

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

Косылапов Виктор Борисович

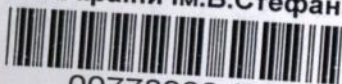
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ
СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА РАБОЧУЮ ЖИДКОСТЬ

Специальность 05.05.04 – машины для земляных и
дорожных работ

АВТОРЕЗЮМЕ

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Харьков – 1998



Робота виконана на кафедрі "Захисту та охорони праці" Харківського державного автомобільно-дорожнього технічного університету (ХГАДТУ).

Научні керівники: Заслужений діяч науки і техніки

України, доктор технічних наук,

професор

Руднєв В. К.

кандидат технічних наук,

професор

Льсиків Є. Н.

Обидвіальні опоненти: доктор технічних наук,

професор

Хмара Л. А.

кандидат технічних наук

Панєв П. Г.

Ведучий організація – АД "Левада"

Захист дисертації состоится "21" квітня 1996 года в часоз на засіданні спеціалізованого совета Д 02.17.02 при Харківському державному автомобільно-дорожньому технічному університеті по адресу: 310073, г. Харків, ул. Петровського, 25.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського державного автомобільно-дорожнього технічного університету.

Авторський розсилка "19" января 1996 года.

Учений секретар спеціалізованого ученого совета,

доктор технічних наук, асистент

Подригало М. А.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Благодаря ряду существенных преимуществ гидравлический привод в последнее время широко применяется в строительных и дорожных машинах различных типов. Количество машин с гидравлическим приводом, находящихся в эксплуатации, превышает 50% всего парка машин. Диагностирование элементов гидроприводов показывает, что до 98% гидромашин выбраковываются и попадают в ремонт по причине снижения объемного КПД насосов-моторов, обусловленного износом основных пар трения.

Анализ причин отказов гидроагрегатов показывает, что 80...85% насосов, установленных на одноковшовых экскаваторах, выводят из строя вследствие повышенного износа деталей качающего узла, при этом их ресурс в среднем не превышает 2500 мото-часов при снижении объемного КПД на 30...40% вместо 15%, установленных заводом изготовителем.

Работоспособность гидравлического привода в значительной степени зависит от качества рабочей жидкости (в дальнейшем РЖ). Как известно, противоизносное свойство является одним из главных показателей качества РЖ. Оно в значительной степени определяется адсорбционной способностью РЖ. Помимо этого, при эксплуатации строительных и дорожных машин (в дальнейшем СДМ) имеет место высокий уровень концентрации в РЖ механических примесей, что и является основной причиной износа и отказов элементов гидроприводов. Поэтому повышение надежности гидроприводов СДМ, а также экономное использование нефтепродуктов, путем улучшения противоизносных свойств РЖ, является актуальной проблемой.

Цель работы. Повышение ресурса аксиально-поршневых насосов гидроприводов машин СДМ путем улучшения противоизносных свойств

РЖ при обработке ее электрическим полем.

Научная новизна работы:

- установлена закономерность между противоположными свойствами РЖ и действующим на нее внешним электрическим полем;
- разработана математическая модель абразивного изнашивания пары "втулка-поршень", учитывающая помимо известных факторов толщину пленки масла, адсорбирующейся на поверхностях трения в режиме граничного трения.

Практическая ценность работы:

- определены рациональные параметры режимов обработки РЖ внешним электрическим полем, позволяющие увеличить ресурс аксиально-поршневых насосов на 20...100 %;
- разработано устройство для обработки РЖ электрическим полем.
- установлены зависимости изменения объемного КПД гидронасоса от режима обработки РЖ внешним электрическим полем и загрязненности позволяющие определять ресурс гидронасосов в эксплуатационных условиях.

Реализация работы. Разработанное устройство обработки РЖ внешним электрическим полем, а также методика прогнозирования остаточного ресурса аксиально-поршневых гидронасосов внедрены и используются в тресте "Харьковское областное подрядное специализированное предприятие по ремонту, строительству и эксплуатации дорог и мостов". Результаты диссертационной работы используются в научно-исследовательских работах студентов, в дипломном проектировании на кафедре эксплуатации дорожных машин и охраны труда ХГАДТУ.

Апробация работы. Основные разделы диссертационной работы докладывались на 54-й, 55-й, 56-й, 57-й сессиях научно-техничес-

ких конференций ХАДИ (1990, 1991, 1992, 1994 г.), на республиканской конференции "Экономия и рациональное использование сырьевых и топливно-энергетических и других материальных ресурсов в строительстве" г. Харьков 1990 г., на международной конференции в г. Нижний Новгород в 1994 году.

Публикации. По материалам данной работы опубликовано пять печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов по работе, списка использованной литературы состоящей из 123 наименований, 11 приложений и содержит в целом 245 страниц, в том числе 150 страниц основного текста, 25 таблиц, 62 рисунка.

Содержание работы

В первой главе изложено состояние вопроса. Обоснованы цель и задачи исследования. Проанализировано влияние объемного КПД аксиально-поршневых насосов на надежность СДМ в целом. На основании обзора установлено, что основной причиной высокого темпа снижения объемного КПД аксиально-поршневых насосов является изнашивание их деталей, обусловленное в первую очередь противоизносными свойствами РЖ и высокой степенью ее загрязненности механическими примесями. Влиянию механических примесей на надежность гидропривода, а также изучению процесса очистки и контроля РЖ посвящены исследования Т.М. Башты, П.Н. Беянина, Т.В. Алексеевой, В.А. Васильченко, К.Г. Гаржави, Г.А. Никитина, В.К. Руднева, Е.Н. Лыикова, К.В. Рыбакова, В.М. Сапожникова, В.И. Барышева, А.А. Дрибина, И.А. Вакуленко, Й.Г. Панева, Нгуен Ван

Тиня и др.

