

## СТАТЬЯ

УДК 62-192

## АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРОВ СЕМЕЙСТВА МТЗ И МЕТОД ИХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ ПЛАТЫ ARDUINO

Гордиенко В.В.

*Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Саратов, e-mail: v.gordienko@bioterra.su*

В статье приводятся результаты исследований по выявлению факторов, влияющих на надежность работы техники. Приведены литературные данные по отказам узлов и агрегатов тракторов, по наиболее интенсивному изнашиванию деталей и сборочных единиц коробки передач трактора. Исходя из разновидностей методов технической диагностики выбран метод вибрационной диагностики как наиболее эффективный метод диагностирования состояния и оценки степени износа коробки передач. Определен порядок проведения вибрационной диагностики на различных комплексах. Для измерения вибрации были приведены пьезоэлектрические и ёмкостные акселерометры, так как они имеют малую массу, высокую надежность, низкую чувствительность к изменению температур и другие преимущества перед другими типами датчиков. Предложено использование микроконтроллерной платы Arduino для вибродиагностики коробки передач тракторов семейства МТЗ как более дешевого и удобного в использовании средства вибродиагностики сельскохозяйственной техники. В состав измерительной системы предложено следующее оборудование: емкостный акселерометр BC 202, микроконтроллерная плата Arduino UNO, ноутбук с операционной системой не менее Windows XP, соединительные провода. В качестве программного обеспечения для работы с Arduino предложено бесплатное программное обеспечение Arduino 1.8.7. Приведены основные технические характеристики выбранного оборудования.

**Ключевые слова:** неисправности коробок передач, метод диагностирования, микроконтроллерная плата Arduino, акселерометр

## ANALYSIS OF MALFUNCTIONS OF TRANSMISSIONS OF TRANSFERS OF TRACTORS OF THE MTZ FAMILY AND THE METHOD OF THEIR DIAGNOSIS BASED ON THE ARDUINO MICROCONTROLLER BOARD

Gordienko V.V.

*Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, e-mail: v.gordienko@bioterra.su*

The article presents the results of studies to identify factors affecting the reliability of the equipment. Literature data on failures of tractor units and assemblies, on the most intensive wear of parts and assembly units of a tractor gearbox are given. Based on the varieties of technical diagnostic methods, the vibration diagnostic method is chosen as the most effective method for diagnosing the condition and assessing the degree of gearbox wear. The procedure for conducting vibration diagnostics at various complexes is determined. Piezoelectric and capacitive accelerometers were shown to measure vibration, since they have a low mass, high reliability, low sensitivity to temperature changes, and other advantages over other types of sensors. The use of the Arduino microcontroller board for vibration diagnostics of the gearbox of the MTZ family of tractors is proposed as a cheaper and more convenient means of vibration diagnostics of agricultural machinery. The following equipment was proposed to the measuring system: capacitive accelerometer BC-202, Arduino UNO microcontroller board, laptop with an operating system of at least Windows XP, connecting wires. As software for working with Arduino, the free software Arduino 1.8.7 is offered. The main technical characteristics of the selected equipment are given.

**Keywords:** gearbox malfunctions, diagnostic method, Arduino microcontroller board, accelerometer

Развитие сельского хозяйства в наши дни предполагает использование инновационных технологий, а также модернизацию существующей сельскохозяйственной техники, что в свою очередь требует не только совершенствования технической оснащенности производства, но и эффективного применения и обслуживания технической базы [1].

При работе механизмов, технологических узлов и агрегатов возникает вибрация, которая, как правило, может приводить к сокращению эксплуатационного срока службы механизмов. Для снижения уровня

вибрации должен быть разработан определенный перечень действий, из которых создается план мероприятий. Как правило, все сельскохозяйственные предприятия работают согласно графикам планово-предупредительных работ. При наступлении времени наработки оборудования производятся запланированные виды технического обслуживания. У данного метода есть и недостатки, так как, если детали и узлы еще работоспособны, они в любом случае подлежат замене.

