

## БОРТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ ГИДРОПОДЖИМНЫХ МУФТ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС»

И. И. БОНДАРЕНКО, В. Г. КОСТЕНИЧ, А. Г. БЕЛЕВИЧ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: kaf.tia@bsatu.by

В. А. БЕЛОУСОВ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: ktrauto@tut.by

(Поступила в редакцию 18.03.2021)

*Бортовая диагностика, как элемент конструкции колесных и гусеничных машин, позволит перейти к их техническому обслуживанию по фактической необходимости, и за счет этого исключить, с одной стороны, возможность эксплуатации неисправных колесных и гусеничных машин, а с другой – необоснованные простои, материальные и трудовые затраты, например при преждевременной замене гидроджимных муфт.*

*Необходимость создания подобных систем вызвана тем, что у большинства колесных и гусеничных машин при проведении диагностических работ, отмечаются значительные отклонения параметров, характеризующих их техническое состояние до проведения диагностических работ, т.е. колесные и гусеничные машины эксплуатируются в ряде случаев при недопустимых или критических режимах, что отрицательно сказывается на работоспособности узлов, безопасности движения, экологических, экономических и других показателях.*

*Часть колесных и гусеничных машин, находящихся в технически исправном состоянии, в соответствии с графиком проведения регламентных работ подвергается преждевременному диагностированию или техническому обслуживанию, т.е. очевидны необоснованные трудовые и материальные затраты. Таким образом, бортовое диагностирование технического состояния узлов и агрегатов колесных и гусеничных машин и, в частности, степени износа фрикционных дисков гидроджимных муфт коробок передач, является весьма актуальной задачей.*

*Повышение эксплуатационной надежности колесных и гусеничных машин, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт возможны только при своевременном и объективном определении их технического состояния. Эффективным способом повышения качества проведения технического обслуживания и ремонта, а также эксплуатационной надежности колесных и гусеничных машин является диагностирование их технического состояния.*

*Определены на стенде пороговые значения работ трения фрикционных дисков гидроджимных муфт коробки передач, соответствующие их предельно допустимым износам. Приведена схема стенда для испытаний гидроджимных муфт коробки передач. Получены результаты испытаний.*

**Ключевые слова:** пороговое значение, гидроджимная муфта, трактор, работа трения, фрикционные диски, бортовое диагностирование.

*On-board diagnostics, as an element of the design of wheeled and tracked vehicles, will allow you to switch to their maintenance as required, and thereby exclude, on the one hand, the possibility of operating faulty wheeled and tracked vehicles, and on the other hand, unreasonable downtime, material and labor costs, for example, in case of premature replacement of hydraulic clutches.*

*The need to create such systems is due to the fact that in most wheeled and tracked vehicles during diagnostic work, there are significant deviations in the parameters characterizing their technical condition before carrying out diagnostic work, i.e. wheeled and tracked vehicles are operated in a number of cases under unacceptable or critical conditions, which negatively affects the performance of units, traffic safety, environmental, economic and other indicators.*

*Part of wheeled and tracked vehicles that are in a technically sound condition, in accordance with the schedule of routine maintenance, are subjected to premature diagnostics or maintenance, i.e. unreasonable labor and material costs are obvious. Thus, on-board diagnostics of the technical condition of units and assemblies of wheeled and tracked vehicles and, in particular, the degree of wear of friction discs of the hydraulic clutches of gearboxes is a very urgent task.*

*Improving the operational reliability of wheeled and tracked vehicles, reducing the cost of maintenance and repairs are possible only with timely and objective determination of their technical condition. An effective way to improve the quality of maintenance and repair, as well as the operational reliability of wheeled and tracked vehicles is to diagnose their technical condition.*

*The threshold values of friction work of friction discs of the hydraulic clutches of gearbox, corresponding to their maximum permissible wear, were determined at the stand. The diagram of the stand for testing the hydraulic clutches of the gearbox is presented. The test results are obtained.*

**Key words:** threshold value, hydraulic clutch, tractor, friction work, friction discs, on-board diagnostics.

### Введение

Сложившийся в прошлом столетии и получивший наибольшее распространение регламентный характер контрольно-диагностических работ не может обеспечить поддержания требуемого уровня технического состояния колесных и гусеничных машин, так как не учитывает индивидуальные особенности каждой машины, условия ее эксплуатации, технического обслуживания и проведенные ранее ремонтные воздействия. Внешние средства диагностирования при их эпизодическом использовании также не позволяют своевременно выявлять постепенные и внезапные отказы. Именно стремление снять указанные ограничения стимулировало разработку бортовых систем диагностирования ко-

лесных и гусеничных машин [1].