Проведен обзор трудов, освещающих исследования абразивного изнашивания пар трения. Это работы М.М. Хрущева, И.В. Крагельского, Г.Я. Ямпольского, М.М. Тененбаума, У.А. Икрамова и др. Существуют различные модели абразивного изнашивания, однако наиболее полно и точно отражают природу абразивного изнашивания пар трения модели, предложенные И.В. Крагельским, Г.Я. Ямпольским, У.А. Икрамовым. Однако в этих моделях не рассматриваются вопросы связанные с влиянием эксплуатационных свойств РЖ на процесс абразивного изнашивания элементов гидроприводов:

Сделан анализ исследований процесса взаимодействия РЖ с поверхностями трения. Этому вопросу посвящены работы А.С. Ахматова, Г.И. Шора, Д.М. Толстова, Т.М. Башты и др. В трудах КИИГА, посвященных исследованиям работы электроочистителей масел и топлив, отмечалось, что в результате прохождения топлива (Т-7), масла (АМГ-10), через электрическое поле, в процессе их очистки от механических примесей, наблюдалось уменьшение износа испытуемых пар трения. Однако исследованные углеводородные жидкости не применяются в гидроприводах СДМ, а условия работы гидроагрегатов, степень загрязненности РЖ коренным образом отличаются. Так загрязненность РЖ СДМ достигает 17 класса чистоты по ГОСТ 17216-71, что на 7 классов хуже чем максимальная загрязненность, встречающаяся в гидросистемах летательных аппаратов.

На основании результатов проведенного анализа в первой главе сформулированы основные задачи исследования, а именно:

- изучить закономерности изменения объемного КПД гидронасосов в зависимости от изменения адсорбционных свойств РЖ и концентрации в ней механических примесей;

- экспериментально изучить закономерности влияния режимов обработки РЖ внешним электрическим полем на ее противоизносные свойства;

- разработать практические рекомендации по улучшению противоизносных свойств РЖ путем обработки ее внешним электрическим полем с оценкой получаемого экономического эффекта.

Во второй главе приведены разработанные методики поисковых исследований, результаты исследований. Целью поисковых экспериментов являлось:

- оценка влияния внешнего электростатического поля на противоизносные свойства РЖ;

- оценка влияния параметров внешнего электростатического поля на адсорбционные свойства РЖ на нефтяной основе.

Исследования влияния внешнего электростатического поля на противоизносные свойства РЖ производились одним из наиболее распространенных методов испытания противоизносных свойств масел на машине трения МАСТ1. В качестве функции отклика использовался момент трения (Мтр) в паре трения "шарик - шарик". Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработана программа исследований;

- разработано и изготовлено устройство для обработки РЖ электрическим полем;

- разработана методика проведения исследований.

Выбор режимов обработки РЖ внешним электрическим полем произведен на основании ниже изложенных предпосылок. Электрическое поле характеризуется такими показателями как напряженность и степень неоднородности.

В качестве РЖ было использовано масло И-Г-А-32, как наиболее

широко распространенное в эксплуатации СДМ. РЖ была отобрана из гидросистемы экскаватора и из емкости на складе ГСМ в состоянии поставки. Для данного типа нефтепродуктов величина напряженности, при которой происходит ее пробой, лежит в пределах $1 \cdot 10^7$ В/м.

Принимая во внимание, что РЖ применяемая в лабораторных исследованиях взята из гидросистем экскаваторов, т.е. находилась некоторое время в эксплуатации и следовательно имеет высокое содержание загрязнителей снижающих ее диэлектрическую прочность, а также результаты проверки предельного значения напряженности электрического поля при котором происходит пробой, проведенные на кафедре ЭДМиОТ ХАДИ, предельно допустимая напряженность электрического поля принята $1.68 \cdot 10^8$ В/м. Контроль содержания загрязни-

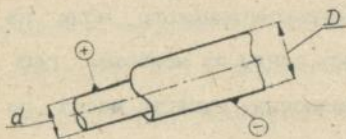


Рисунок 1

теля осуществлялся на приборе контроля чистоты жидкостей ПКЖ-902, согласно ОСТ 23.1.157-86. Обработка РЖ электрическим полем осуществлялась с помощью лабораторного образца устройства обработки РЖ

(УОРЖ) с коаксиальным расположением электродов (рис. 1). Скорость РЖ в электрическом поле определялась конструктивными параметрами УОРЖ. Нагрузка в паре трения изменялась от 2 до 5 кгс. Результаты испытания РЖ на машине трения МАСТ-1 показали, что обработка ее внешним электрическим полем вызывает изменения $M_{тр}$ в паре трения "шарик - шарик". Обработка РЖ, взятой из гидросистемы экскаватора без удаления загрязнителя, вызывает увеличение $M_{тр}$. Изменения $M_{тр}$ носят не линейный характер. Минимум $M_{тр}$ достигается при напряжении на электродах УОРЖ $U=1000$ В.

При обработке внешним электрическим полем РЖ, очищенной от загрязнений до 12 класса чистоты по ГОСТ 17216-71, происходит уменьшение Мтр. Минимум Мтр. отмечен при напряжении на электродах УОРЖ $U=1000$ В и на 28% меньше первоначального значения, т.е. при $U=0$. Таким образом можно сделать следующие выводы:

- принципиально возможно улучшить противоизносные свойства масел путем обработки его электростатическим полем;
- загрязнения РЖ оказывает существенное влияние на результат обработки РЖ внешним электрическим полем.