С каждым днем в нашей стране все больше и больше сельскохозяйственных

предприятий, на которых создается современная система технического обслуживания и ремонта машин по фактическому их состоянию. Основным достоинством данной системы является то, что в отличие от регламентированной системы, объем и вид производящих работ изменяется в зависимости от технического состояния узлов и агрегатов на момент проведения работ.

В результате при переходе на обслуживание и ремонт по фактическому состоянию получается исключить ненужные работы при техническом обслуживании, которые нет необходимости менять, и, как правило, на 30–50% уменьшить продолжительность обслуживания и денежные затраты.

Технический уровень и надежность сельскохозяйственной техники являются важнейшими факторами при выполнении трудоемких процессов в сельском хозяйстве, связанных с технологией возделывания сельскохозяйственных культур (вспашка, посев, уход за посевами, сбор урожая и др.).

До 80% от общего количества тракторов, имеющих в распоряжении сельскохозяйственных предприятий России, отработали свой срок службы, что ограничивает своевременное и качественное проведение полевых работ [2].

Анализ условий, оказывающих влияние на надёжность работы тракторов, показывает, что непосредственно при обслуживании и ремонте необходимо выполнение правил обкатки, а также соблюдение требований инструкции по техническому обслуживанию и ремонту тракторов [3]. В процессе исследований были выявлены следующие факторы, влияющие на надёж-

ность: несоблюдение времени обкатки, использование масел, не соответствующих инструкции по техническому обслуживанию и правилам эксплуатации, несоблюдение сроков между ТО, указанных в инструкции по техническому обслуживанию, разбор узлов и механизмов, требующих ремонта, без специального инструмента; эксплуатация тракторов с превышающей нагрузкой [4].

Исходя из опыта работы сельскохозяйственной техники (тракторов) можно сказать, что большая доля затрат и простоев на ремонт приходится на отказы агрегатов трансмиссии до 25% (рис. 1), из которых до 20% – коробка передач.

Данное соотношение показывает, что уменьшение затрат и времени на проведение ремонта для обеспечения работоспособности коробки передач на сегодняшний день является весьма актуальной задачей. Обеспечение работоспособности техники осуществляется в основном по стратегии устранения возникших отказов, несмотря на то, что отказы носят в основном постепенный (закономерный) характер [5].

При работе коробки передач трактора (при изменении крутящего момента и переключении передач) происходит изнашивание деталей и узлов коробки передач (зазоры, посадка). Наиболее интенсивно изнашиваются следующие детали и сборочные единицы коробки передач:

- подшипники;
- посадочные места в корпусе под внутренний диаметр подшипников;
- посадочные места в корпусе под обоймы подшипников валов с картером коробки передач.

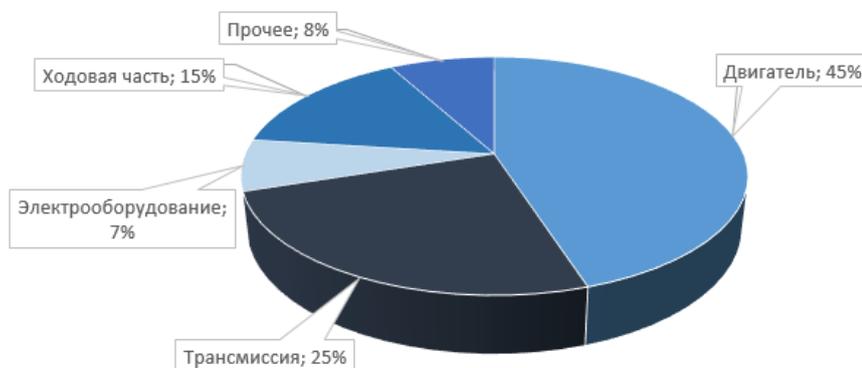


Рис. 1. Процентное соотношение отказов сельскохозяйственной техники (тракторов)

Проведение диагностики технического состояния оборудования может осуществляться на остановленном, вскрытом и работающем агрегатах. В случаях, когда агрегат остановлен и когда агрегат вскрыт, появляется больше возможностей для определения его технического состояния и конкретного вида неисправности. Но есть и недостатки данных способов диагностики, что ограничивает их широкое применение, это необходимость остановки агрегата, что не всегда является возможным в условиях эксплуатации.

