



ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ТЕПЛОЙ ДИАГНОСТИКИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

✉¹Латынин Андрей Валерьевич

к.т.н., ст. преп. кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, заведующий научной лабораторией автомобилей Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ e-mail: lat-07@mail.ru

Швырёв Андрей Николаевич

к.т.н., доцент, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова РФ

Кондратенко Ирина Юрьевна

к.т.н., доцент кафедры электротехники, теплотехники и гидравлики Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова РФ

Андрейщева Ирина Сергеевна

магистр Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова РФ

Аннотация.

Добыча леса на территории РФ осуществляется в основном лесозаготовительными техническими комплексами, выполненными на базе машин, имеющих гидравлический привод. В свою очередь, из известных на сегодня типов гидродинамической трансмиссии, наиболее совершенной является гидростатическая трансмиссия. Несмотря на исключительную надежность такой техники гидродинамическая трансмиссия, в том числе гидростатическая, имеет большое число отказов. В число основных отказов гидростатической трансмиссии входят неисправности гидромотора привода колес. Поэтому целью данного исследования предлагается применение метода тепловой

FEATURES OF THERMAL DIAGNOSIS METHOD FOR HYDROSTATIC TRANSMISSION OF FOREST MACHINES

✉¹ Latynin Andrey Valer'evich

Ph. D., Senior Lecturer, department maintenance and operation of machines, Head of the Scientific Laboratory of Automobiles, Voronezh State Forestry Engineering University of G.F. e-mail: lat-07@mail.ru

Shvyriov Andrey Nikolaevich Nikolaevich

Ph. D., Associate Professor, Associate Professor production, department maintenance and operation of machines, Voronezh State Forestry Engineering University of G.F.

Kondratenko Irina Yurievna

Ph. D., Associate Professor, department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Hydraulics, Voronezh State Forestry Engineering University of G.F.

Andreisheva Irina Sergeevna

master degree, Voronezh State Forestry Engineering University of G.F.

Annotation.

The extraction of timber in the territory of the Russian Federation is carried out mainly by logging technical complexes, made on the basis of machines with a hydraulic drive. In turn, of the currently known types of hydrodynamic transmission, the most advanced is the hydrostatic transmission. Despite the exceptional reliability of such equipment, hydrodynamic transmission, including hydrostatic transmission, has a large number of failures. The main hydrostatic transmission failures include malfunctions of the wheel drive hydraulic motor. Therefore, the purpose of this study is to use the method of thermal diagnostics to reduce

диагностики для сокращения числа отказов гидродинамической трансмиссии, в том числе гидростатической трансмиссии.

Ключевые слова: ГИДРОСТАТИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ, ТЕПЛОВАЯ ДИАГНОСТИКА, ДЕФЕКТ, ИЗНОС, ТЕМПЕРАТУРА, ТРАНСМИССИОННОЕ МАЛО, НАДЕЖНОСТЬ

the number of failures in hydrodynamic transmission, including hydrostatic transmission.

Keywords: HYDROSTATIC TRANSMISSION, THERMAL DIAGNOSTICS, DEFECT, WEAR, TEMPERATURE, TRANSMISSION LOW, RELIABILITY

¹Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В настоящее время добыча древесины во всем мире ведется исключительно механизировано. При этом на лесоразработках количество ручного труда сокращается, а степень механизации постоянно увеличивается. Но с увеличением степени механизации работ на лесосеках увеличивается и сложность техники, а соответственно, неизбежно возрастает число отказов техники. Такому положению вещей способствуют тяжелые условия работы и полное отсутствие дорог. Поэтому инженерами всех стран мира приняты технические решения создания лесозаготовительных технических комплексов на базе тракторов различных типов конструкций. Наибольшее распространение получили колесные трактора [1-5].