Однако, проведенные на машине МАСТ-1 эксперименты не позволяют оценить непосредственно изменение фактора, определяющего противоизносные свойства РЖ, так как момент трения является косвенным показателем противоизносного свойства РЖ. Кроме этого, пара трения "шарик - шарик" не может быть принята в качестве физической модели пары трения "поршень - втулка", так как в ней невозможно воспроизвести условия трения последней. Как показал проведенный анализ, противоизносные свойства РЖ во многом определяются адсорбционной способностью последней. Для изучения поведения противоизносного свойства РЖ, при действии на нее электрического поля, были проведены исследования, которые показали как при этом воздействии изменяется толщина адсорбированной на металлической поверхности пленки молекул, из состава РЖ.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработана программа исследований;
- разработано и изготовлено устройство для измерения толщины адсорбированного на металлической поверхности слоя ПАВ;
- разработана методика исследований.

Процесс адсорбции поверхностно-активных молекул на поверхностях определяется объемной концентрацией полярных молекул в РЖ, которая в свою очередь определяется химическим составом последней, а также режимом движения и величиной электростатического поля поверхностей. Перепад давления в УОРЖ принимается не более 0.1 МПа. Такой перепад давления обусловлен геометрией УОРЖ и минимизацией потерь полезной мощности.

Предварительные эксперименты показали, что для выполнения условий по минимизации потерь полезной мощности привода на УОРЖ, скорость потока РЖ в УОРЖ не должна превышать 10 м/с. Поэтому принимаем интервал варьирования скорости потока РЖ в электростатическом поле 1...9 м/с.

Напряжение на электродах УОРЖ варьировалось в интервале 0...3500 В. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы :

- при воздействии электростатического поля на РЖ, на нефтяной основе, (И-Г-А-32) происходит усиление адсорбционной способности последней. Толщина адсорбируемого слоя на поверхностях шариков увеличивается на 40...100 %;

- изменение толщины адсорбированного слоя на поверхностях шариков от напряженности электрического поля носит нелинейный характер;

- в области с режимами обработки $U=1000$ В, $V=6$ м/с процесс адсорбции на поверхностях исследуемых образцов наиболее интенсивен.

- при скоростях потока РЖ в поле 6 и 9 м/с, и повышении напряжения на электродах выше 3500 В, происходило резкое повышение электропроводности (в 100 раз).

Доказано, что обработка РЖ внешним электрическим полем повышает толщину пленки, адсорбирующейся на поверхностях трения.

Однако из аналитических исследований известно, что на прочность адсорбированных на поверхностях слоев молекул из состава РЖ очень большое влияние оказывает нагрузка приложенная в тангенциальном к поверхности направлении. Это значит, что прочность адсорбированных слоев максимальна в нормальном направлении к поверхности и минимальна при касательных нагрузках. В плунжерных парах аксиально-поршневых насосов имеют место высокие давления. Так например максимальное давление, которое способны развивать аксиально-поршневые насосы серии 310, равно 35 МПа. При этом давлении касательная нагрузка на адсорбированный на поверхностях плунжерной пары слой будет максимальной.

Необходимо аналитически изучить и экспериментально подтвердить влияние изменения толщины пленки, адсорбирующейся на поверхностях трения, на износ пары трения "поршень-штулка", с учетом действия на адсорбированный слой касательных сил.

В третьей главе теоретически изучены закономерности абразивного изнашивания плунжерной пары гидронасоса с учетом адсорбционной способности рабочей жидкости и получены теоретические зависимости для расчета объемного КПД аксиально-поршневого насоса по времени наработки с учетом свойств РЖ, давления, расхода в гидросистеме, размеров плунжерной пары.

Рассмотрен элемент аксиально-поршневого насоса, образованный поршнем и блоком цилиндров с зазором между ними. Через зазор при наличии перепада давления происходит перетекание жидкости, при этом содержащиеся в ней абразивные частицы загрязнителя попадают в зазор пары трения.

Абразивную частицу можно моделировать тремя радиусами. Рассмотрим предельный случай, когда одна из дуг заменена касательной. В этом случае контактирующий радиус r сопрягается касательной с объемным радиусом R (рис. 2), что обеспечивает динамическую прочность и устойчивость верхушки абразивной частицы и $a=R$. Модель такого рода применяли И.В. Крагельский и Г.Я. Ямпольский. Такая форма абразивной частицы имеет поверхность, аналогичную поверхности овалоида Кассини.

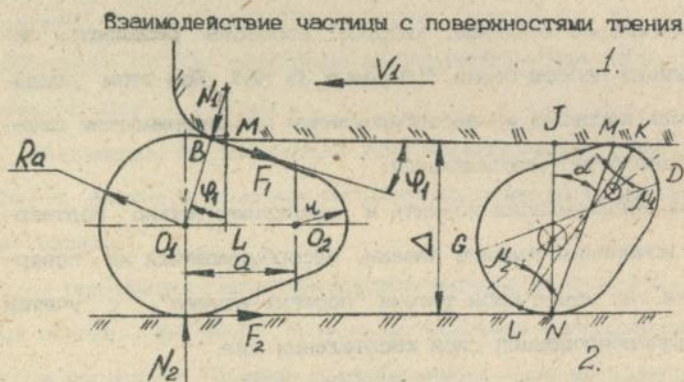


Рисунок 2.

Абразивная частица попадает в зазор (рис.2) при выполнении следующего условия

$$\frac{f_1 + f_2}{1 - f_1 f_2} \geq \frac{\sqrt{(2 R_a - \Delta)(2 R_1 + \Delta)}}{(R_1 + \Delta - R_a)} \quad (1)$$

где R_1 – радиус закругления торца плунжера;

R_a – радиус частицы абразива;

f_1 и f_2 - коэффициент трения в паре трения поверхность 1 - частица, поверхность 2 - частица;

Δ - зазор в паре трения.

