УДК 629.113-592.004.58

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-59-65

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАБОТЫ ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ ДИСКОВ ГИДРОПОДЖИМНЫХ МУФТ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС»¹*Бондаренко Ирина Иосифовна*¹*Сергеев Кирилл Леонидович*²*Родионов Юрий Викторович*²*Никитин Дмитрий Вячеславович*¹*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»*²*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»*

Реферат. При увеличении энергонасыщенности тракторов и рабочих скоростей тракторных агрегатов интенсифицируются рабочие процессы, протекающие во фрикционных муфтах. Экспериментально определяли на стенде пороговые значения работы трения фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач. Испытания представляли собой периодическое переключение в коробке передач с высшей передачи на низшую и обратно. В процессе испытаний были проведены записи осциллограмм процессов переключения. Коробка передач отработала полный объем испытаний в 30000 циклов включений без замечаний, сохранив после испытаний свою работоспособность. После окончания испытаний производилась разборка коробки передач для обмера толщины фрикционных дисков и оценки их состояния. Из анализа результатов испытаний получено, что средняя работа трения на единицу линейного износа (на 1 мм) фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач составляет: первая передача - 90000000 кДж/мм; вторая передача - 28125000 кДж/мм; третья передача - 21428571 кДж/мм; четвертая передача - 18000000 кДж/мм. Номинальное значение толщины ведомого диска составляет 3,15 мм, а их замена производится если толщина фрикционного диска меньше допустимого предела, равного 2 мм. Экспериментальным путем определены пороговые значения работ трения фрикционных дисков для каждой передачи (первая передача - 103500000 кДж; вторая передача - 32343750 кДж; третья передача - 24642857 кДж; четвертая передача - 20700000 кДж), которые соответствуют их предельно допустимым величинам износа и позволяют прогнозировать выработку ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, используя при этом интегральный показатель работы трения при их бортовом диагностировании.

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

THRESHOLD VALUES DETERMINATION OF FRICTION OPERATIONS OF HYDRAULIC CLUTCH FRICTION DISCS FOR GEARBOX COUPLINGS OF THE TRACTOR «BELARUS»¹*Bondarenko Irina*¹*Sergeev Kirill*²*Rodionov Yuri*²*Nikitin Dmitry*¹*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"*²*FSBEI HE "Tambov State Technical University"*

Abstract. Working processes occurring in friction clutches are intensified with an increase in the energy saturation of tractors and the operating speeds of tractor units. The threshold values of the friction work of the friction discs of the hydraulic clutches of the gearbox were experimentally determined at the stand. The tests consisted of periodic shifting in a gearbox from high to low and vice versa. Recordings of oscillograms of the switching processes were carried out during the tests. The gearbox has completed the full scope of tests in 30,000 switching cycles without any remarks, retaining its performance after testing. Disassembly of the gearbox for measuring the thickness of the friction discs and assessing their condition was carried out after the end of the tests. It is found that the average work

of friction per unit of linear wear (per 1 mm) of the friction discs of the hydraulic clutches of the gearbox is: first gear - 90,000,000 kJ / mm; second gear - 28125000 kJ / mm; third gear - 21428571 kJ / mm; fourth gear - 18,000,000 kJ / mm from analysis of test results. The nominal value of the thickness of the driven disc is 3.15 mm, and they are replaced if the thickness of the friction disc is less than the allowable limit of 2 mm. Threshold values of friction work of friction discs for each gear were experimentally determined (first gear - 103500000 kJ; second gear - 32343750 kJ; third gear - 24642857 kJ; fourth gear - 20700000 kJ), which correspond to their maximum allowable wear values and allow predicting resource development of the friction discs of the gearbox hydraulic clutches, using the integral indicator of the friction work during their on-board diagnostics.

Keywords: threshold value, hydraulic press clutch, tractor, friction operation, friction discs, on-board diagnostics.

Введение. Одна из основных актуальных задач, стоящая перед экономикой Республики Беларусь в ходе ее радикального реформирования и интегрирования в мировую систему хозяйствования, заключается в повышении технического уровня и обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции и, в частности, тракторов. Эта задача может быть решена путем внедрения в конструкцию трактора бортовых систем диагностирования солового агрегата и, в частности, коробок передач с гидроподжимными муфтами. Но разработка методов бортового диагностирования технического состояния коробок передач с гидроподжимными муфтами предполагает определение такого диагностического параметра как пороговое значение работ трения фрикционных дисков для каждой передачи [2, 3]. В результате проведенных стендовых испытаний гидроподжимных муфт коробки передач трактора «Беларус» эти пороговые значения работ трения для каждой передачи были определены экспериментальным путем [4].