Поскольку особенности эксплуатации техники такого типа зачастую связано с большими механическими нагрузками и малыми скоростями перемещения транспортного средства, наиболее оптимальным техническим решением стало использование лесозаготовительных технических комплексов на базе тракторов с гидростатической трансмиссией. Гидростатическая трансмиссия передает крутящий момент от двигателя внутреннего сгорания к колесам через гидронасос посредством перенаправления рабочей жидкости к гидромоторам колес. Использование техники с таким видом привода позволяет обеспечивать большие передаточные числа. Также для гидростатической трансмиссии характерна особенность не сопротивляться пробуксовке колес машины на вязком грунте, а при езде вперед-назад обеспечивать плавность и прямолинейность движения. Даже в таких случаях, когда манипулятор машины максимально нагружен и находится в нижней точке, транспортное средство может медленно перемещаться вперед не глохнув, что особенно ценно при работе на лесосеках. Пример компоновки трансмиссии лесозаготовительных комплексов на базе колесных машин с гидростатической трансмиссией и пример компоновки лесозаготовительных комплексов на базе колесных машин с гидростатической трансмиссией представлен на рисунке 1.

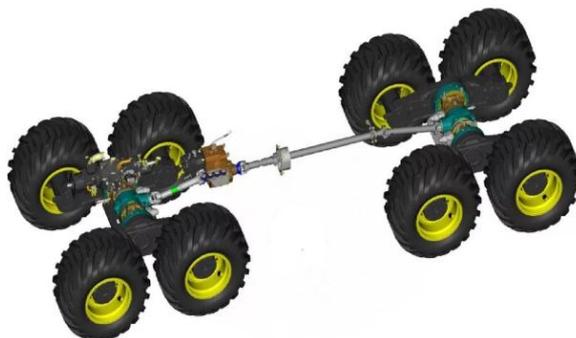


Рисунок 1 – Пример компоновки трансмиссии лесозаготовительных комплексов на базе колесных машин с гидростатической трансмиссией

Гидростатическая трансмиссия позволяет достичь очень точного перемещения машины при высокой плавности хода и обеспечить бесступенчатое регулирование частоты вращения рабочих органов. Оптимальное распределение мощности между исполнительными механизмами и приводом достигается при помощи специальных электронных систем и электропропорционального управления. Такие решения позволяют ограничивать нагрузку двигателя внутреннего сгорания машины и снизить расход топлива. При работе таких машин даже на самых низких скоростях достигается максимальное использование мощности двигателя. Однако, любая конструкция или техническое решение, независимо от числа достоинств, имеет и свои недостатки. Гидростатическая передача вследствие превышения потерь на гидравлическое трение в сравнении с потерями на трение в механических передачах имеет меньший КПД. Однако, вследствие более высокой скорости переключения режимов и экономичности гидростатическая передача имеет преимущества. Это обусловлено тем, что в момент переключения передач на механической трансмиссии приходится нажимать и отпускать педаль газа. В такие моменты происходит потеря мощности за счет кратковременного отключения сцепления, необходимого для передачи крутящего момента, получаемого от двигателя, на трансмиссию, при этом перемещение машины осуществляется неравномерно рывками. Все это неизбежно приводит к снижению скорости перемещения и повышенному расходу топлива. Гидростатическая трансмиссия таких недостатков лишена. При работе машин, использующих гидростатическую трансмиссию процесс изменения скоростей, происходит плавно, без рывков, следовательно двигатель не испытывает потерь мощности, что приводит к экономии топлива и повышению долговечности системы в целом [4, 5].

Несмотря на высокую степень надежности машин с гидростатической трансмиссией они рано или поздно выходят из строя. Основные и наиболее часто возможные неисправности и возможности их устранения, на примере ГСТ-90 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные неисправности гидростатической трансмиссии (ГСТ)

