

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК ОСНОВА РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАСЛА АВТОМОБИЛЯ

А.Н. Швырёв¹, С.А. Швырёв², Е.Р. Вернигора³, Б.Н. Чумаков⁴
^{1,2,3,4} Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Николаевич Швырев, shvyriov74@mail.ru

Аннотация: Контроль качества гидравлического масла имеет решающее значение для эффективной и надёжной работы гидравлических систем. Почти 80% отказов в таких системах связаны с плохим состоянием жидкости. Регулярный анализ и поддержание чистоты масла помогают предотвратить дорогостоящие поломки, продлить срок службы оборудования и повысить производительность.

Ключевые слова: Диагностика, температура, температурное поле, гидравлическое масло, качество, срок службы

THERMOPHYSICAL ANALYSIS AS THE BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING THE RESIDUAL RESOURCE OF HYDRAULIC OIL IN A CAR

A.N. Shvyrev¹, S.A. Shvyrev¹, E.R. Vernigora¹, B.N. Chumakov¹
^{1,2,3,4} Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Andrey Nikolaevich Shvyrev, shvyriov74@mail.ru

Abstract: Quality control of hydraulic oil is crucial for efficient and reliable operation of hydraulic systems. Almost 80% of failures in such systems are related to poor fluid condition. Regular analysis and maintenance of oil purity help to prevent costly breakdowns, extend the service life of equipment and increase productivity.

Keywords: Diagnostics, temperature, temperature field, hydraulic oil, quality, service life.

Качество гидравлического масла представляет собой важнейший фактор, влияющий на надёжность и продолжительность эксплуатации промышленного оборудования. Для специалистов, работающих с гидравлическими системами, умение оценивать свойства рабочей жидкости является не только теоретической дисциплиной, но также значимой производственной обязанностью. Применение гидравлического масла ненадлежащего качества может стать причиной ускоренного износа техники, незапланированных простоев в производственном процессе и значительных экономических убытков. Настоящая статья посвящена современным методам оценки качества гидравлических масел, которые позволяют повысить технологическую эффективность оборудования и свести к минимуму риск его преждевременных отказов [1-3]. Контроль качества гидравлического масла осуществляется посредством как оперативных методов, так и лабораторных исследований. Оперативная оценка охватывает визуальные и органолептические параметры, такие как цвет жидкости,

степень прозрачности, наличие осадков, характер запаха и текстура. Лабораторные методы анализа включают определение вязкости масла, степени его чистоты, уровня окисления, наличия воды и других значимых характеристик. Для реализации этих процедур применяются специализированные средства, включая инфракрасные спектрометры и онлайн-датчики [4-7]. В таблице 1 приведены основные аргументы в пользу проведения контроля качества гидравлического масла в системах данного типа.

Таблица 1 – Основные причины контроля качества гидравлического масла в гидросистеме

Table 1 – The main reasons for quality control of hydraulic oil in the hydraulic system

Наименование причины	Следствие причины
1 Предотвращение износа и повреждений.	Загрязнённое масло с частицами грязи, металлов и воды может действовать как абразив, ускоряя износ насосов, клапанов и цилиндров.
2 Поддержание эффективности системы.	Снижение качества масла приводит к ухудшению его смазывающих и охлаждающих свойств. Это заставляет систему работать с большим усилием для достижения той же производительности, увеличивая энергопотребление и эксплуатационные расходы.
3 Защита от коррозии.	Вода и химическое разложение масла могут вызывать коррозию внутренних компонентов системы.
4 Предотвращение утечек.	Качественное масло содержит присадки, которые совместимы с уплотнительными материалами. Если масло теряет свои свойства, уплотнения могут сжиматься или размягчаться, вызывая утечки.
5 Обеспечение стабильности вязкости.	Вязкость масла должна оставаться стабильной в различных условиях. Если масло становится слишком жидким или слишком густым из-за деградации, это может привести к сбоям в работе, потерям давления и плохому смазыванию.

Отсрочка замены гидравлического масла оказывает негативное воздействие на стабильность и функциональность гидросистемы, способствуя ускоренному износу её компонентов, перегреву, снижению производительности, накоплению вредных отложений, а также может привести к полной утрате работоспособности системы. Вследствие деградации масла утрачиваются его основные эксплуатационные характеристики, такие как смазывающие и охлаждающие свойства, что увеличивает уровень трения между деталями, снижает их ресурс и создает условия для накопления загрязнений. Эти загрязнения, в свою очередь, способны блокировать масляные каналы, что дополнительно усугубляет негативные последствия (таблица 2).

