

Теоретическое обоснование изменения параметров рабочих жидкостей в гидроприводах машин, использующихся при ремонте магистральных трубопроводов

Вишняков А. В.

*Вишняков Анатолий Владимирович / Vishnyakov Anatoly Vladimirovich – аспирант,
кафедра строительных и дорожных машин,
Институт транспортных систем,
Нижегородский государственный технический университет, г. Нижний Новгород*

Аннотация: в статье рассматриваются основные параметры изменения качества рабочей жидкости гидропривода при его эксплуатации. Надежность гидропривода определяется в основном сохранением эксплуатационных параметров рабочей жидкости в допустимых пределах. Также в статье приводится анализ предыдущих исследований надежности гидравлического привода и приведены результаты теоретических исследований изменения показателей гидравлических масел. Кроме того, как объект исследования рассматривается гидропривод машины для удаления грунта из-под трубопровода.

Ключевые слова: гидропривод, рабочая жидкость, надежность, механические примеси, вязкость.

Одной из основных задач развития трубопроводного транспорта в Российской Федерации является достижение высокого качества продукции и максимальной эффективности производства. В современных условиях производства от надежности функционирования таких сложных промышленно-транспортных комплексов, какими являются магистральные трубопроводы, во многом зависит не только плановое развитие многих отраслей народного хозяйства, но и их научно-технический прогресс [1].

Большая часть отказов магистральных трубопроводов происходит из-за коррозии металла, которая связана с выходом из строя изоляционных покрытий труб. Надежность функционирования трубопроводов обеспечивается проведением различных системных мероприятий, одним из которых является замена изоляционного покрытия участков труб.

Для выполнения ремонтных работ по переизоляции трубопровода используется целый комплекс машин, которые обеспечивают вскрытие грунта сверху и по бокам трубопровода, удаление грунта из-под него, очистку трубы от старой изоляции и нанесение нового изоляционного покрытия. Эти виды работ требуют приложения значительных усилий, что объясняет использование машин с объемным гидроприводом. К данному типу машин относятся бульдозеры, экскаваторы и подкопные машины.

Гидропривод подкопной машины выполняет функцию движителя по поверхности трубопровода, а также сведения и разведения рабочих органов. Использование гидравлики на данного вида машинах позволяет создать необходимые тяговые усилия для удаления грунта из-под ремонтируемых труб. В ранее проведенных исследованиях, объектом которых были машины для удаления грунта из-под трубопроводов, были рассмотрены и предложены варианты оптимизации конструктивных параметров машины. В работе [1] разработана методика выбора рациональных конструктивных параметров и режимов работы рабочего органа подкопной машины. А в работе [2] предложена и рассмотрена методика выбора и оптимизации конструктивных параметров специального прижимного движителя машин для ремонта магистральных трубопроводов.

В то же время не уделено должного внимания изучению проблем управления надежностью подкопных машин путем контроля состояния рабочей жидкости гидропривода. Гидропривод подкопной машины является основным механизмом, обеспечивающим выполнение заданных функций машины, а именно создание тягового усилия для перемещения по поверхности трубопровода и удаления грунта из-под него. От эффективности работы гидропривода машины зависит производительность технологической колонны по замене изоляционного покрытия трубопровода. Поэтому вопросы управления надежностью гидропривода подкопных машин являются актуальными.

Надежность работы машин, оснащенных гидроприводом, зависит от множества факторов. Под надежностью строительных и дорожных машин понимают способность сохранять в течение определенного промежутка времени в установленных пределах значения параметров, которые характеризуют способность выполнять заданные функции.

Известно, что около 70 % отказов гидравлических систем возникают из-за качества гидравлической жидкости. Причем 40 % этих отказов имеют непосредственное отношение к эксплуатационным качествам гидравлических масел, а 60 % отказов связаны с чистотой масел.

Эксплуатационные свойства гидравлических масел характеризуют их способность выполнять заданные функции. К основным функциям масел относятся: передача энергии, защита от коррозии, смазывание трущихся поверхностей, отвод тепла от узлов трения, уплотнение зазоров, хорошая прокачиваемость. В процессе эксплуатации гидропривода происходит ухудшение свойств

гидравлических масел. При достижении определенных значений параметров дальнейшая эксплуатация рабочих жидкостей нецелесообразна и может привести к снижению эффективности работы и к отказам гидропривода.

Обзор и анализ литературных источников показал, что наиболее значимыми факторами, влияющими на надежность работы гидроприводов, являются загрязнение рабочей жидкости механическими примесями и изменение ее вязкости.