Проявление повреждений и отказов (ГСТ-90)	Возможная причина неисправностей (ГСТ-90)	Общие указания по устранению повреждений (ГСТ-90)
Шум, биение	Воздух в насосе	Низкий уровень масла в баке – дозаправить
	Трубопроводы недостаточно изолированы от несущих элементов конструкции	Эластичными прокладками изолировать места крепежа трубопроводов
	Внутренние повреждения насоса	Заменить насос ГСТ
Насос ГСТ не работает ни в одном из направлений	Низкий уровень масла в баке	Долить в гидросистему масла
	Тяга механизма управления гидрораспределителя повреждена	Заменить тягу и проверить наличие шплинта, который влияет на механизм управления работой гидрораспределителя
	Отказало устройство соединения между двигателем и насосом	Заменить соединение
	Повреждения внутри насоса ГСТ	Заменить насос или произвести капитальный ремонт ГСТ, с восстановлением всех первоначальных заводских зазоров
	Повреждение электрической цепи (при электрогидравлическом управлении)	Прозвонить цепь, устранить неисправность

Продолжение таблицы 1

Проявление повреждений и отказов (ГСТ-90)	Возможная причина неисправностей (ГСТ-90)	Общие указания по устранению повреждений (ГСТ-90)
Насос ГСТ не работает ни в одном из направлений	Малое напряжение, подаваемое на электрогидрораспределитель (при электрогидравлическом управлении)	Проверить величину напряжения на соответствие
	Электрораспределитель ГСТ сломан	Произвести замену
	Вышел из строя механизм управления гидрораспределителя	Заменить механизм управления
	Повреждена электрическая цепь (при электрическом управлении)	Проверить цепь, устранить неисправности
	Малое напряжение, подаваемое на электрогидрораспределитель (при электрическом управлении)	Проверить величину напряжения на соответствие
	Электрораспределитель сломан	Заменить электрораспределитель
Машина не останавливается! Нулевое положение рычага трудно или невозможно определить	Повреждение управляющей тяги	Освободить управляющую тягу. Если при этом рычаг управления вернется в нулевое положение, значит, тяга установлена неправильно или ее заклинило
Насос ГСТ сильно перегревается	Низкий уровень масла в баке	Долить в гидросистему масла
	Засорение маслоохладителя	Поверхность маслоохладителя очистить
	Протекает масло через предохранительный клапан маслоохладителя	Повреждение и/или засорение клапана маслоохладителя. Снять клапан для чистки
	Засорение фильтра или трубопровода	Заменить фильтроэлемент, прочистить всасывающий трубопровод
	Потеря скорости и мощности в результате внутренней утечки жидкости	Заменить насос
Медленный разгон и малая скорость машины	Воздух в насосе	Низкий уровень масла в баке – дозаправить масло
	Внутренний износ насоса	Произвести капитальный ремонт ГСТ или заменить насос НП

2 Материал и методы

Гидростатическая трансмиссия имеет сложную конструкцию, и для проведения, качественного ремонта требуется не столько специальные навыки и технические знания, но и условия ремонтного цеха, где наличествует вся необходимая станочная база, для выполнения токарных, шлифовальных, сварочных и других работ. Поэтому с целью предотвращения поломок в процессе работы машин на лесосеке, где ремонт становится особенно дорогостоящим и продолжительным по времени, необходимо плановое ТО, ремонт или замена изношенных узлов. Особенно это касается узлов и механизмов гидросистемы. Для достижения поставленной цели предлагается метод тепловой диагностики гидромоторов [3].

Исходя из данных таблицы 1 видно, что главная причина неисправностей гидростатической трансмиссии – интенсивный износ. Своевременное техническое диагностирование в этом случае позволяет заметно сократить количество незапланированных простоев техники на ремонт, предупреждение аварийных ситуаций и поддержание максимальной работоспособности узлов и агрегатов. Сегодня в основном на лесозаготовках в процессе эксплуатации техническое состояние элементов гидростатической трансмиссии лесозаготовительных машин диагностируется органолептическими методами: внешним осмотром, на слух шумности работы и вибраций, осязанием по степени нагрева корпуса агрегата.

Поскольку рабочим телом в гидростатической трансмиссии является масло, то от температуры нагрева масла напрямую зависит нормальная работа лесозаготовительной техники и агрегатов рабочих органов. Как известно, трансмиссионное масло при повышении температуры теряет качество по смазывающей способности, что вызывает интенсивность изнашивания шестерен и подшипников. В условиях лесосеки, при полном отсутствии оборудования для должного обслуживания техники, определение степени нагрева узлов гидростатической трансмиссии происходит практически «вслепую» и не может считаться достоверным. Поэтому целью данного исследования предлагается применение метода тепловой диагностики для сокращения числа отказов гидродинамической трансмиссии, в том числе гидростатической трансмиссии [7-11].

