. Совпадение влияющих факторов позволяет их выделить в отдельную «причинную» группу. Их значения могут являться причиной нарушения нормальной работы либо датчиков, дающих этот сигнал, либо нарушение протекающих процессов в машине, которые этот сигнал формируют.

Например, в приведенной ранее системе функциональная связь  $y_3 = f_3(x_3, x_{12}, x_{13}, x_{17}, x_{18})$  вышла за допустимые пределы. Анализ других взаимосвязей показывает, что  $y_1$  и  $y_m$  имеют значения близкие к предельным. Изучение влияющих факторов «х» позволяют предположить, что причиной является параметр  $x_3$ , который участвует в каждой функциональной связи. В то же время его влияние никак не сказалось, что может быть причиной либо слабого влияния фактора, либо нехарактерными режимами работы для функции  $y_4$ , либо противоположным влиянием другого влияющего фактора, который может стать следующей причиной неисправности.

Данный подход может быть реализован при разработке диагностических комплексов и алгоритмов их определения на осно-

вании имеющихся данных информационной шины. В качестве такого комплекса  $K$  целесообразно использовать сочетание регистрируемых параметров « $x_i$ », характеризующих какой-либо выходной показатель работы машины или качество протекающего в ней процесса.

$$K_i = f_i(x_1, x_2, x_3, \dots) \quad (2)$$

Такие комплексы могут быть составлены на основании известных теоретических зависимостей между отдельными функционально связанными параметрами. Группировка влияющих факторов в комплексы позволяет уменьшить число влияющих факторов и быстрее локализовать причину отклонений от нормальной работы.

В результате наработанных регрессионных зависимостей между параметрами машины и ее агрегатов можно будет производить оценку их технического состояния без исключения ее из технологического процесса. Полученные данные о результатах обработки данных могут передаваться на центральный диспетчерский пост по телекоммуникационной связи и формировать данные о техническом состоянии парка машин на предприятии. Информация по техническому состоянию парка машин позволит заранее намечать время обслуживания техники по ее реальному состоянию, лучше планировать необходимые комплектующие и расходные материалы, заранее согласовывать перечень работ со специализированными сервисными службами. Увеличение количества получаемых регрессионных моделей для разных одиночных параметров и их комплексов позволяет повысить степень достоверности информации о техническом состоянии машины и упростить процесс локализации причины неисправности и уменьшать время на устранение причины.

Данный подход к диагностике технического состояния машин хорошо согласуется с положениями организации и ведения «цифрового» сельского хозяйства.

Подводя итог сказанному можно сделать следующие выводы:

1. Использование диагностического разъема позволяет получать данные с датчиков машины в реальном времени и производить их обработку по желаемому алгоритму.

2. Разработка диагностических комплексов позволяет по ним контролировать изменение технического состояния машины в процессе ее эксплуатации и своевременно принимать профилактические меры для их устранения.

3. Информация о техническом состоянии машины может непрерывно передаваться на центральный диспетчерский пост для ее дальнейшей обработки и принятия решения о целесообразных действиях.

4. Анализ группы диагностических комплексов может быть использован для локализации неисправного узла или детали.

5. Непрерывная диагностика машины позволяет проводить предиктивное обслуживание техники и снизить потери при производстве сельскохозяйственной продукции.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/enterprise\\_economy](https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy).

2. Скульская Л. В., Широкова Т. К. Потери сельскохозяйственной продукции и продовольственных ресурсов в Российской Федерации // Проблемы прогнозирования. 2010. № 6 (123). С. 63-83.

3. Демко А. А. Прогнозирование сроков уборки с учетом возможных потерь [Электронный ресурс] // Агроном. Режим доступа: [www.agronom.com.ua/prognozyrovanye-srokov-uborky-s-uchetom-vozmozhnyh-poter-urozhaya](http://www.agronom.com.ua/prognozyrovanye-srokov-uborky-s-uchetom-vozmozhnyh-poter-urozhaya).

4. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития : науч. издание / В. Ф. Федоренко, Н. П. Мишуров, Д. С. Буклагин, В. Я. Гольдяпин, И. Г. Голубев. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 316 с.