Большинство явлений, отражающихся на работе гидропривода, связаны с вязкостью. Резкое снижение вязкостных свойств приводит к уменьшению сроков службы гидропривода. Например, не оптимальная вязкость или её слишком большая зависимость от режимов работы гидропривода снижают общий КПД оборудования [3].

Из предыдущих исследований известно, что вязкостные характеристики гидравлического масла напрямую зависят от температуры и давления гидросистемы. Исходя из этой зависимости и учитывая такие факторы, как наличие присадок, режим работы гидропривода и загрязнение рабочей жидкости, можно определить вязкость масел.

Зависимость изменения кинематической вязкости от температуры приведена рис. 1 [4]. Оценивая этот график, можно заключить, что вязкостные свойства масла опускаются до критического уровня после 60 °С. Для других типов гидравлических масел графики выглядят примерно так же, отличаются только численные значения по осям абсцисс и ординат. Основываясь на подобном графике, можно определять теоретическую вязкость рабочей жидкости в определённых рабочих условиях [4].

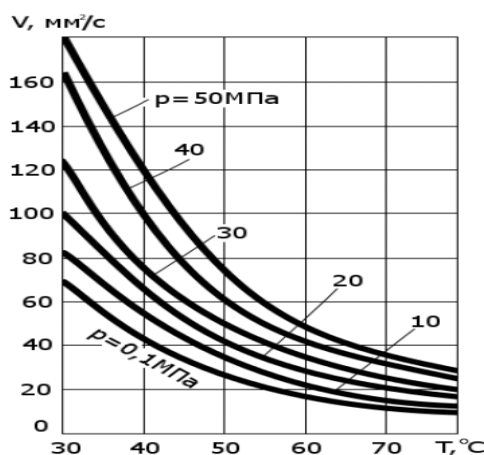


Рис. 1. Зависимость кинематической вязкости гидравлического масла МГ-30 от давления и температуры

Как показывает практика, повышенная загрязненность масел гидропривода является основной причиной отказов и ремонтов строительных и дорожных машин. Загрязнение рабочей жидкости происходит различными способами. Механические примеси попадают в масло при его транспортировке и заливке рабочей жидкости в гидропривод машин. Частицы пыли проникают в масло во время эксплуатации гидропривода через сапун картера и через штоки гидроцилиндров, оседая на них. Также к механическим примесям относятся частицы, образующиеся при износе трущихся поверхностей гидропривода. Увеличение загрязнения приводит к преждевременному износу и выходу из строя гидроагрегатов, заклиниванию деталей.

Ранее проведенные исследования показали, что существует прямая зависимость между размерами частиц загрязнения рабочей жидкости и скоростью снижения КПД. На рис. 2 изображены линии интенсивности износа и интенсивности снижения КПД в зависимости от размеров загрязняющих частиц [5].

Загрязнение масла значительно влияет на его вязкостные и смазывающие свойства. Поэтому анализ наличия загрязняющих частиц позволяет контролировать производительность оборудования и предупреждать отказы [4].

Анализ имеющейся информации показал, что при эксплуатации строительных и дорожных машин с объемным гидроприводом, рабочую жидкость меняют согласно установленным в технической документации нормам мото-часов. Данная система обслуживания гидроприводов не всегда учитывает все особенности эксплуатации строительных и дорожных машин. Это может привести к тому, что параметры рабочей жидкости достигнут предельных значений раньше установленных сроков замены. Поэтому исследование методов контроля состояния качества гидравлических масел в процессе эксплуатации является актуальной проблемой.

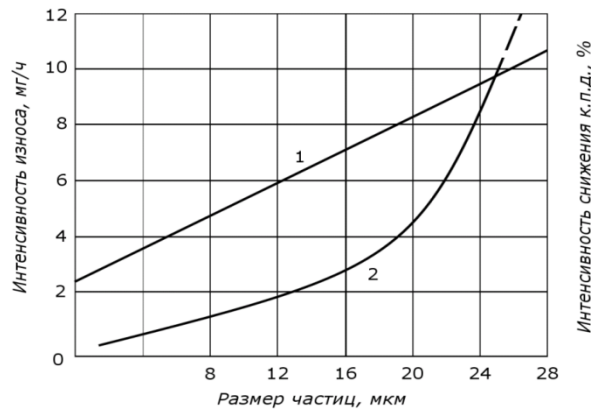


Рис. 2. Характеристики износа гидросистемы:
1 - интенсивность износа; интенсивность снижения КПД

Контроль фактического состояния рабочей жидкости, по мнению большинства ученых, является эффективным методом повышения надежности и экономичности использования гидропривода. Обзор исследований показывает, что определить фактическое состояние гидравлического масла можно различными способами.