Одна из основных задач, стоящих перед экономикой Республики Беларусь в ходе ее радикального реформирования и интегрирования в мировую систему хозяйствования, заключается в повышении технического уровня и обеспечении конкурентоспособности выпускаемой продукции и, в частности, тракторов.

Эта задача может быть решена путем внедрения в конструкцию трактора бортовых систем диагностирования силового агрегата и, в частности, коробок передач с гидropоджимными муфтами.

Разработка методов бортового диагностирования технического состояния коробок передач с гидropоджимными муфтами предполагает определение такого диагностического параметра как пороговое значение работы трения фрикционных дисков для каждой передачи.

В результате проведенных стендовых испытаний гидropоджимных муфт коробки передач трактора «Беларус» эти пороговые значения работы трения для каждой передачи были определены экспериментальным путем.

### Основная часть

Общая структурная схема микропроцессорной системы бортового диагностирования технического состояния гидромеханических коробок передач представлена на рис. 1. Она является составной частью (модулем) комплексной управляющей, диагностической и информационной системы колесных и гусеничных машин [2].

Процесс бортового диагностирования технического состояния гидромеханических коробок передач начинается с проверки выражения:

$$P_{\text{кп}} = P_{\text{кп.ном}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{кп}}$  – текущее значение информационного сигнала давления масла в гидросистеме коробки передач;  $P_{\text{кп.ном}}$  – значение информационного сигнала, соответствующего номинальному давлению масла в гидросистеме коробки передач.

Если выражение (1) не выполняется, то производится локализация неисправности, предусматривающая следующие проверки:

$$P_{\text{кп}} < P_{\text{кп.ном}}, \quad (2)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Низкое давление масла в гидросистеме коробки передач»;

$$P_{\text{кп}} > P_{\text{кп.ном}}, \quad (3)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Высокое давление масла в гидросистеме коробки передач».

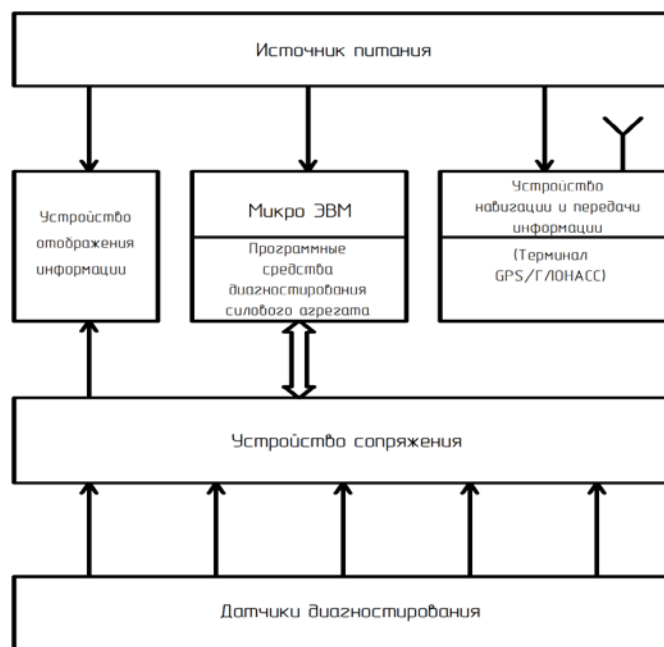


Рис. 1. Структурная схема микропроцессорной системы бортового диагностирования технического состояния гидромеханических коробок передач

Рассмотрим метод бортового диагностирования технического состояния гидropоджимных муфт коробки передач в части оценки степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков, используя при этом работу трения как интегральный показатель. Предположительно износ

фрикционных дисков пропорционален работе трения.

Этот метод диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач отличается от традиционных, основанных на непосредственном измерении толщины пакета фрикционных дисков [3].

Диагностирование степени износа и величины остаточного ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач осуществляется микропроцессорной системой по определенному алгоритму путем обработки следующей математической зависимости:

$$L = \int_0^t M \left| (\omega_g - \omega_e) \right| dt, \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{\sum_{p=1}^n L_p}{L_0} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где  $L$  – текущее значение работы трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты;  $\omega_g, \omega_e$  – текущие значения угловых скоростей ведущих и ведомых дисков гидроподжимной муфты коробки передач соответственно;  $t$  – время трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты;  $M$  – момент трения фрикционных дисков гидроподжимной муфты;  $\Delta$  – степень износа фрикционных дисков гидроподжимной муфты;  $p = 1, 2 \dots, n, n$  – количество включений и выключений гидроподжимной муфты;  $L_0$  – числовое значение работы трения, соответствующее предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимной муфты (определяется экспериментально).

При достижении гидроподжимной муфтой значения работы трения, соответствующего предельно допустимому износу фрикционных дисков, на устройстве отображения информации (дисплее) появляется сигнал о необходимости замены данной муфты.