Таблица 2 – Последствия использования некачественного гидравлического масла в гидросистеме

Table 2 – Consequences of using low-quality hydraulic oil in the hydraulic system

Наименование причины	Следствие причины
1 Повышенный износ компонентов.	Ухудшение смазывающих свойств масла приводит к повышенному трению и износу, сокращая срок службы оборудования.
2 Низкая эффективность.	Загрязнения и изменения вязкости снижают производительность, что может проявляться в медленных

Наименование причины	Следствие причины
	или рывковых движениях цилиндров и некорректной работе рулевого управления.
3 Перегрев системы.	Недостаточное охлаждение и повышенное трение из-за некачественного масла могут привести к перегреву, что ещё больше ускоряет деградацию жидкости и может вызвать поломку.
4 Полный отказ системы.	В самых серьёзных случаях загрязнение масла может привести к блокировке клапанов и выходу из строя всей гидравлической системы.
5 Внеплановые простои и расходы.	Неожиданные поломки из-за плохого масла вызывают незапланированные простои, дорогостоящий ремонт и потерю производительности.

На сегодняшний день существуют разные методы контроля качества гидравлического масла, которые, несмотря на свою полезность, имеют определенные недостатки, требующие внимания. Недостатки лабораторного анализа:

1 Длительность времени обработки. Результаты анализа могут быть получены через несколько дней или даже недель, что зависит от загруженности лаборатории и сложности исследования. В это время оборудование продолжает эксплуатироваться, что увеличивает риск серьезных поломок при наличии скрытых проблем.

2 Искажение данных. На точность анализа может повлиять транспортировка пробы, а ошибки при её отборе способны привести к недостоверным результатам, не отражающим реального состояния масла.

3 Ограниченность во времени - такой подход даёт лишь моментальный «снимок» состояния жидкости в системе, не позволяя отслеживать изменения между замерами.

4 Высокая стоимость - проведение полного спектра лабораторных исследований нередко оказывается дорогим, что делает частый анализ недостаточно экономичным.

5 Невозможность обнаружения внезапных изменений. Лабораторные методы не способны оперативно выявлять резкие скачки загрязнений или иные быстрые изменения, которые могут происходить внутри системы.

Недостатки онлайн-мониторинга: Установка специализированного мониторингового оборудования обходится дорого, особенно если речь идёт о контроле сразу нескольких машин. Онлайн-датчики зачастую уступают лабораторному оборудованию в точности и чувствительности и могут пропустить некоторые типы загрязнений. Данные фиксируются только в месте установки датчиков, что не всегда отражает ситуацию во всей системе. Несмотря на предоставление информации в реальном времени, такие системы не способны предоставить детальных данных о химическом составе масла или параметрах износа. Недостатки методов визуального осмотра. Оценка масла по цвету, запаху или визуальным характеристикам субъективна и не позволяет обнаружить мелкие частицы, воду или другие изменения в составе, следовательно, низкая объективность. Видимые изменения, такие как потемнение масла, обычно свидетельствуют о критической стадии деградации, когда устранение ущерба становится крайне сложным. Результативность метода зависит от уровня квалификации оператора, который проводит осмотр.

В результате проделанного анализа можно сделать вывод, что термометрические исследования представляют собой один из наиболее эффективных методов мониторинга качества гидравлического масла, поскольку они предоставляют возможность контролировать его рабочую температуру. Этот параметр играет ключевую роль при оценке вязкости, смазочных характеристик и химической устойчивости масла.

Повышение температуры может свидетельствовать о наличии проблем, включая засорение фильтрационных систем, износ отдельных компонентов оборудования или применение несоответствующей рабочей жидкости [8, 9].

Контроль качества гидравлического масла в гидравлической системе с использованием тепловых измерений позволяет эффективно отслеживать и поддерживать оптимальный температурный режим. Для большинства систем оптимальная температура масла составляет 38–60 °С, однако в некоторых случаях этот диапазон может быть более узким, например, 45–50 °С для термопластавтоматов. Превышение установленных температурных пределов указывает на наличие проблем либо в работе самой системы, либо в качестве используемого масла. Скачкообразное повышение температуры может быть вызвано различными факторами, и своевременное измерение температуры помогает выявить источники этих проблем. Основные причины перегрева включают:

- Избыточное нагревание из-за трения в подвижных частях механизмов, насосов и клапанов;
- Засорение фильтров и присутствие посторонних частиц в масле, что увеличивает нагрузку на систему;
- Низкую пропускную способность оборудования или снижение эффективности работы насоса;
- Нарушение эксплуатационных параметров системы, ошибки в настройке или монтажных работах;
- Использование старого или низкокачественного масла, которое утрачивает свои смазывающие и охлаждающие свойства.

