

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

УДК 620.179.12

ОБОСНОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРАКТОРНОЙ ГИДРОНАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ

Володько Олег Станиславович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: volodko-75@mail.ru

Молофеев Максим Валерьевич, аспирант кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: max19899891@yandex.ru

Бухвалов Артем Сергеевич, канд. техн. наук, инженер учебно-научно-исследовательской лаборатории «Повышение надежности и эффективности механических систем», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: fleischwolf@list.ru

Бажутов Денис Николаевич, инженер учебно-научно-исследовательской лаборатории «Повышение надежности и эффективности механических систем», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: bazhutov@yandex.ru

Ключевые слова: гидросистема, критерий, присадка, износ, ресурс.

Цель исследований – обосновать рациональные диагностические критерии оценки работоспособности тракторной гидронавесной системы, учитывая особенности её основных элементов. Исходя из цели исследований были поставлены следующие задачи: аналитически оценить рациональные критерии и методы повышения работоспособности отдельных элементов гидронавесных систем и установить их взаимосвязь; методологически определить направление экспериментальной оценки диагностических критериев работоспособности гидросистемы с учетом улучшения трибологических параметров сопряжений в основных элементах системы. Обоснованы рациональные критерии оценки работоспособности элементов гидронавесной системы трактора МТЗ-1221.2. Установлено, что перспективным направлением повышения ресурса основных элементов тракторной гидронавесной системы является использование и центробежная очистка альтернативной растительно-минеральной смазочной композиции (РМСК) с комплексом присадок. Для оценки антифрикционных свойств РМСК проведены лабораторные исследования влияния графита (d , C) как антифрикционной присадки на изменение диаметра пятна износа на четырехшариковой машине трения МАСТ-1. В результате обработки результатов исследований получено уравнение регрессии и построена поверхность отклика, характеризующая влияния концентрации C и диаметра частиц d графита на изменение диаметра пятна износа D_i . Определены рациональные значения концентрации $C = 0,75\%$ по массе и размера частиц $d = 10-30$ мкм графита в составе смазочной композиции. Поисковыми исследованиями установлено повышение ресурса сопряжений основных элементов тракторной гидронавесной системы до 15-20% при использовании альтернативной РМСК на основе рапсового масла в комплексе с дозатором присадки

при соответствующем снижении экологической загрязненности почвы. Обоснована методология выбора основных диагностических критериев гидравлической системы.

Работоспособность тракторной гидравлической системы основана на её надежности или, по ГОСТ 27.002-89, свойстве объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Данное свойство обосновывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении, поддерживается в процессе эксплуатации и восстанавливается при ремонте машины, как технической системы в период её жизненного цикла.

В этот период можно выделить три вида источников воздействий энергетического характера, влияющих на техническое состояние системы:

- внутренние источники энергии, связанные с рабочими процессами, протекающими в системе и сопряжениях деталей;
- действие энергии окружающей среды (внешние условия эксплуатации, включая операторов по управлению, техническому обслуживанию и ремонту системы);
- потенциальную энергию элементов системы конструктивно-технологического характера, обеспечивающую достаточный уровень работоспособности технической системы.

Для ремонтируемых и неремонтируемых элементов, как правило, устанавливаются предельные состояния как отдельных элементов, так и технической системы в целом. Эти предельные состояния оцениваются диагностическими критериями работоспособности системы.

Актуальность исследования методов оценки уровня работоспособности гидравлических систем тракторов сельскохозяйственного назначения обусловлена расширением функций гидросистем, повышением нагрузочных и скоростных режимов работы, а также разнообразием и постоянным конструктивным совершенствованием основных элементов. Важное практическое значение имеет обоснование рациональных путей повышения работоспособности гидравлических систем улучшением трибологических параметров поверхностей трения ресурсопределяющих сопряжений [1, 2].

Цель исследований – обосновать рациональные диагностические критерии оценки работоспособности тракторной гидравлической системы, учитывающие особенности её основных элементов.

Задачи исследований – аналитически оценить рациональные критерии и методы повышения работоспособности отдельных элементов гидравлических систем и установить их взаимосвязь; методологически определить направление экспериментальной оценки диагностических критериев работоспособности гидросистемы с учетом улучшения трибологических параметров сопряжений в основных элементах системы.

Материалы и методы исследований. Для выбора и обоснования рациональных критериев, необходимых и достаточных для оценки работоспособности, была выбрана гидравлическая система трактора МТЗ-1221.2 Минского тракторного завода, включающая характерные функциональные элементы (рис. 1).