Поэтому методы диагностирования оборудования в работающем состоянии на сегодняшний день являются особо важными. Методы акустической, вибрационной, параметрической диагностики получили широкое применение при определении технического состояния оборудования.

Для повышения надежности, производительности диагностики, уменьшения затрат на обслуживание и ремонт машин и оборудования необходимо совершенствовать методы и средства технической диагностики и, в частности, вибродиагностики. Вибродиагностика является наиболее эффективным методом диагностирования состояния и оценки степени износа [6].

Целью исследования является изучение возможности использования микроконтроллерной платы Arduino UNO с акселерометром BC 202 для вибрационной диагностики коробки передач.

#### **Материалы и методы исследования**

Проведен сравнительный анализ методик диагностирования оборудования, в том числе и вибрационной диагностики. Сравнивались показатели приборов вибродиагностики, такие как анализатор вибрации двухканальный «Диана-2М» (виброанализатор), виброанализатор СД-23В с акселерометром BC 202 с использованием микроконтроллерной платы Arduino UNO и программного обеспечения Arduino 1.8.7.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Одной из наиболее важных задач вибрационной диагностики является обнаружение дефектов и оценки остаточного ресурса в рабочих условиях эксплуатации. Данная задача основана на измерении и анализе параметров вибрации диагностируемого оборудования и является одной из главных среди других видов диагностики. Она получила широкое применение для диагностики вращающегося оборудования и решает большинство задач определения и прогноза его состояния.

Суть метода вибродиагностики заключается в том, что в качестве диагностической информации используется вибрация работающего агрегата. Данный вибросигнал является носителем информации о различных колебаниях узлов и деталей технологического оборудования. При изменении рабочего состояния его элементов происходит отклонение параметров работы агрегата и тем самым изменение образующих его вибросигналов. Вибрационная диагностика отличается от других методов технической диагностики перечнем характерных особенностей и в первую очередь различным происхождением вибросигналов и высокой информативностью. Своевременное предупреждение возникновения неисправностей в работающем агрегате особо отличает вибрационную диагностику от других методов диагностирования, которые в основном могут осуществлять только контроль за состоянием агрегата и определять неисправности.

В сельском хозяйстве за счет контроля уровня и спектра вибросигнала на работающем оборудовании предоставляется возможность обслуживать и ремонтировать технику по фактическому ее состоянию. Диагностика деталей и узлов машин проводится в рабочем состоянии, без их демонтажа. Исходя из результатов неоднократных измерений можно прогнозировать состояние деталей и узлов агрегатов до 6 месяцев.

По способу получения диагностической информации вибродиагностика подразделяется на функциональную и тестовую.

Функциональная диагностика проводится без нарушения режимов работы агрегата, т.е. при выполнении им своего рабочего функционала. Все измеряемые диагностические параметры, анализ полученных результатов и принятие решения выполняются раньше, чем они формируются по результатам оценки состояния, в случае, когда это необходимо, итоговое воздействие на объект (работа объекта останавливается или объект работает в другом функциональном режиме).

На современном этапе развития вибрационной диагностики, диагностирование коробки передач трактора производится при работающем оборудовании. В этом случае используемые системы вибродиагностики могут быть как стационарными, так и переносными. В связи с тем, что компьютеры получили основную роль в развитии систем виброконтроля, порядок проведения вибродиагностики при применении различных средств измерения вибросигнала практически одинаков:

1. Конфигурация диагностируемого объекта в программном обеспечении системы виброконтроля.

2. Определение параметров диагностики объекта.
3. Определение точек для измерения вибрации на объекте.
4. Определение способа крепления вибродатчиков и подготовка мест крепления вибродатчиков.
5. Измерение показаний вибрации объекта (вибросигнала).
6. Обработка и дальнейший анализ измеренных показаний вибрации объекта.
7. Подготовка и определение технического состояния объекта.