Максимальный размер абразива способного заклинить в зазоре равен

$$D_{max} = f_2 (2 R_1 + \Delta) + \Delta \quad (2)$$

Коэффициент трения f в граничном режиме равен

$$f_r = \frac{A_g \cdot V^{-0.4} \cdot \mu^{-1/8}}{\rho \cdot h_m} \quad (3)$$

где A_g - функция материала контртела и состава поверхностно-активных компонентов РЖ, шероховатости поверхностей пары трения

V - скорость движения поверхности;

h_m - толщина пленки ПАВ, адсорбированной на поверхностях трения;

ρ - перепад давления;

μ - кинематическая вязкость РЖ.

Частица попавшая в зазор и имеющая размеры $1a$ будет прижиматься к поверхностям трения 1 и 2 в результате действия на нее сил сопротивления перемещению в вязкой жидкости (сила Стокса).

Как известно, при наличии трения сила реакции поверхности отклоняется от нормали на угол, зависящий от силы трения. Заклинивание частицы будет происходить при условии $\mu \geq \alpha$ (рис. 2). Угол μ это меньший из углов μ_1 и μ_2

Тогда при $\alpha = \alpha/R$

$$f_{min}^2 \approx 1 - \frac{\Delta^2}{R \cdot (H - R \cdot I)} \quad (4)$$

где $H = 2 \cdot \Delta (\alpha + 1)$

$I = \alpha \cdot (2 + \alpha)$

Полученная формула позволяет установить зависимость между

размерами частицы, условиями трения и размерами зазора. Если принять во внимание соотношения размеров, определяющих форму частиц абразива $La = R(2 + \alpha)$, то условие заклинивания частицы в зазоре будет иметь вид

$$\Delta < La \pm \Delta \frac{(\alpha + 1) - \sqrt{(1 + \alpha)^2 - \alpha(2 + \alpha)} / (1 - f^2)}{\alpha} \quad (5)$$

Число частиц одновременно находящихся в зазоре сопряжения можно найти из следующего выражения

$$\Pi = 1.94 \cdot K1 \cdot K2 \frac{\varepsilon_{\text{ср}} \cdot V_3 \cdot \rho_m \cdot l}{V_a \cdot \rho_a \cdot La^3} \quad (6)$$

где $\varepsilon_{\text{ср}}$ - средняя концентрация абразива в масле;

V_3 - объем масла в зазоре пары трения, м^3 ;

ρ_m - плотность масла;

l - длина поверхности трения, м ;

V_a - скорость абразивной частицы в потоке масла относительно неподвижной поверхности, м/с ;

ρ_a - плотность абразива (загрязнителя), кг/м^3

$K1$ - коэффициент учитывающий число частиц участвующих в износе;

$K2$ - коэффициент учитывающий концентрацию в масле частиц с твердостью выше твердости поверхностей трения, $K2=0.7 \dots 0.95$.

Коэффициент учитывающий число частиц участвующих в износе поверхностей трения определяем как

$$K1 = \frac{\int_{\ln La_{\text{min}}}^{\ln La_{\text{max}}} F(x) dx - \int_{\ln La'}^{\ln La''} F(x) d(x)}{\int_{\ln L_{\text{min}}}^{\ln L_{\text{max}}} F(x) d(x)} \quad (7)$$

где L_{\min} - минимальный размер абразива участвующего в износе пары трения, $L_{\min} = \Delta$;

L_{\max} - максимальный размер абразива способного заклинить в зазоре пары трения, $L_{\max} = 2.5 R_{\max}$;

$L_{a'}$ - размер абразива с большим радиусом овалоида равным величине зазора;

$L_{a''}$ - максимальный размер абразива, находящегося в зазоре пары трения, способный заклинить.

$F(x)$ - функция распределения частиц загрязнений по размеру.

В соответствии с принятым законом логнормальным законом распределения дисперсного состава загрязнителя, функция распределения $F(x)$ имеет вид

$$F(x) dx = \frac{e^{-\frac{[\ln(x) - \ln(x_0)]^2}{2 \ln^2(\beta)}}}{\ln(\beta) x \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \quad (8)$$

Тогда

$$\int_{L_{\min}}^{L_{\max}} F(x) dx = \frac{1}{\ln(\beta) \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{L_{\min}}^{L_{\max}} \frac{1}{x} e^{-\frac{[\ln(x) - \ln(x_0)]^2}{2 \ln^2(\beta)}} dx \quad (9)$$

где x - текущее значение размера абразива;

x_0 - среднее значение размера абразива;

$\ln^2(\beta)$ - логарифм среднего квадратического отклонения x от x_0 ,

$$\ln^2(\beta) = 0.867.$$

Воспользуемся функцией Лапласа (табличные значения)

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^x e^{-0.5 x^2} dx \quad (10)$$

Тогда

$$\begin{aligned}
 K_1 = & \left[\Phi_1 \frac{\ln(1.25) \Delta_{\max} - \ln(x_0)}{\ln \beta} - \Phi_2 \frac{\ln \beta - \ln(x_0)}{\ln \beta} - \right. \\
 & - \Phi_3 \frac{\ln[3 \cdot \Delta \cdot (1 - \sqrt{1 - 0.556 / (1 - fr^2)})] - \ln(x_0)}{\ln \beta} + \\
 & + \Phi_4 \frac{\ln(2.5 \cdot \Delta / 2) - \ln(x_0)}{\ln \beta} \left. \right] / \left[\Phi \frac{\ln(L_{\max}) - \ln(x_0)}{\ln \beta} - \right. \\
 & - \Phi \frac{\ln(L_{\min}) - \ln(x_0)}{\ln \beta} - \Phi \frac{\ln(L_{a'}) - \ln(x_0)}{\ln \beta} + \\
 & \left. + \Phi \frac{\ln(L_{a''}) - \ln(x_0)}{\ln \beta} \right] \quad (11)
 \end{aligned}$$