Для проведения экспериментальных исследований используется эмиссионный спектральный анализ масла. Реализация в диагностировании фотометрической многоканальной системы МФС-7 дает возможность определить количественное значение механических примесей (металлов), являющимися продуктами износа деталей машин, а также абразивных частиц внешнего загрязнителя (в основном кремния), в составе трансмиссионных масел. Свойства масла анализируются по вязкости и примесям механических частиц. Определяется содержание металлических частиц, оценивается температура вспышки, находится количественное содержание воды.

Основные показатели, определяемые для оценки состояния редукторов – металлы (Fe, Cr, Ni, Cu, Si). Основное использование применительно для лесных машин в их гидростатических трансмиссиях нашли две марки трансмиссионных масел, а именно ТСП15К (при температуре окружающего воздуха до -30°C) и ТАП-15В (до -25°C) и [2], а, кроме них, также их зарубежные аналоги. Нормативы загрязнения в трансмиссионных маслах установлены ГОСТ-Том 23652-79 (табл. 2).

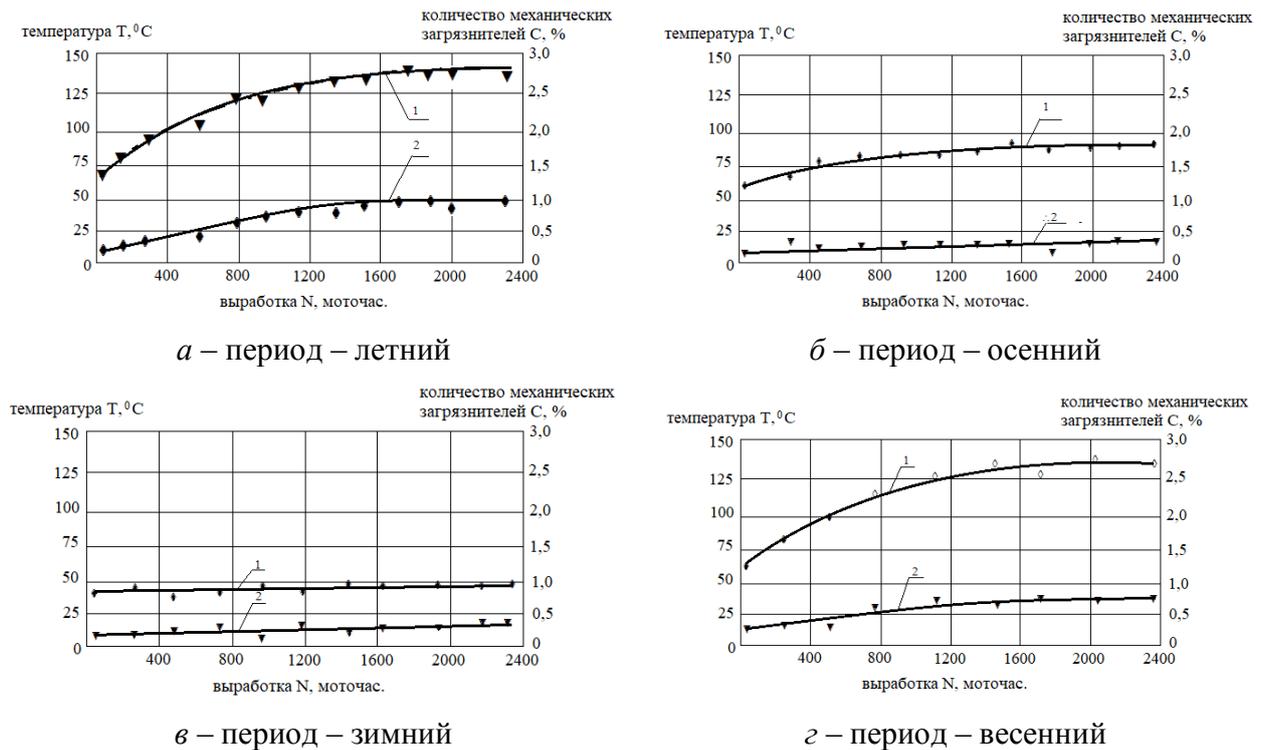
Таблица 2 – Нормативы предельного содержания загрязнений в трансмиссионном масле