Диагностирование пробуксовки гидроподжимных муфт коробки передач начинается с проверки системы уравнений вида:

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{кп}} = P_{\text{кп.ном}} \\ \omega_g = \omega_e \end{array} \right\}. \quad (6)$$

Если какое-либо из условий выражения (6) не выполняется, то проводится локализация неисправности, предусматривающая следующие проверки:

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{кп}} < P_{\text{кп.ном}} \\ \omega_g > \omega_e \end{array} \right\}, \quad (7)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Пробуксовка гидроподжимной муфты в тяговом режиме двигателя»;

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{кп}} < P_{\text{кп.ном}} \\ \omega_g < \omega_e \end{array} \right\}, \quad (8)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Пробуксовка гидроподжимной муфты в режиме торможения двигателем».

Объектом испытаний являлась коробка передач с гидроподжимными муфтами. Целью испытаний являлось экспериментальное определение на стенде порогового значения работы трения фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, соответствующего их предельно допустимому износу, и применение в дальнейшем работы трения в качестве интегрального показателя степени износа фрикционных дисков при бортовом диагностировании технического состояния гидроподжимных муфт коробок передач тракторов [4].

Стендовые испытания проводились в лаборатории КИБ шасси корпуса ускоренных испытаний на стенде с поглощением мощности. Схема стенда приведена на рис. 2.

В качестве привода использовалась балансирующая машина 1DS1036 мощностью 236 кВт. В качестве нагрузителя использовался гидротормоз HS – 250 с поглощаемой мощностью 250 кВт. Коробка передач была заправлена маслом М10Г<sub>2</sub> ГОСТ 8581 – 78.

При записи параметров использовались усилитель KWS21A и контроллер – регистратор в комплекте с персональным компьютером. Интервал опроса параметров при записи процессов составлял 0,02 с.

Переключение передач осуществлялось пультом управления ПУ – 3М, в котором было установлено время задержки для перекрытия передач при переключениях 0,3 с.

Объем испытаний оговаривался заданием на испытания и составлял 30000 циклов переключений. Испытания представляли собой периодическое переключение в коробке передач с высшей передачи на низшую и обратно.

После окончания испытаний производилась разборка коробки передач для обмера толщины фрикционных дисков и оценки их состояния. Коробка передач отработала полный объем испытаний без замечаний, сохранив после испытаний свою работоспособность.

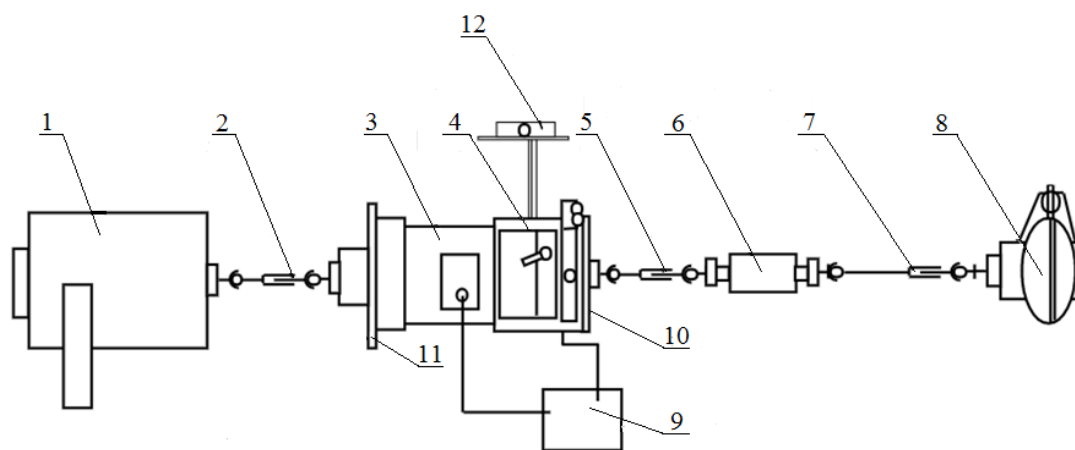


Рис. 2. Схема стэнда для испытаний коробки передач:

1 – машина балансирующая; 2, 5, 7 – валы карданные; 3 – корпус муфты сцепления; 4 – коробка передач; 6 – датчик вращающего момента; 8 – нагрузчитель (тормоз гидравлический); 9 – бак системы охлаждения; 10, 11 – стойки задняя и передняя; 12 – пульт управления

При включении гидроподжимных муфт на стэнде на заданных режимах нагружения поглощалась работа трения в пределах 149...150 кДж.