Линейный износ деталей пары с возвратно-поступательным движением (плунжерная пара насоса) за время работы определяется из выражения

$$I = \frac{K \cdot \Gamma \cdot m \cdot T (V_{др} + V_{пл} / \delta_0^t)}{A} \quad (12)$$

где K - коэффициент, учитывающий увеличение износа образовавшимися осколками раздробившихся частиц, $K=7$:

$V_{др}$ - объемный износ при дроблении частиц;

$V_{пл}$ - износ в результате пластических деформаций;

δ_0 - относительное удлинение материала при разрыве;

t - коэффициент усталости при пластических деформациях.

m - число циклов за один час работы;

T - время работы пар трения;

A - номинальная площадь трения, мкм^2 :

$$A = \pi (D_{пл} l_{пл} + D_{вт} l_{вт}), \quad (13)$$

где $D_{пл}, D_{вт}$ - диаметр плунжера, втулки:

$l_{пл}, l_{вт}$ - длина плунжера, втулки.

Подставим значение Π из уравнения (6)

$$И = 2503 \cdot 96 \cdot K_1 \cdot K_2 \frac{\varepsilon_{ср} V_3 \rho_m l}{V_a \rho_a L a^3} \cdot T \cdot m \cdot \frac{V_{др} + V_{пл} / \delta \cdot \sigma^2}{D_{пл} \cdot l_{пл} + D_{вт} l_{вт}} \quad (14)$$

Величину общего расхода утечки жидкости через кольцевую щель с учетом движения втулки можно определить из выражения

$$Q_{ут} = \frac{\pi \Delta P \cdot h^3 \cdot D_{вт}}{12 \mu L} \quad (15)$$

где h - зазор между плунжером и втулкой:

L - длина щели:

Объемный КПД гидронасоса определяется следующей зависимостью

$$\eta_{об} = 1 - \frac{\Delta P \cdot (h_0 + И)^3}{3 \cdot \mu \cdot L \cdot D_{вт}^2} \quad (16)$$

где h_0 - начальный зазор.

Выводы:

- интенсивность процесса износа пары трения "втулка-плунжер" зависит от количества частиц участвующих в процессе износа и толщины адсорбированного на поверхностях трения пленки молекул из состава РЖ:

- толщина адсорбированного на поверхностях трения слоя молекул из состава РЖ, определяет гранулометрический состав абразивных частиц участвующих в процессе износа:

- ресурс насоса при обработке РЖ внешним электрическим полем увеличивается более чем в 1.5 раза.

В четвертой главе приведена разработанная программа, методики и результаты экспериментальных исследований влияния обработки РЖ внешним электростатическим полем на характер снижения объемного КПД аксиально-поршневых насосов, используемых в гидросистемах строительных машин.

Программой экспериментальных исследований предусмотрено проведение лабораторных испытаний для установления зависимости изменения адсорбционной способности РЖ от режимов обработки ее внешним электрическим полем при действии в качающем узле максимального давления. А также проведение стендовых испытаний аксиально-поршневого гидронасоса серии 210.25 для установления закономерности изменения его объемного КПД во времени при наличии в РЖ загрязнителей и обработке ее внешним электрическим полем.

Лабораторные исследования проводились с целью установления зависимости изменения адсорбционной способности РЖ от режимов обработки ее внешним электрическим полем, при действии в качающем узле давления 35 МПа. В качестве физической модели пары трения была выбрана плунжерная пара топливного насоса высокого давления.

Этот выбор обусловлен следующими причинами:

- в этой паре плунжер совершает возвратно-поступательное движение;
- развиваемое давление равно давлению в аксиально-поршневых насосах серии 210, 310;
- режим нагружения качающего узла ТНВД (цикл) близок к режиму нагружения аксиально-поршневых насосов серии 210, 310.

Результаты поисковых лабораторных исследований зависимости толщины адсорбированной пленки на металлических поверхностях от напряженности поля и скорости РЖ в поле показали наличие двух зон по параметру U , в которых имеет место максимум эффекта адсорбции.

Поэтому, с целью изучения поведения процесса адсорбции в окрестностях, максимума эффекта адсорбции, варьирование фактора U разбиваем на два диапазона $0 \dots 2000$ В и $1000 \dots 3000$ В.

Скорость РЖ в устройстве для ее обработки изменялась в пределах $3 \dots 9$ м/с с шагом 3 м/с. Верхний предел скорости устанавливался из условия ламинарности потока в межэлектродной области.

Поиск зависимости толщины адсорбированного слоя масла от напряжения на электродах УОРЖ и скорости прохождения РЖ относительно электродов путем реализации двух-факторного ортогонального плана второго порядка.

Обработка результатов лабораторных испытаний позволила получить уравнения регрессии, описывающие исследуемый процесс. Уравнения имеют следующий вид.

$$Q_1 = 185.24 - U \cdot 106 + V \cdot 5.61 - U^2 \cdot 3.22 \cdot 10^6 - V^2 \cdot 0.48 - V \cdot U \cdot 3.88 \cdot 10^4, \quad (17)$$

$$Q_2 = 194.14 - U \cdot 4020 + V \cdot 6.14 + U^2 \cdot 5.3 \cdot 10^7 - V^2 \cdot 0.58 + V \cdot U \cdot 1.66 \cdot 10^4, \quad (18)$$

где Q_1, Q_2 - соответственно, расход при изменении напряжения на электродах УОРЖ в пределах $U_1 = 0 \dots 2000$ В, $U_2 = 1000 \dots 3000$ В;

U_1, U_2 - напряжение на электродах УОРЖ, В;

V - скорость потока РЖ в поле в интервале $3 \dots 9$ м/с.