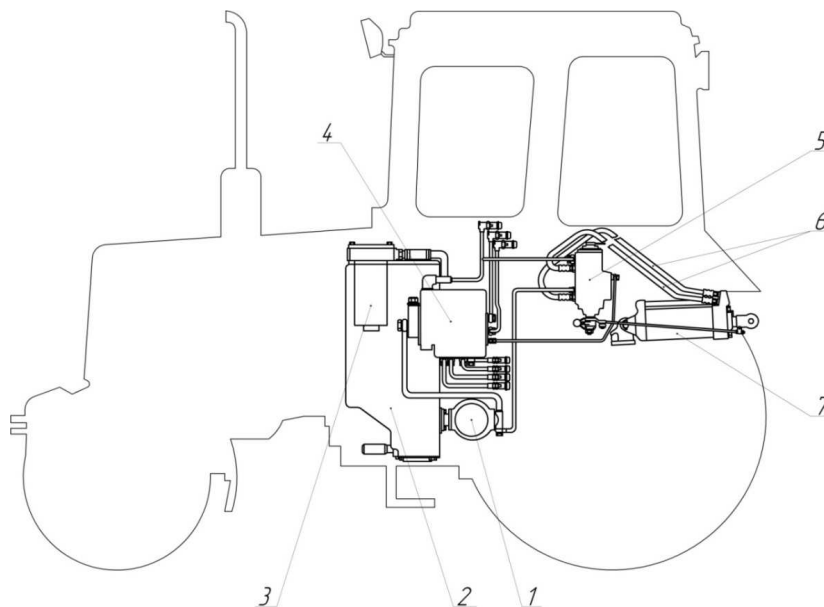


Рис. 1. Характерные функциональные элементы гидравлической системы трактора МТЗ-1221.2:

- 1 – масляный насос; 2 – маслобак; 3 – масляный фильтр; 4 – гидрораспределитель;
5 – силовой регулятор; 6 – соединительные шланги; 7 – гидроцилиндр

Работоспособность каждого из элементов гидронавесной системы в процессе эксплуатации характеризуется следующими приведенными критериями:

K_M – критерий рабочей жидкости гидронавесной системы, выполняющей одновременно функцию смазочного материала для обеспечения повышения ресурса узлов и сопряжений системы;

K_H – критерий насосных элементов гидросистемы, обеспечивающих поддержание необходимого рабочего давления в системе, оцениваемых таким показателем как коэффициент объемной подачи, выступающим критерием работоспособности [3];

K_P – критерий распределительно-регулирующих элементов, выполняющих функцию управления в гидросистеме гидравлическими потоками при помощи внешнего воздействия;

K_C – критерий силовых элементов гидравлической системы, обеспечивающих преобразование энергии потока гидравлической рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена;

$K_{Ш}$ – критерий соединительных элементов системы, обеспечивающих гидравлическую взаимосвязь всех составляющих тракторной гидросистемы.

Диагностический обобщенный критерий оценки работоспособности тракторной гидронавесной системы $K_{ГС}$ включает сумму всех приведенных критериев её элементов:

$$K_{ГС} = K_M \cdot b_M + K_H \cdot b_H + K_P \cdot b_P + K_C \cdot b_C + K_{Ш} \cdot b_{Ш}, \quad (1)$$

где $K_M, K_H, K_P, K_C, K_{Ш}$ – приведенные критерии оценки работоспособности элементов гидросистемы;

$b_M, b_H, b_P, b_C, b_{Ш}$ – коэффициенты уровня значимости каждого из приведенных критериев соответствующих элементов системы.

Методическое и экспериментальное обоснование диагностического обобщенного критерия работоспособности тракторной гидронавесной системы $K_{ГС}$ является перспективной задачей научных исследований в создании широкой базы экспериментальных данных особенностей и взаимосвязи приведенных критериев основных элементов системы. При этом выделяются две характерные группы приведенных критериев.

Диагностической основой критериев силовых K_C и соединительных $K_{Ш}$ является работоспособность корпусных деталей, манжет, сальников и других соединительных и уплотнительных средств. Уровень их значимости определяется своевременной заменой сменных деталей.

В основе работоспособности рабочей жидкости K_M , насосных K_H и распределительных K_P элементов лежат триботехнические процессы (трение, смазывание и изнашивание ресурсопределяющих деталей).

Уровень значимости критериев K_H и K_P определяется скоростью изнашивания рабочих поверхностей трения, что влияет на диагностический характер показателей данных элементов системы, где главным является изменение рабочего давления жидкости на разных участках системы.