В области изучения изменения эксплуатационных свойств моторных масел выделяют три группы методов определения фактического состояния масла: по единичному показателю, по интегральным показателям и по группе показателей [7]. Самым эффективным из данных методов является определение качества масла по интегральному показателю, так как он отражает изменение нескольких наиболее значимых параметров масла. Моторные, трансмиссионные и гидравлические масла имеют сходный набор параметров, характеризующих их физико-химическое состояние, но отличаются по значениям этих параметров и функциям. Так, основной функцией трансмиссионных и моторных масел является смазка трущихся поверхностей, а гидравлических – передача энергии.

При выборе параметров, которые должны характеризовать пригодность гидравлического масла к эксплуатации, необходимо учитывать значимость их влияния на состояние рабочей жидкости и надежность работы гидропривода. Как уже указывалось выше, наиболее значимыми параметрами являются наличие загрязняющих примесей и вязкость масла.

Наличие примесей в рабочей жидкости приводит к интенсивному износу деталей гидропривода. В работе [6] предлагается использование коэффициента противоизносных свойств K_j для определения срока службы рабочей жидкости, которые используются в гидроприводах строительных и дорожных машин. В ходе эксплуатации гидропривода коэффициент постоянно снижается. Установлено, что с уменьшением величины коэффициента K_j противоизносные свойства рабочей жидкости ухудшаются.

$$K_j = \frac{0.005n_5}{Z}, \quad (1)$$

где n_5 - число частиц размером 5мкм и менее;

Z - индекс загрязненности рабочей жидкости.

В работе [7] рассмотрена математическая модель изменения концентрации механических примесей в моторном масле в ходе эксплуатации:

$$H_m = H_{m0} \exp(kT/V_p), \quad (2)$$

где H_{m0} - начальная концентрация механических примесей, ед/м³;

k - константа скорости реакции образования примесей, м³/ч;

T - наработка, ч;

V_p - рабочий объем масла в системе смазки двигателей, м³.

Также в работе указано, что реальных условиях эксплуатации часть примесей уносится вместе с утечками моторного масла, а некоторая часть удаляется средствами очистки. Поэтому баланс суммарного количества частиц примесей в рабочем объеме после наработки выразится уравнением:

$$H_m = H_{m0} \exp(kT/V_p) - H_{my} k T - H_{m\phi} k T \exp(kT/V_p) + H_{m\partial\partial} k T, \quad (3)$$

Где H_{m0} - текущая концентрация частиц примесей, ед/м³;

$H_{m\gamma}$ - концентрация частиц примесей расходуемых при угаре моторного масла, ед/м³;

$H_{m\phi}$ - количество частиц, удаляемых фильтрами из единицы рабочего объема, ед/м³;

$H_{m\delta\delta}$ - концентрация частиц примесей, попадающих при доливе моторного масла, ед/м³.

Закономерность изменения концентрации механических примесей гидравлических масел в процессе работы гидропривода аналогична изменению концентрации примесей в моторных маслах и аппроксимируется экспоненциальной зависимостью.

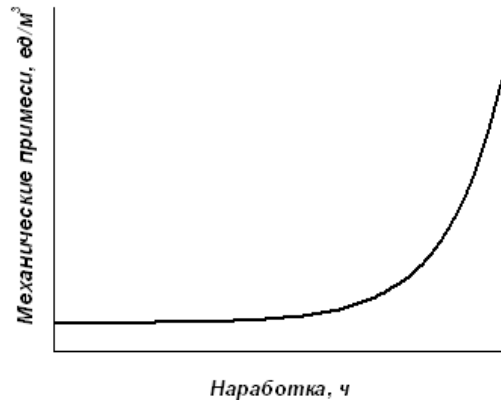


Рис. 3. Изменение концентрации механических примесей в гидравлических маслах в процессе эксплуатации

Для гидравлических масел также будет выполняться равенство (3), только без учета примесей, расходуемых при угаре моторного масла и частиц, попадающих в масло при доливе. В формулах (2) и (3) не учтено, что при замене масла в системе остается некоторое количество старого масла с имеющимися в нем механическими примесями. Поэтому нужно добавить еще одно слагаемое, которое будет учитывать этот факт. Тогда математическая модель изменения концентрации механических примесей в гидравлическом масле будет выглядеть:

$$H_m = H_{mc} + H_{m0} \exp(kT/V_p) - H_{m\phi} \frac{k}{\phi} T \exp(kT/V_p) \quad (4)$$

где H_{mc} - концентрация частиц примесей, оставшаяся в гидроприводе после замены масла.