Лабораторные испытания показали, что при давлении в напорной магистрали насоса $P = 35$ МПа, т.е. при максимальном давлении, происходит увеличение толщины адсорбируемой пленки из состава РЖ при ее обработке внешним электрическим полем (рис. 3). Это сопровождается увеличением расхода в плунжерной паре. Область рациональных режимов обработки РЖ лежит в пределах $U = 1000$ В при скорости ее в поле $V = 6$ м/с.

В общем виде закономерность изменения объемного КПД гидронасоса во времени можно представить в виде квадратичной зависимости

Расход в плунжерной паре ТНВД при обработке РЖ эл. полем

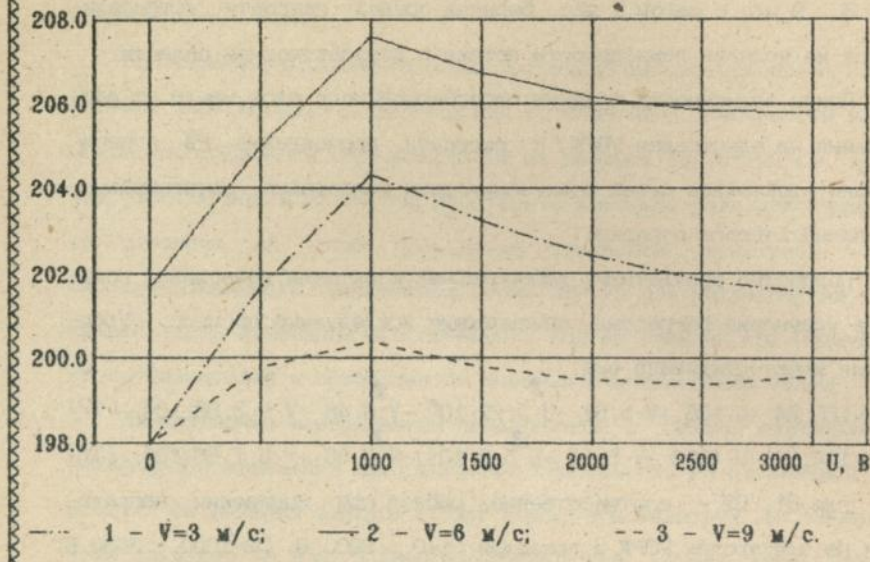


Рисунок 3

$$\eta = \eta_0 - A_1 - A_2 \cdot t^2 \quad (19)$$

где η_0 - объемный КПД насоса после приработки пар трения;

t - наработка насоса, маш.-час,

A_1, A_2 - коэффициенты, характеризующие условия эксплуатации.

Для определения A_1 и A_2 достаточно решить систему уравнений

$$\begin{cases} (d\eta/dt)_1 = -A_1 - 2 \cdot A_2 \cdot t_1 \\ (d\eta/dt)_2 = -A_1 - 2 \cdot A_2 \cdot t_2 \end{cases} \quad (20)$$

где $(d\eta/dt)_1$ - скорость снижения объемного КПД насоса с наработкой t_1 ;

$(d\gamma/dt)_2$ - скорость снижения объемного КПД насоса с наработкой t_2 .

$$\begin{cases} (d\gamma/dt)_1 = f(E, G) = v_1 \\ (d\gamma/dt)_2 = f(E, G) = v_2 \end{cases} \quad (21)$$

где E - напряженность электрического поля кВ/м^2 ;

G - массовая концентрация механических примесей в РЖ.

Для установления зависимости (21) были проведены исследования на стенде, разработанном и изготовленном ХГАДТУ. Стенд включает следующие основные элементы: гидронасос, бак с коническим дном и мешалкой, обеспечивающей поддержание загрязнителя во взвешенном состоянии и равномерную его концентрацию во всем объеме РЖ, нагружающее устройство с системой автоматического задания режима нагружения насоса, комбинированная система охлаждения (водяная, воздушная), расходомер. Для обработки РЖ внешним электрическим полем было разработано устройство обработки РЖ питающееся от источника высокого напряжения ВС-23. Для привода гидронасоса используется асинхронный электродвигатель с фазным ротором.

Наиболее дорогостоящими, а также определяющими работоспособность агрегатами на большинстве современных строительных машин являются аксиально-поршневые насосы и гидромоторы. Для строительной и дорожной техники, выпускаемой в странах СНГ используются аксиально-поршневые гидроагрегаты серии 200 и 300. Наиболее широкое применение нашли односекционные насосы - гидромоторы постоянного рабочего объема типа 210.25. Они устанавливаются на различные строительные машины: экскаваторы, автокраны, погрузчики и т.п. Поэтому используемая для эксперимента гидромашинка 210.25 может рассматриваться как насос - представитель, что и обусловило выбор ее в качестве объекта исследований. Кроме того гидро-

тор 210.25 и двухсекционный регулируемый насос 223.25 имеют унифицированные качающие узлы, что позволяет распространить выявленные закономерности изнашивания качающих узлов на оба типа насосов.

В качестве механических примесей в процессе стендовых исследований использовался среднезвешенный естественный загрязнитель, собранный из центрифуги маслоочистительной установки УМЦ-901А при очистке гидросистем экскаваторов Харьковского специализированного управления экскавации. Характеристики загрязнителя, полученные в результате микроскопического и спектрального анализа приведены в работе.