Уровень значимости критерия K_M может быть оценен таким трибологическим параметром как диаметр пятна износа $D_{и}$, определяемый на машинах трения. Иными словами, приведенный критерий рабочей жидкости характеризуется напряженностью эксплуатационных условий и интенсивностью изменения ее физико-химических и трибологических свойств.

Рациональный уровень критерия K_M гидравлической рабочей жидкости в значительной мере определяется её трибологическими свойствами, характеризующими взаимосвязь критериев K_M, K_H, K_P . В гидравлических системах сельскохозяйственных тракторов масло выполняет не только роль смазочной среды в трибосопряжениях, но и роль рабочей жидкости, т.е. бифункциональную роль в работе гидросистемы. Это повышает требования к физико-химическим и трибологическим свойствам масел в аспекте улучшения параметров надежности и работоспособности гидравлической системы [4, 5].

Перспективными в данном направлении являются использование и центробежная очистка альтернативной растительно-минеральной смазочной композиции (РМСК) на основе рапсового масла с комплексом присадок [6, 7, 8].

Для расчёта практического использования обобщенного критерия работоспособности тракторной гидросистемы при её диагностике в процессе работы трактора необходимо преобразовать уравнение (1) в следующую зависимость:

$$K_{ГС} = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{D_{и0}}{D_{и}} + \frac{V_H \cdot P_O}{V_{HO} \cdot P_H} + \frac{V_P \cdot P_H}{V_{PO} \cdot P_P} + \frac{P_P}{P_{Ш}} + \frac{P_{Ш}}{P_C} \right], \quad (2)$$

где $D_{и0}$ и $D_{и}$ – начальное и текущее значения диаметра пятна износа на машине трения;

V_{HO}, V_{PO}, V_H, V_P – начальные и текущие скорости изнашивания деталей насоса и распределителя по содержанию продуктов износа в рабочей жидкости соответственно;

P_O – начальное значение давления масла на разных участках гидросистемы.

$P_H, P_P, P_{Ш}, P_C$ – текущие значения давления масла на разных участках гидросистемы;

n – число диагностируемых элементов системы.

Начальные значения параметров принимаются по технической характеристике тракторной гидросистемы и трибологическим свойствам рабочей жидкости.

В связи с преобладанием трения скольжения в сопряжениях основных элементов гидронавесной системы целесообразно добавление графита в качестве присадки к РМСК при эксплуатации гидронавесной системы. Данная проблема решается установкой специальных графитовых щёток на роторе центробежного очистителя, прижимаемых к колпаку центробежными силами.

На рисунке 2 представлен горизонтальный разрез центробежного масляного фильтра с расположением графитовых щёток 1 на наружной поверхности крышки 4 ротора 3, закреплённых при помощи винтов 5.

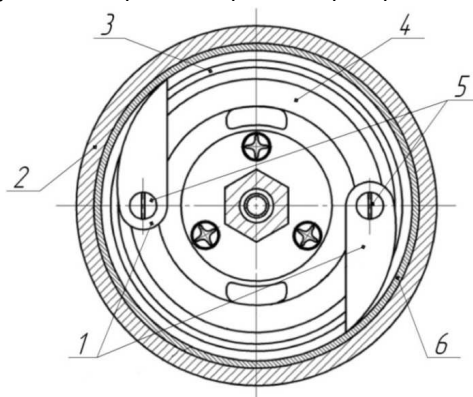


Рис. 2. Центробежный масляный фильтр с дозатором присадки:
1 – графитовые щетки; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – крышка; 5 – винты; 6 – колпак

Для оценки антифрикционных свойств РМСК как альтернативной рабочей жидкости гидравлической системы был произведён анализ влияния концентрации и размера частиц графита на изменение диаметра пятна износа $D_{и}$ на четырехшариковой машине трения МАСТ-1.

Исследования проводились согласно методике полного факторного эксперимента 3^2 . При проведении испытаний параметром оптимизации был диаметр пятна износа шариков $D_{и}$, а двумя входными регулирующими факторами – диаметр частиц графита d и его концентрация по массе C , соответственно.

Для обработки результатов исследований использовались программы MathCad 15.0 и Statistica 12.0.

Факторы, интервалы и уровни их варьирования на основном, нижнем и верхнем уровнях представлены в таблице 1.