Объектом испытаний являлась коробка передач с гидроподжимными муфтами. Конструкция коробки передач приведена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Конструкция коробки передач

Цель испытаний заключалась в экспериментальном выявлении на стенде порогового значения работы трения фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач. Данное значение будет соответствовать величине предельно допустимого износа фрикционных дисков. В дальнейшем работа силы трения будет использоваться как интегральный показатель степени их

износа при проведении бортового диагностирования технического состояния гидроподжимных муфт коробок передач тракторов.

Материалы и методы. Стендовые испытания проводились в лаборатории КИБ шасси корпуса ускоренных испытаний ОАО «Минский тракторный завод» на стенде с поглощением мощности. Схема стенда приведена на рисунке 2.

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

Рисунок 2 – Схема стенда для испытаний коробки передач

Объем испытаний оговаривался заданием на испытания и составлял 30000 циклов включений. 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.

Результаты и их обсуждение. Коробка передач отработала полный объем испытаний без замечаний, сохранив после испытаний свою работоспособность.

В процессе испытаний были проведены записи осциллограмм (рисунки 3–8) процессов переключения передач в коробке передач.

Рисунок 3 – Процесс переключения передач по схеме 1 → 2

Рисунок 4 – Процесс переключения передач по схеме 2 → 3

Рисунок 5 – Процесс переключения передач по схеме 3 → 4

Рисунок 6 – Процесс переключения передач по схеме 4 → 3

Рисунок 7 – Процесс переключения передач по схеме 3 → 2

Рисунок 8 – Процесс переключения передач по схеме 2 → 1

Обозначения, используемые на осциллограммах:

– p_1, p_2, p_3, p_4 – давления в каналах управления гидроподжимными муфтами (на выходе из распределителя), МПа;

– $T_{\text{вых. в.}}, T_{\text{б.м.}}$ – вращающий момент на выходном валу коробки передач и на валу балансирующей машины соответственно, кН·м;

– $n_t \cdot 10^3, n_{\text{б.м.}}$ – частоты вращения вала тормоза (выходного вала коробки передач) и вала балансирующей машины соответственно, об/мин.

При включении гидроподжимных муфт на стенде 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. По результатам испытаний приведенных в таблице 1 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.

Таблица 1 – 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	3,00	2,80	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:

$$\begin{aligned}
 &\text{– первая передача } L_1 = \frac{L}{H_1} = \frac{4500000}{0,05} = 90000000 \frac{\text{кДж}}{\text{мм}}; \\
 &\text{– вторая передача } L_2 = \frac{L}{H_2} = \frac{4500000}{0,16} = 28125000 \frac{\text{кДж}}{\text{мм}}; \\
 &\text{– третья передача } L_3 = \frac{L}{H_3} = \frac{4500000}{0,21} = 21428571 \frac{\text{кДж}}{\text{мм}}; \\
 &\text{– четвертая передача } L_4 = \frac{L}{H_4} = \frac{4500000}{0,25} = 18000000 \frac{\text{кДж}}{\text{мм}}.
 \end{aligned}$$

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 [5], то пороговая величина работы трения, которая соответствует предельно допустимому износу фрикционных дисков гидроподжимных муфт составляет:

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

Заключение. В результате проведенных стендовых испытаний гидроподжимных муфт коробки передач, экспериментальным путем определены пороговые значения работ трения фрикционных дисков для каждой передачи (первая передача – $L_{01} = 103500000$ кДж; вторая передача – $L_{02} = 32343750$ кДж; третья передача – $L_{03} = 24642857$ кДж; четвертая передача – $L_{04} = 20700000$ кДж), которые соответствуют их предельно допустимым величинам износа и позволяют прогнозировать выработку ресурса фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробки передач, используя при этом интегральный показатель работы трения при их бортовом диагностировании.