Механический загрязнитель	Значения механических загрязнителей трансмиссионных масел установленных ГОСТ 23652-79	
	ТСП-15К	ТАП-15В
Железо	0,01	0,03
Кремний	0,01	0,03
Медь	0,001	0,001
Никель	0,01	0,03
Хром	0,01	0,03

Для выполнения эксперимента по определению посезонной зависимости изменения температуры масла в гидросистеме в силовые узлы гидростатической трансмиссии лесозаготовительной техники были установлены датчики температуры [7-9].

3 Результаты исследований

Результаты проведенного экспериментального исследования зависимости степени нагрева трансмиссионного масла, от количества механических загрязнителей и их накопления, в зависимости от выработки, представлены на рисунке 2 в виде следующих зависимостей.



1 – температура масла в гидроморе; 2 – концентрация механических примесей

Рисунок 2 – Зависимость степени нагрева трансмиссионного масла от количества механических загрязнителей и их накопление в зависимости от выработки

Отбор проб мала из гидросистемы производился в три этапа. В первый этап отбирались образцы проб масла гидросистемы при прохождении ТО-1, на втором этапе забор проб образцов масла производился перед его заменой, третьим этапом сбора внеплановых проб масла послужили подозрения возникновения значительного износа. Третий, внеплановый, отбор проб обуславливается стремлением к индивидуальному подходу обслуживания каждой единицы техники, с целью максимального сохранения ее работоспособности. Необходимость индивидуального обслуживания можно объяснить целым рядом изменений, которые масло претерпевает в процессе эксплуатации машины. Некоторые из таких изменений негативно сказываются на надежности и долговечности механизмов гидростатической трансмиссии. Несмотря на рекомендации заводов-изготовителей лесозаготовительной техники по замене масла в трансмиссии и установленные нормативы, изменение его свойств происходит индивидуально для каждой машины и условий его работы. Поэтому возникает необходимость оперативного контроля температуры масла в гидросистеме. Выбор температуры в качестве диагностического параметра гидростатической трансмиссии является наиболее простым и легко реализуемым. Регулярный контроль температуры трансмиссионного масла гидросистемы представляет собой форму мониторинга фактического технического состояния техники. Для проведения тепловой диагностики наиболее приемлемыми являются теп-

ловизионные средства измерения температуры. Поскольку практически все дефекты оборудования неизбежно приводят к увеличению температуры, метод тепловой диагностики позволяет их своевременно определить и принять своевременные меры по их устранению. Таким образом, тепловизионная диагностика позволяет выявлять повреждения уже на ранней стадии их возникновения, и дает возможность планировать проведение технического обслуживания и ремонтных работ [7-11]. Такое техническое решение позволяет устранять отказы техники еще до их возникновения (по результатам его диагностики).

Обсуждение и заключение

Применение метода своевременного с некоторым опережением вывода дефектных узлов из эксплуатации на основании результатов тепловой диагностики может значительно повысить надежность всей машины в целом, обеспечить ее безопасное эксплуатирование и существенно сократить потери ресурсов.