В настоящее время поиск неисправностей посредством виброакустического метода в машиностроении является все более целесообразным, так как частная разборка неэкономична и нецелесообразна, а поддержание работоспособности механических передач имеет большое значение. Тем не менее у данного метода есть и недостатки, например высокая помеховосприимчивость.

Наибольшее распространение при исследованиях вибрационных процессов получили пьезоэлектрические и емкостные акселерометры. Их основными преимуществами являются: малая масса, высокая надежность, низкая чувствительность к изменению температур, линейность преобразования исходного сигнала и другие преимущества перед другими типами датчиков, например оптическими [7].

Современные приборы вибродиагностики, такие как анализатор вибрации двухканальный «Диана-2М» (виброанализатор), виброанализатор СД-23В, эффективно используются при балансировке вращающегося оборудования, но в связи с их немалой стоимостью целесообразно создать более

дешевое и удобное в использовании средство вибродиагностики сельскохозяйственной техники.

В статье предложено использование микроконтроллерной платы Arduino для вибродиагностики коробки передач тракторов семейства МТЗ.

В состав измерительной системы входит следующее оборудование: емкостный акселерометр BC 202, микроконтроллерная плата Arduino UNO, ноутбук с операционной системой не менее Windows XP, соединительные провода. В качестве программного обеспечения для работы с Arduino используется бесплатное программное обеспечение Arduino 1.8.7.

Емкостный акселерометр BC 202 предназначен для измерения переменной и постоянной составляющей сигнала, в связи с чем он может использоваться как датчик линейных ускорений и датчик положения, а также регистрации сверхнизкочастотных колебаний.

Преимуществами данного акселерометра являются его многофункциональность и простота калибровки.

В табл. 1 представлены основные технические характеристики акселерометра BC 202 [8].

Микроконтроллерная плата Arduino UNO построена на ATmega328 и используется в измерительной схеме в качестве АЦП. На платформе расположены 14 цифровых вход/выходов, 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, USB разъем, разъем питания, ICSP разъем и кнопка перезагрузки. Для проведения измерения необходимо подключить плату к ноутбуку через USB кабель, либо запитать плату при помощи адаптера на 220В, либо батареей.

**Таблица 1**  
Основные технические характеристики акселерометра BC 202

Параметр	Ед. измерения	Значение
Чувствительность	мВ/g	93,5
Частотный диапазон	Гц	до 500
Относительная поперечная чувствительность	%	≤ 4
Амплитудный диапазон	g±	± 18
Собственные шумы, СКЗ, не более	mg	7
Диапазон измеряемых значений виброускорения	g	от 0,02 до 10
Выходное сопротивление, не более	Ом	500
Ток потребления, не более	мА	5
Напряжение питания	В	5
Уровень постоянного напряжения на выходе (в горизонтальном положении при 0 g)	мВ	1771
Материал корпуса		Нержавеющая сталь
Масса (без кабеля)	г	16

Таблица 2

Основные технические характеристики микроконтроллерной платы Arduino UNO

Параметр	Ед. измерения	Значение
Микроконтроллер		ATmega328
Рабочее напряжение	В	5
Входное напряжение (рекомендуемое)	В	7–12
Входное напряжение (предельное)	В	6–20
Цифровые входы/выходы		14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы		6
Постоянный ток через вход/выход	мА	40
Постоянный ток для вывода 3.3 В	мА	50
Флеш-память	Кб	32 (ATmega328), из которых 0.5 используются для загрузчика
ОЗУ	Кб	2 (ATmega328)
Тактовая частота	МГц	16