Список литературы

1. Карпиевич Ю.Д., Ловкис В.Б., Бондаренко И.И. Работа трения как интегральный показатель степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач // Наука и техника. – 2014. – № 2. – С. 32–35.
2. Карпиевич Ю.Д., Жуковский Ю.М., Бондаренко И.И., Мальцев Н.Г. Метод диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач колесных и гусеничных машин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–30 ноября 2013 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.] ; редкол.: Ю.Д. Карпиевич [и др.]. – Минск, 2013. – С. 66–70.
3. Карпиевич Ю.Д., Бондаренко И.И. Работа трения гидроподжимных муфт коробок передач // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь : матеріали IV Всеукраїнської наук.-практ. конф., Житомир, 28–29 березня 2018 р. / Житом. агр. кол.; оргком.: М. М. Тимошенко [и др.]. – Житомир, 2018. – С. 81–83.

4. Бортовое диагностирование степени износа фрикционных дисков гидropodzhimных муфт коробки передач тракторов «Беларус» / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, Т. М. Чумак, М. А. Каптур, Н. Н. Казеко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч. – практ. конф., Минск, 21–23 ноября 2018 г. / Белорус. госуд. агр. техн. ун-т [и др.]; редкол.: В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск, 2018. – С. 257–260.

5. Пуховой А.А., Шило И.Н. Тракторы. Устройство. Техническое обслуживание. Ремонт. «БЕЛАРУС» серия 1000–2000: учебное пособие – Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2012 – 779 с.

References

1. Karpievich Ju.D., Lovkis V.B., Bondarenko I.I. Rabota trenija kak integral'nyj pokazatel' stepeni iznosa frikcionnyh diskov gidropodzhimnyh muft korobok peredach // Nauka i tehnika. – 2014. – № 2. – С. 32–35.

2. Karpievich Ju.D., Zhukovskij Ju.M., Bondarenko I.I., Mal'cev N.G. Metod diagnostirovaniya stepeni iznosa frikcionnyh diskov gidropodzhimnyh muft korobok peredach kolesnyh i gusenichnyh mashin // Nauchno-tehnicheskij progress v sel'skohozjajstvennom proizvodstve : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 28–30 nojabrja 2013 g. / Belorus. gosud. agr. tehn. un-t [i dr.]; redkol.: Ju.D. Karpievich [i dr.]. – Minsk, 2013. – С. 66–70.

3. Karpievich Ju.D., Bondarenko I.I. Rabota trenija gidropodzhimnyh muft korobok peredach // Perspektivi i tendencii rozvitku konstrukcij ta tehničnogo servisu sil'skogospodars'kih mashin i znarjad' : materialy IV Vseukrains'koi nauk.-prakt. konf., Zhitomir, 28–29 bereznja 2018 r. / Zhitom. agr. kol.; orgkom.: M. M. Timoshenko [i dr.]. – Zhitomir, 2018. – С. 81–83.

4. Bortovoe diagnostirovanie stepeni iznosa frikcionnyh diskov gidropodzhimnyh muft korobki peredach traktorov «Belarus» / Ju. D. Karpievich, I. I. Bondarenko, T. M. Chumak, M. A. Kaptur, N. N. Kazeko // Tehnicheskoe obespechenie innovacionnyh tehnologij v sel'skom hozjajstve : sb. nauch. st. Mezhdunar. nauch. – prakt. konf., Minsk, 21–23 nojabrja 2018 g. / Belorus. gosud. agr. tehn. un-t [i dr.]; redkol.: V. P. Chebotarev [i dr.]. – Minsk, 2018. – С. 257–260.

5. Puhovoj A.A., Shilo I.N. Traktory. Ustrojstvo. Tehnicheskoe obsluzhivanie. Remont. «BELARUS» serija 1000–2000: uchebnoe posobie – Astana: KATU im. S. Sejfullina, 2012 – 779 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Бондаренко Ирина Иосифовна – старший преподаватель Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Республика Беларусь, г. Минск, e-mail: irina-mi-k@yandex.ru.

Сергеев Кирилл Леонидович – старший преподаватель Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Республика Беларусь, г. Минск, e-mail: 13nuke@mail.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: dmitryndv@gmail.com.

Author credentials

Affiliations

Bondarenko Irina – Senior lecturer of Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, Republic of Belarus, Minsk, e-mail: irina-mi-k@yandex.ru.

Sergeev Kirill – Senior lecturer of Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, Republic of Belarus, Minsk, e-mail: 13nuke@mail.ru.

Rodionov Yuri – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: dmitryndv@gmail.com.

Поступила в редакцию (Received): 21.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2020