Результаты исследований. При анализе процесса добавления графита в РМСК после проведения расчетов с доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$ получено уравнение регрессии в следующем виде:

$$D_{и} = 1,2226 - 0,4068 \cdot d - 0,0127 \cdot C + 0,22 \cdot d^2 + 0,0002 \cdot C^2, \quad (3)$$

где $D_{и}$ – диаметр пятна износа, мм;

d – диаметр частиц графита, мкм;

C – концентрация графита, %.

Таблица 1

Интервалы, факторы и уровни варьирования

Интервалы и уровни варьирования	Факторы	
	диаметр частиц графита x_1 , мкм	концентрация графита x_2 , %
Нижний уровень, $X_i = -1$	10	0,2
Основной уровень, $X_i = 0$	30	0,6
Верхний уровень, $X_i = 1$	50	1,0
Интервал варьирования, I_i	20	0,4

В результате обработки полученных данных построена поверхность отклика, показывающая изменение диаметра пятна износа в зависимости от диаметра частиц графита и его концентрации (рис. 3).

Исходя из экспериментальных данных, установлено, что рациональная концентрация графита составляет $C = 0,75$ % по массе, а минимальный диаметра пятна износа $D_{и}$ при такой концентрации обеспечивается частицами диаметром $d = 30$ мкм. Дальнейшее повышение концентрации C в рапсовом масле не оказывает значительного влияния на уменьшение диаметра пятна износа. С учетом рекомендаций [6] разработан рациональный состав РМСК в качестве рабочей жидкости: 92,35% рапсового масла + 3,7% присадки ДФ-11 + 3,2% присадки ЭФО + 0,75% мелкодисперсного графита.

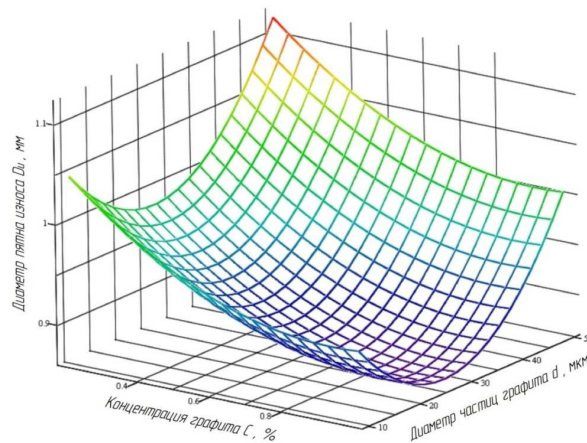


Рис. 3. Поверхность отклика, характеризующая влияние концентрации C и диаметра частиц d графита на диаметр пятна износа $D_{и}$

Проведенный анализ изменения показателей работы отдельных элементов гидронавесной системы позволил определить рациональные критерии работоспособности и оценки технической характеристики системы:

- диаметр пятна износа $D_{и}$ для оценки трибологических свойств рабочей жидкости, как критерий её работоспособности;
- скорость изнашивания деталей гидросистемы;
- содержание продуктов изнашивания в рабочей жидкости;
- коэффициент объёмной подачи, время повышения и падения давления, утечки рабочей жидкости с учетом типов и характеристик основных насосных и распределительно-регулирующих элементов, характеризующих изменение давления рабочей жидкости на разных участках гидросистемы;
- время подъема подъемного механизма с установленной нагрузкой, время оседания нагрузки и ограничительного клапана цилиндра.

Заключение. Поисковыми лабораторными и стендовыми исследованиями установлено повышение ресурса сопряжений основных элементов гидросистемы до 15-20% при использовании альтернативной РМСК на основе рапсового масла в комплексе с дозатором присадки при соответствующем снижении экологической загрязненности почвы. Определены рациональные значения концентрации $C = 0,75\%$ по массе и размера частиц $d = 10-30$ мкм графита в составе смазочной композиции и возможность снижения скорости изнашивания деталей в 1,2-1,4 раза.

Анализ изменения показателей гидросистемы, характеризующих диагностический критерий её работоспособности при работе в течении 1000 моточасов до замены рабочей жидкости, свидетельствует об их незначительном (2,0-9,1%) отклонении от технических требований. Расчетное значение приведенного критерия работоспособности по формуле (2) составило $K_{ГС} = 0,92$ при допустимом его значении 0,35-0,40 с учетом предельных характеристик системы.

Взаимосвязь критериев отдельных основных элементов гидронавесной системы является методической основой для дальнейших исследований и создания базы экспериментальных данных, обеспечивающих оценку уровня значимости отдельных составляющих и обобщенного диагностического критерия с учетом особенностей конструкции и режимов эксплуатации тракторной гидросистемы.