5. Чутчева Ю. В., Пуляев Н. Н., Коротких Ю. С. Перспективные направления развития тягово-транспортных средств для сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. 2020. № 9 (279). С. 2-5.

6. Трухачев В. И., Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н. Какие сельскохозяйственные тракторы нужны завтра России? // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар (Москва, 22-24 января 2020 года). М. : ООО «Мегаполис», 2020. С. 11-19.

7. Габитов И. И., Грехов Л. В., Неговора А. В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей : учебное пособие. Уфа : Изд-во БГАУ, 2008. 240 с.



## REFERENCES

1. Sel'skoe khoziaistvo, okhota i lesnoe khoziaistvo [Agriculture, hunting and forestry]. Available at: [https://rosstat.gov.ru/enterprise\\_economy](https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy).
2. Skul'skaia L. V., Shirokova T. K. Poteri sel'skokhoziaistvennoi produktsii i prodovol'stvennykh resursov v Rossiiskoi Federatsii [Losses of agricultural products and food resources in the Russian Federation]. *Problemy prognozirovaniia*, 2010, no. 6 (123), pp. 63-83.
3. Demko A. A. Prognozirovanie srokov uborki s uchetom vozmozhnykh poter' [Forecasting the cleaning time, taking into account possible losses]. *Agronom*, Available at: [www.agronom.com.ua/prognozyrovanye-srokov-uborky-s-uchetom-vozmozhnykh-poter-urozhaya](http://www.agronom.com.ua/prognozyrovanye-srokov-uborky-s-uchetom-vozmozhnykh-poter-urozhaya).
4. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Buklagin D. S., Gol'tiapin V. Ia., Golubev I. G. Tsifrovoe sel'skoe khoziaistvo: sostoianie i perspektivy razvitiia [Digital agriculture: state and prospects of development]. Moscow, Rosinformagrotekh, 2019, 316 p.
5. Chutcheva Yu. V., Pulyaev N. N., Korotkikh Yu. S. Perspektivnye napravleniia razvitiia tiagovo-transportnykh sredstv dlia sel'skogo khoziaistva [Promising directions of development of traction vehicles for agriculture]. *Tekhnika i oborudovanie dlia sela*, 2020, no. 9 (279), pp. 2-5.
6. Trukhachev V. I., Didmanidze O. N., Devianin S. N. Kakie sel'skokhoziaistvennye traktory nuzhny zavtra Rossii? [What agricultural tractors do Russia need tomorrow?]. *Chteniia akademika V. N. Boltinskogo*, Moscow, OOO «Megapolis», 2020, pp. 11-19.
7. Gabitov I. I., Grekhov L. V., Negovora A. V. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i diagnostika toplivnoi apparatury avtotraktornykh dizelei [Maintenance and diagnostics of fuel equipment for automotive diesel engines]. Ufa, BGAAU, 2008, 240 p.

### **Об авторах:**

**Трухачев Владимир Иванович**, ректор ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор сельскохозяйственных наук, доктор экономических наук, профессор, академик РАН.

**Дидманидзе Отари Назирович**, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор технических наук, профессор, академик РАН, [didmanidze@rgau-msha.ru](mailto:didmanidze@rgau-msha.ru).

**Девянин Сергей Николаевич**, профессор кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный универси-

тет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор технических наук, профессор, devta@rambler.ru.

**Пуляев Николай Николаевич**, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8984-4426>, inpo.msau@gmail.com.

*About the authors:*

**Vladimir I. Trukhachev**, rector, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), D.Sc. (Agricultural), D.Sc. (Economic), professor, Academician of the Russian Academy of Sciences.

**Otary N. Didmanidze**, Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), D.Sc. (Engineering), professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, didmanidze@rgau-msha.ru

**Sergey N. Devyanin**, professor of the Department of Tractors and Cars, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), D.Sc. (Engineering), professor, devta@rambler.ru.

**Nikolay N. Pulyaev**, associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Engineering), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8984-4426>, inpo.msau@gmail.com.