Список литературы

- 1 Тимошенко В. Я. и др. Диагностирование гидростатических трансмиссий. – 2009.
- 2 ГОСТ 23652-79 Масла трансмиссионные. Технические условия (с Изменениями № 1-9) / ГОСТ от 25 мая 1979 г. № 23652-79.
- 3 Жданко Д. А., Сушко Д. И., Загородских И. В. Оценка технического состояния агрегатов гидростатической трансмиссии по значению объемного КПД. – 2015.
- 4 Ильин А. В. Совершенствование конструктивных параметров гидростатической трансмиссии для колесных лесных машин : дис. – УГЛТУ, 2005.
- 5 Старостин Н. П., Кондаков А. С., Васильева М. А. Тепловая диагностика трения в радиальных подшипниках скольжения с учетом скорости и характера движения вала // Трение и износ. – 2012. – Т. 33. – №. 5. – С. 454-464.
- 6 Старостин Н. П., Кондаков А. С., Васильева М. А. Тепловая диагностика трения в подшипниках скольжения // Вестник машиностроения. – 2009. – №. 4. – С. 41-48.
- 7 Шаповалов В. В., Шаповалова Ю. В., Пустовой Ю. Е. Комплекс тепловой диагностики "астеко-01". Методы анализа тепловых аномалий тормозного оборудования грузовых вагонов // Транспорт-2015. – 2015. – С. 290-292.
- 8 Носов В. В. Диагностика машин и оборудования : Учебное пособие. 2-е изд. испр. и доп // СПб: Изд-во «Лань». – 2012.
- 9 Ролич О. Ч., Тарасенко В. Е., Балаш И. И. Интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя на базе беспроводной mesh-сети // Агропанорама. – 2019. – №. 6. – С. 38-41.
- 10 Вавилов В. П. Динамическая тепловая томография (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2006. – Т. 72. – №. 3. – С. 26-36.
- 11 Перспективы теплового метода дефектоскопии автотранспортных средств лесного комплекса / Латынин А. В., Швырёв А. Н., Никулин М. А., Смирнова Е. В. // В сборник : Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе перспективных технологий. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2021. – С. 45-48.

References

- 1 Timoshenko V. Ya. et al. Diagnosis of hydrostatic transmissions. – 2009.
- 2 GOST 23652-79 Transmission oils. Specifications (with Amendments № 1-9) / GOST of May 25, 1979 №. 23652-79.
- 3 Zhdanko D. A., Sushko D. I., Zagorodskikh I. V. Evaluation of the technical condition of hydrostatic transmission units by the value of volumetric efficiency. – 2015.

4 Ilyin A. V. Improving the design parameters of hydrostatic transmission for wheeled forestry machines : dis. – UGLTU, 2005.

5 N. P. Starostin, A. S. Kondakov, and M. A. Vasil'eva, "Thermal diagnostics of friction in radial plain bearings taking into account the speed and nature of the shaft movement," Friction and wear. – 2012. – Т. 33. – №. 5. – S. 454-464.

6 Starostin N. P., Kondakov A. S., Vasilyeva M. A. Thermal diagnostics of friction in plain bearings // Bulletin of mechanical engineering. – 2009. – №. 4. – S. 41-48.

7 Shapovalov V. V., Shapovalova Yu. V., Pustovoi Yu. E. Complex of thermal diagnostics "asteko-01". Methods for the analysis of thermal anomalies of the brake equipment of freight cars // Transport-2015. – 2015. – S. 290-292.

8 Nosov V. V. Diagnostics of machines and equipment : Textbook. 2nd ed. correct and additional // St. Petersburg: Publishing House "Lan. – 2012.

9 Rolich O. Ch., Tarasenko V. E., Balash I. I. Integrated system for vibroacoustic and thermal diagnostics of systems, components and mechanisms of a diesel engine based on a wireless mesh network // Agropanorama. – 2019. – №. 6. – S. 38-41.

10 Vavilov V. P. Dynamic thermal tomography (review) // Factory laboratory. material diagnostics. – 2006. – Т. 72. – №. 3. – S. 26-36.

11 Latynin A. V., Shvyryov A. N., Nikulin M. A., Smirnova E. V. Prospects for the thermal method of flaw detection of forestry vehicles. // In the collection: Problems of road transport operation and ways to solve them based on advanced technologies. materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Voronezh, 2021, – pp. 45-48.

© Латынин А.В., Швырев А.Н., Кондратенко И.Ю., Андрейцева И.С., 2021