Для выбора режима нагружения при исследованиях на стенде были обработаны осциллограммы изменения давления в напорной магистрали гидросистемы экскаватора ЭО-4121. Результаты обработки показали, что распределение вероятности величины давления подчиняется нормальному закону распределения с математическим ожиданием 12.6 МПа и средне-квадратическим отклонением 7.14 МПа. В соответствии с этим давление в гидросистеме стенда изменялось циклически от максимального значения (19.7 МПа) до минимального (5.5 МПа).

Исследованиями ВНИИстройдормаш установлено, что математическое ожидание продолжительности рабочего цикла экскаватора ЭО-4121 составляет 20.5 с. Тогда частота нагружения насоса составляет 0.195 Гц, а период одного цикла нагружения - 5.13 с. Анализ эксплуатационных и лабораторных исследований позволил наметить уровни варьирования факторов: концентрация механических примесей 0.005...0.063 (13...17 класс чистоты по ГОСТ 17216-71); напряжение на электродах УОРЖ 0...2000 В. В процессе исследований ис-

пользовались два новых гидронасоса (наработка 0 маш.-час) и два гидронасоса с первоначальной наработкой 1200 маш.-часов. Перед началом исследований была проведена оценка точности контрольно-измерительных приборов, используемых в процессе проведения эксперимента. Относительная погрешность измерения объемного КПД насоса менее 0.5%.

Решение поставленной задачи осуществлялось путем реализации ортогонального плана двухфакторного эксперимента. В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии для объемного КПД гидронасоса, учитывающее время работы T , степень загрязненности РЖ механическими примесями G и напряжение U на электродах УОРЖ (см. рис. 4)

$$\begin{aligned} \eta_v = \eta_{v0} - T \cdot [7.8 + G \cdot 1000 - U \cdot 5.019 - G^2 \cdot 5090 + U^2 \cdot 0.94 \cdot 10^{-5} - \\ - U \cdot G \cdot 0.045] \cdot 10^{-5} - T^2 \cdot [0.22 \cdot 10^{-3} + G \cdot 0.013 + U \cdot 0.63 \cdot 10^{-6} + \\ + G^2 \cdot 0.63 - U^2 \cdot 2.37 \cdot 10^{-10} - G \cdot U \cdot 8.72 \cdot 10^{-6}] \cdot 10^{-5} \end{aligned} \quad (22)$$

Зависимость (22) может быть использована при выполнении следующих условий:

КПД насоса при обработке РЖ эл. полем, $Z=13$

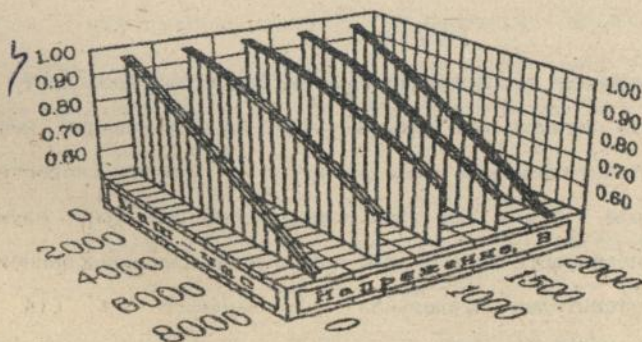


Рисунок 4

$$0 < U < 2000 \text{ В}$$

$$0.005 < G < 0.063$$

$$0.65 < \lambda < 0.965$$

Для сравнения результатов экспериментального и теоретического исследований по полученным зависимостям, приведенным в главе 2 и 4, были просчитаны значения объемного КПД гидронасоса. Сравнение результатов, полученных по теоретической и эмпирической зависимостям, показывает что расхождение между ними не превышает 15 % (рис. 5).

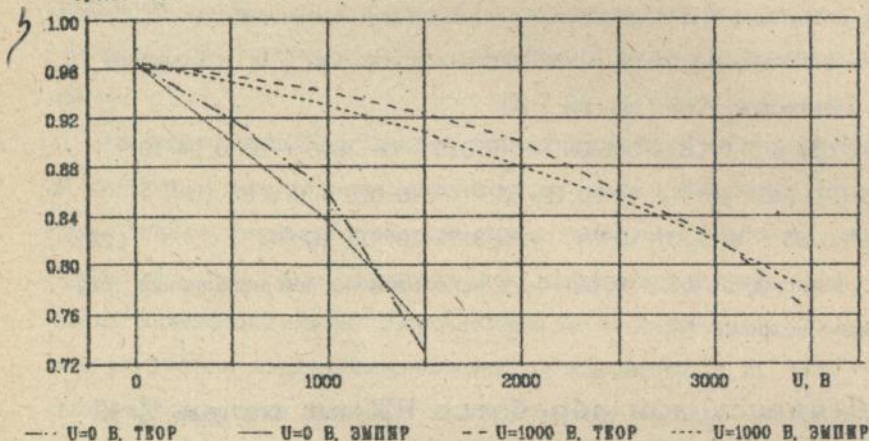


Рисунок 5

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что оптимальными режимами обработки РЖ внешним неоднородным электростатическим полем являются: U 1000 при скорости ее потока в поле V 6 м/с. При этом режиме обработки срок службы аксиально-поршневого насоса, при соблюдении рекомендованной заводом изготовителем предельной загрязненности РЖ (14 класс чистоты), может быть увеличен в 1.8..2 раза.

В пятой главе приведены рекомендации по эксплуатации, разра-

ботанного по результатам проведенных исследований УОРЖ, а также методика расчета остаточного ресурса аксиально-поршневого гидронасоса. Оценка экономической эффективности выполненных исследований проведена применительно к гидравлическому экскаватору ЭО-4121. В качестве базового варианта принята эксплуатация экскаватора со штатным оборудованием, установленным заводом изготовителем. Разработанное устройство обработки РЖ электрическим полем позволяет, по сравнению с базовым вариантом, снизить скорость износа качающих узлов гидроагрегатов экскаватора и, как следствие, увеличить его годовую техническую производительность.