Суммарное значение работы трения за период испытаний (за 30000 циклов включений) для каждой из четырех гидроподжимных муфт

$$L = 150 \cdot 30000 = 4500000 \text{ кДж.}$$

По окончании испытаний была произведена разборка коробки передач для оценки состояния дисков гидроподжимных муфт и замера их толщины. Видимых повреждений ведомых и ведущих дисков при осмотре не отмечено [5].

По результатам испытаний, приведенных в таблице, средний износ ведомых дисков гидроподжимных муфт составил:

- первая передача  $H_1 = 0,05$  мм;
- вторая передача  $H_2 = 0,16$  мм;
- третья передача  $H_3 = 0,21$  мм;
- четвертая передача  $H_4 = 0,25$  мм.

#### Результаты обмера дисков гидроподжимных муфт коробки передач после испытаний

| Фрикционная муфта | Толщина ведомых дисков, мм ( $t_{ном.} = 3,15$ ) |      |      |      |
|-------------------|--|------|------|------|
|                   | № 1  | № 2  | № 3  | № 4  |
| 1 передача        | 3,07   | 3,12 | 3,12 | 3,09 |
| 2 передача        | 2,98   | 2,91 | 3,04 | 3,04 |
| 3 передача        | 3,08   | 2,79 | 2,93 | 2,98 |
| 4 передача        | 3,0  | 2,8  | 2,83 | 2,98 |

Из анализа результатов испытаний следует, что средняя работа трения на единицу линейного износа (на 1 мм) фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач составляет:

- первая передача  $L_1 = L : H_1 = 4500000 : 0,05 = 90000000$  кДж/мм;
- вторая передача  $L_2 = L : H_2 = 4500000 : 0,16 = 28125000$  кДж/мм;
- третья передача  $L_3 = L : H_3 = 4500000 : 0,21 = 21428571$  кДж/мм;
- четвертая передача  $L_4 = L : H_4 = 4500000 : 0,25 = 18000000$  кДж/мм.

Учитывая тот факт, что номинальное значение толщины ведомого диска составляет 3,15 мм, а их замена производится, если толщина фрикционного диска меньше допустимого предела, равного 2 мм, т.е. линейный износ диска достигает предельного износа  $H_{max} = 1,15$  мм [6], то пороговое значение

работы трения соответствующее предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимных муфт составило:

- первая передача  $L_{01} = L_1 \cdot H_{max} = 90000000 \cdot 1,15 = 103500000 \text{ кДж};$
- вторая передача  $L_{02} = L_2 \cdot H_{max} = 28125000 \cdot 1,15 = 32343750 \text{ кДж};$
- третья передача  $L_{03} = L_3 \cdot H_{max} = 21428571 \cdot 1,15 = 24642857 \text{ кДж};$
- четвертая передача  $L_{04} = L_4 \cdot H_{max} = 18000000 \cdot 1,15 = 20700000 \text{ кДж}.$

### **Заключение**

Использование работы трения, как интегрального показателя при бортовом диагностировании степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач, позволит оперативно в любой период эксплуатации колесных и гусеничных машин определять остаточный ресурс фрикционных дисков, прогнозировать время их замены, а также перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности, и, за счет этого, исключить, с одной стороны, возможность эксплуатации технически неисправного объекта, а с другой – необоснованные материальные и трудовые затраты при его преждевременном техническом обслуживании.

В результате проведенных стендовых испытаний гидроподжимных муфт коробки передач, экспериментальным путем определены пороговые значения работ трения фрикционных дисков для каждой передачи, соответствующие их предельно допустимым износам, позволяющие прогнозировать выработку ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, используя при этом интегральный показатель работы трения при их бортовом диагностировании.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Технические средства диагностирования : справочник / В. В. Ключев [и др.] ; под общ. ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
2. Волков, А. А. О методах идентификации и диагностики в сложных системах / А. А. Волков, Л. Н. Дроботенко // Вопросы технической диагностики. – 2013. – № 10. – С. 155–156.
3. Мороз, С. М. Математическая модель объекта бортового контроля и диагностики автомобилей / С. М. Мороз. – Тр. МАДИ, 1976. – Вып. 115. – С. 79–81.
4. Пуховой, А. А. Тракторы. Устройство. Техническое обслуживание. Ремонт. «БЕЛАРУС» серия 1000-2000: учебное пособие / А. А. Пуховой, И. Н. Шило. – Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2012 – 779 с.
5. Карпиевич, Ю. Д. Бортовой мониторинг технического состояния силовых агрегатов колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич, А. Г. Баханович, И. И. Бондаренко // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 5.– С. 427–434.
6. Пуховой, А. А. Тракторы. Устройство. Техническое обслуживание. Ремонт. «Беларус» серия 1000-2000: учебное пособие / А. А. Пуховой, И. Н. Шило. – Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2012 – 779 с.