Изменение вязкости гидравлического масла в процессе эксплуатации можно аппроксимировать следующей графической зависимостью:

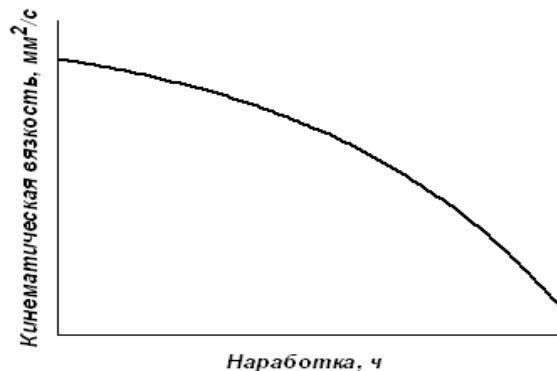


Рис. 4. Изменение кинематической вязкости гидравлического масла в процессе эксплуатации

Тогда для данной закономерности выполняется равенство:

$$B_m = (B_{m0} - \Delta B_{m0} + 1) - \exp(FT), \quad (5)$$

где B_{m0} - начальная вязкость свежего гидравлического масла;

ΔB_{m0} - изменение вязкости гидравлического масла после замены;

F - коэффициент, учитывающий влияние на интенсивность изменения вязкости масла внешних и внутренних факторов.

После замены гидравлического масла его вязкость сразу изменяется, что объясняется его смешиванием с остатками старого масла в гидроприводе. Величина изменения вязкости масла определяется экспериментально. Значение коэффициента зависит F от внешних и внутренних факторов. К внешним относятся климатические условия эксплуатации гидропривода, а к внутренним – качество гидравлического масла и техническое состояние гидропривода.

Для установления закономерностей изменения параметров гидравлических масел в ходе эксплуатации проводились исследования на машинах с гидроприводом. В качестве подконтрольных были выбраны подкопочные машины для удаления грунта из-под ремонтируемых трубопроводов типа ПТ – НН П.

В качестве метода определения состояния гидравлического масла предлагается использовать комплексный показатель, который будет учитывать изменение основных параметров. Такими параметрами для масел объемного гидропривода являются вязкость и наличие механических примесей.

В качестве метода определения состояния гидравлического масла предлагается использовать комплексный показатель, который будет учитывать изменение основных параметров. Такими параметрами для масел объемного гидропривода являются вязкость и наличие механических примесей.

$$П = \frac{B}{B_0} Z, \quad (6)$$

где B - текущая вязкость гидравлического масла, мм/с²;

B_0 - вязкость свежего гидравлического масла, мм/с²;

Z - загрязнение масла механическими примесями, %.

Литература

1. Вахидов У. Ш., Вершинин А. В., Колесниченко Н. А., Пуртов А. Р. Методика определения сил сопротивления вращению рабочего органа подкопочной машины // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1.; [Электронный ресурс]: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17881>.
2. Артюшкин А. В. Очистная машина для ремонта и содержания трубопроводов. Рекомендации по выбору типа движителя / А. В. Артюшкин, В. С. Макаров, Ю. И. Молев, В. А. Шапкин // Современные проблемы науки и образования: электронное научно-техническое издание. – 2013. – № 6; [Электронный ресурс]: URL: www.science-education.ru/113-10925.
3. Иноземцев А. Н., Трушин Н. Н. Гидравлика. Основы проектирования и расчета объемного гидравлического привода: учеб. пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. 224 с.
4. Трушин Н. Н., Чиликин А. А. Критерии старения рабочей жидкости гидравлического привода станков в процессе эксплуатации // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 11. Ч. 2. С. 536-545.
5. Васильченко В. А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: справочник. М.: Машиностроение, 1983. 301 с.
6. Венцель Е. С. Глушкова Д. Б. Орел А. В. Талалаенко О. М. Определение срока службы рабочих жидкостей гидроприводов строительных машин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Харьков: 2014. С. 279-282.
7. Севрюгина Н. С. Совершенствование методов управления надежностью строительных и дорожных машин путем мониторинга моторных масел: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. Орел, 2004. 212 с.