Гидравлическое масло должно выдерживать эксплуатационные температуры без деградации своих характеристик. Перегревание может разрушать присадки и химически стабильные соединения в составе масла, что негативно сказывается на его эксплуатационных свойствах и сокращает срок службы. Поддержание контроля за температурными параметрами масла позволяет избежать подобных негативных последствий и обеспечить надежность работы гидравлической системы.

Тепловые методы контроля являются важнейшим инструментом для оценки состояния гидравлических масел и оборудования. Их использование способствует переходу от устранения уже возникших проблем к прогнозирующему подходу, что позволяет минимизировать аварийные ситуации и оптимизировать затраты. Внедрение методов тепловой диагностики в сочетании с классическим лабораторным анализом обеспечивает создание действенной системы управления состоянием гидравлических масел и помогает значительно увеличить срок службы оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харазов, А.М. Техническая диагностика гидроприводов машин. М.: Машиностроение, 1979. 112 с.
2. Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г. Техническая диагностика гидросистем: Научное издание. Мн.: Белавтотракторостроение, 2000. 120 с.
3. Техническая диагностика гидравлических приводов / Алексеева Т.В., Бабанская В.Д., Башта Т.М. [и др.]; Под общ. ред. Т.М. Башты. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
4. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: Справочник 6-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2015. 627 с.
5. Коновалов В.М., Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков. М.: Машиностроение, 1976. 288 с.

6. Рудашко А.А., Полховский Н.Д. Методика и результаты исследования моторных масел на наличие массовой доли воды // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №3. С. 72-74.

7. Фитч Дж., Тройер Д. Анализ масел: основы и применение / Пер. с англ. 2-го изд.; под ред. Е.А. Новикова, М.В. Кирюхина. СПб: ЦОП «Профессия», 2015. 176 с. 10. Бродский Г.С. Фильтры и системы фильтр

8. Вернигора, Е. Р. Разработка методики оценки остаточного ресурса гидравлического масла с применением электрофизических показателей / Е. Р. Вернигора, А. В. Латынин, А. Н. Швырев // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера : Сборник материалов IV Всероссийского форума, Якутск, 28–29 марта 2024 года. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2024. – С. 161-167.

9. Разработка алгоритма действия комплекса тепловой диагностики гидросистемы / А. Н. Швырев, Е. В. Снятков, А. В. Латынин [и др.] // Инновационные технологии на автомобильном транспорте : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 16–17 мая 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 5-11.

REFERENCES

1. Kharazov, A.M. Technical diagnostics of hydraulic drives of machines. Moscow: Mashinostroenie, 1979. 112 p.

2. Bogdan N.V., Zhilevich M.I., Krasnevsky L.G. Technical diagnostics of hydraulic systems: Scientific publication. Moscow: Belavtotraktorostroenie Publ., 2000. 120 p.

3. Technical diagnostics of hydraulic drives / Alekseeva T.V., Babanskaya V.D., Bashta T.M. [et al.]; Under the general editorship of T.M. Bashty. Moscow: Mashinostroenie, 1989. 264 p.

4. Sveshnikov V.K. Machine hydraulic drives: Handbook, 6th ed., revised. St. Petersburg: Polytechnic, 2015. 627 p.

5. Kononov V.M., Skritskiy V.Ya., Rokshevsky V.A. Cleaning of working fluids in hydraulic drives of machine tools. Moscow: Mashinostroenie, 1976. 288 p.

6. Rudashko A.A., Polkhovsky N.D. Methodology and results of the study of motor oils for the presence of a mass fraction of water // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2014. No. 3. pp. 72-74.

7. Fitch J., Troyer D. Oil analysis: fundamentals and application / Translated from English 2nd ed.; edited by E.A. Novikov, M.V. Kiryukhin. St. Petersburg: TSOP «Profession», 2015. 176 p. 10. Brodsky G.S. Filters and filter systems

8. Vernigora, E. R. Development of a methodology for assessing the residual resource of hydraulic oil using electrophysical indicators / E. R. Vernigora, A.V. Latynin, A. N. Shvyrev // Transport systems and road infrastructure of the Far North : Collection of materials of the IV All-Russian Forum, Yakutsk, March 28-29, 2024. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2024, pp. 161-167.

9. Development of an algorithm for the operation of a complex of thermal diagnostics of a hydraulic system / A. N. Shvyrev, E. V. Snyatkov, A.V. Latynin [et al.] // Innovative technologies in road transport : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, May 16-17, 2024. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2024, pp. 5-11.