Библиографический список

1. Медеяев, И. А. Повышение работоспособности узлов трения агрегатов гидравлических систем транспортной техники : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02, 05.02.04 / Медеяев Игорь Алексеевич. – М., 2011. – 482 с.
2. Стефанов, В. А. Повышение долговечности гидроагрегатов средств железнодорожного транспорта путем интенсификации формирования смазочного слоя : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Стефанов Владимир Александрович. – Харьков : УкрДАЗТ, 2013. – 20 с.
3. Лавров, С. В. Повышение работоспособности шестеренных насосов гидравлических систем сельскохозяйственной техники путем применения антифрикционных добавок в рабочую жидкость : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Лавров Сергей Васильевич. – СПб., 2004. – 154 с.
4. Мышкин, Н. К. Трение, смазка и износ. Физические основы и технические приложения трибологии / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.

5. Пучков, В. Н. Исследование влияния добавок наноструктурированных материалов на трибологические свойства смазочных масел / В. Н. Пучков, П. П. Заскалько // Трение и смазка в машинах и механизмах. – М. : Машиностроение 2010. – №11. – С. 25-30.

6. Улучшение уровня очистки и трибологических свойств рабочих жидкостей при эксплуатации тракторных гидросистем : отчет о НИР / ВНИЦентр ; исполн. : Ленивец Г. А., Володько О. С., Молофеев М. В. [и др.]. – М. : ВНИПИОАСУ, 2012. – 137 с. – № ГР 01.201062609. – Инв. № 02.201352396.

7. Приказчиков, М. С. Повышение ресурса гидроподжимных муфт коробок передач с гидроуправлением улучшением режима трения фрикционных дисков : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Приказчиков Максим Сергеевич. – Пенза, 2013. – 197 с.

8. Молофеев, М. В. Повышение работоспособности тракторных гидросистем улучшением состояния рабочей жидкости // Эксплуатация автотракторной техники : опыт, проблемы, инновации, перспективы : сб. статей. – Пенза : МНИЦ ПГСХА, 2013. – С. 69-73.

УДК 631.171

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НАГРУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ТИПА «МАШИНА ПОСТОЯННОГО ТОКА – ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ МОЩНЫХ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Иншаков Александр Павлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

Байков Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры «Электроника и наноэлектроника», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: bdv2304@mail.ru

Кувшинов Алексей Николаевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: mesmgu@mail.ru

Курбаков Иван Иванович, канд. техн. наук, преподаватель кафедры «Мобильные энергетические средства», ФГБОУ ВПО Мордовский ГУ им. Н. П. Огарёва.

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: ivankurbakov@mail.ru

Ключевые слова: дизельный, двигатель, испытательный, стенд, тиристорный, преобразователь, машина.

Цель исследований – повышение надежности нагружающего устройства типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь» при проведении обкатки и испытаний мощных автотракторных двигателей. Для достижения поставленной цели были разработаны способ и устройство для защиты и диагностики последовательно соединенных тиристоров. В данном способе в качестве защитного воздействия прекращают подачу управляющих импульсов и осуществляют контроль состояния тиристоров по обратному напряжению и рабочей температуре охладителей вентиля. Осуществляют контроль исправности линий связи с системой импульсно-фазового управления по обратному отклику, производят измерение распределения обратного напряжения в каждом такте работы вентиляльных групп. При превышении предельно допустимой температуры тиристоров или снижении номинального значения распределения обратного напряжения, или обрыве связи с СИФУ производят защитное воздействие путем снятия импульсов со всех тиристорных групп и отключением тиристорного преобразователя от сети. Затем, с помощью произведенного анализа измеренных распределений обратного напряжения и рабочей температуре на тиристоре, предупреждают об аварийном отказе тиристорного вентиля из-за деградации его характеристик. Благодаря этому, предложенное устройство и способ позволяют улучшить диагностические и защитные свойства тиристорного преобразователя, что, несомненно, ведет к повышению надежности нагружающего устройства типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь», следовательно, всего обкаточно-тормозного стенда.

Современный этап развития техники вызывает потребность в появлении высокоэффективных, долговечных и надежных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и дизелях [1]. Стендовые испытания являются важной составной частью процесса разработки, изготовления и ремонта ДВС и дизелей [2, 3]. Поэтому, в связи с повышением требований к качественным и количественным свойствам ДВС, роль таких испытаний постоянно растет.