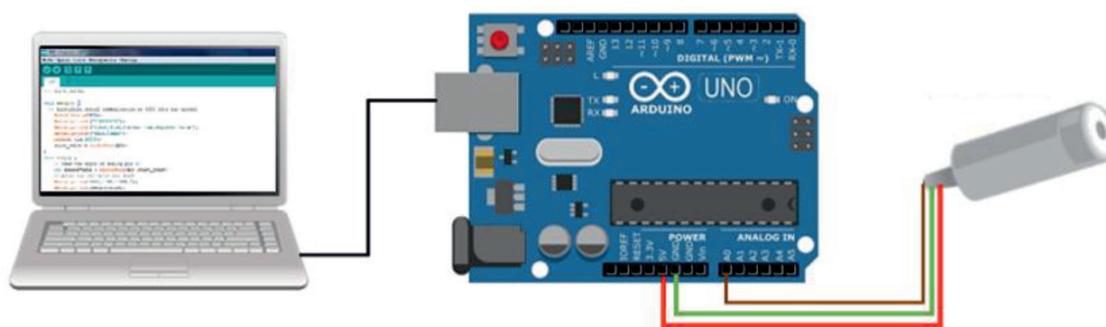


Рис. 2. Схема подключения акселерометра BC 202 к Arduino UNO и ноутбуку

В табл. 2 представлены основные характеристики микроконтроллерной платы Arduino UNO [9].

Схема подключения акселерометра BC 202 к Arduino представлена на рис. 2.

Акселерометр BC 202 имеет три выхода – GND и VCC для питания и вывод аналогового сигнала, который подключается соединительными проводами к любому аналоговому входу, к примеру, A0, а GND и VCC акселерометра – к GND и 5V Arduino UNO соответственно. Плата Arduino UNO соединяется с ноутбуком через провод USB.

Основные преимущества использования микроконтроллерной платы Arduino UNO:

- малая стоимость;
- многообразие микроконтроллерных плат, отличающихся друг от друга размерами;
- простой язык программирования;
- справочники программного кода с большим количеством уже готовых скетчей.

В результате проведенного в статье исследования определен наиболее эффек-

тивный метод диагностирования коробки передач – вибродиагностирования.

Таким образом, в статье были выявлены наиболее изнашиваемые детали и сборочные единицы коробки передач. Описан порядок проведения диагностики и предложен метод вибродиагностирования коробки передач тракторов семейства МТЗ и на основе микроконтроллерной платы Arduino с использованием емкостного акселерометра BC 202.

#### Список литературы

1. Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях: материалы VI Международной научно-практической конференции молодых учёных, посвящённой году экологии в России / сост. Щербакова Н.А. Солёное Займище, 2017. 1077 с.
2. Хусаинов Р.К. Повышение эффективности эксплуатации тракторов в аграрном производстве с учетом условий их функционирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2016. 20 с.
3. Пуховой А.А., Мелешко М.Г., Бобровник А.И., Левков В.Г. Руководство по техническому обслуживанию и ре-

монтажу тракторов «БЕЛАРУС» серий 500, 800, 900. М.: Машиностроение, 2007. 438 с.

4. Максимов Е.А. Динамика распределения отказов тракторов в зависимости от условий эксплуатации // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (58). С. 62–68.

5. Закирьянов Л.С. Организация ремонта агрегатов грузовых автомобилей с разработкой оборудования для ремонта КПП // Молодежь и наука. 2018. № 4. [Электронный ресурс]. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_35358587\\_46781899.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_35358587_46781899.pdf) (дата обращения: 27.12.2019).

6. Аксенов И.И., Филонов С.А. Совершенствование системы вибродиагностики сельскохозяйственной техники // Инновационные технологии и технические средства для

АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Воронеж, 2016. С. 3–9.

7. Комаров В.А. Формирование структуры и содержания ремонтно-обслуживающих воздействий на агрегаты автомобилей сельскохозяйственного назначения: автореф. дис. ... док. техн. наук: Саранск, 2016. 37 с.

8. ZETLAB. [Электронный ресурс]. URL: <https://zetlab.com/shop/datchiki/akselerometry/emkostnyie-akselerometry-datchik-lineynogo-uskoreniya/vs-202/> (дата обращения: 27.12.2019).

9. Arduino.ru. [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno> (дата обращения: 27.12.2019).