Основные результаты и выводы по работе

1. В результате выполненных исследований установлено, что основной причиной выхода из строя гидроагрегатов, используемых в гидросистемах СДМ, является абразивный износ их деталей. Процесс износа деталей гидроагрегатов обусловлен в основном противоизносными свойствами применяемой РЖ и концентрацией в ней механических примесей. Таким образом снижение концентрации механических примесей и повышение противоизносных свойств применяемой РЖ является важнейшим ресурсом повышения эффективности работы и ресурса гидропривода СДМ в целом.

2. Разработан способ повышения противоизносных свойств РЖ путем обработки ее внешним электрическим полем. Такая обработка РЖ позволяет улучшить ее противоизносные свойства за счет увеличения толщины адсорбируемой на поверхностях трения пленки. При режимах обработки $U = 6$ мВ и $I = 1000$ В толщина пленки увеличивается в

1.5...2 раза.

3. Теоретические исследования позволили установить зависимость объемного КПД аксиально - поршневого насоса от толщины адсорбированной пленки молекул РЖ. Полученная математическая модель позволяет учитывать влияние на процесс абразивного износа как конструктивные особенности пары трения, режимы ее нагружения, режим трения, так и противоизносные свойства системы "поверхность - РЖ", зависящие от интенсивности процесса адсорбции в ней.

4. Стендовые испытания натуральных образцов аксиально-поршневых гидронасосов позволили установить закономерность изменения их объемного КПД во времени в зависимости от степени загрязненности РЖ механическими примесями и режима обработки внешним электрическим полем. Рациональным режимом обработки РЖ внешним неоднородным электростатическим полем является: напряжение на электродах УОРЖ $U = 1000$ В, при скорости потока РЖ в поле $V = 6$ м/с. При этом режиме обработки и соблюдении рекомендованной заводом изготовителем предельной загрязненности РЖ (14 класс чистоты), срок службы аксиально-поршневого насоса может быть увеличен в 1.8..2 раза.

5. Разработана методика расчета изменения объемного КПД аксиально-поршневых гидронасосов в зависимости от режима обработки РЖ внешним электрическим полем и степени ее загрязненности.

6. Использование результатов работы на экскаваторе марки ЭО4321 обеспечивает получение экономического эффекта в сумме 700 млн. крб. в год (в ценах на март 1995 года).

Основные положения диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Руднев В.К., Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б. Влияние электрической обработки рабочей жидкости на объемный КПД плунжерной пары. Тезисы докладов НТК. - Харьков, 1984 г.

2. Руднев В.К., Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б. Исследование влияния электрической обработки масла на коэффициент трения в трущейся паре. Тезисы докладов НТК. - Харьков, 1984 г.

3. Руднев В.К., Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б., Н.В. Тинь Стенд для испытания гидронасосов строительных и дорожных машин. Межвузов. сб. н/т "Совершенствование строительных и горных машин для севера", Красноярского политехнического института, - Красноярск, 1992 г.

4. Лысиков Е.Н., Косолапов В.Б. Тезисы докладов НТК. - Нижний Новгород, 1994 г.

5. А.С. СССР N1611450 Электроцентробежный очиститель
Руднев В.К., Косолапов В.Б., Юрченко Ю.В.

Косолапов В.Б Підвищення експлуатаційної надійності гідроприводів будівельних та дорожніх машин при впливі зовнішнього електричного поля на робочу рідину.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.05.04 - машини для земляних та дорожніх робіт. Харківський державний автомобільно дорожній технічний університет, Харків 1996 г.

Захищається робота, що містить пошукові досліді, теоретичні дослідження, а також лабораторні та натурні експерименти, що розкривають можливість підвищення надійності аксіально-поршневих гідронасосів (моторів) при впливі зовнішнього електричного поля на робочу рідину.

Встановлено, що обробка робочої рідини зовнішнім електричним полем підвищує її протизносну властивість.

Це дозволяє збільшити у 1.8... 2 рази термін служби аксіально-поршневих гідронасосів (моторів).

Розроблена теоретична модель абразивного зноса, що враховує вплив зовнішнього електричного поля на протизносну властивість робочої рідини.

Впровадження результатів виконаних досліджень дозволяє значно підвищити експлуатаційну надійність гідроприводів будівельних та дорожніх машин.

Ключові слова: гідропривід, аксіально-поршневий, гідронасос, абразивний ізнос, протизносна властивість, робоча рідина.

Kosolapov V.B. Increase of operational reliability hydraulic systems of building and road machines at effect of a external electrical field on a working liquid.

Dissertation for an academic degree of the Candidate of Technical sciences on a speciality 05.05.04 - machine for an earthen and road work. Kharkov State Automobile-road Technical University, Kharkov, 1996.

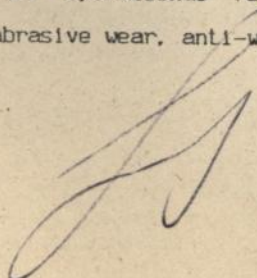
The protected work, which contains search experiments, theoretical researches, as well as laboratory and standing experiments, revealing opportunity of increase of operational reliability аксиально-поршневых hydropumps (motors) at effect of external electrical field on working liquid.

Is established, that the processing of a working liquid by a external electrical field increases her anti-wear property. It permits to increase at 1.8. ..2 times of service life hydropumps (motors).

Theoretical model of abrasive wear, taking into account influence of a external electrical field on противозносное property of a working liquid is developed.

The introduction of results of executed researches permits considerably to increase operational reliability hydraulic systems of building and road machines

Key words: operational reliability, hydraulic system, hydropump, abrasive wear, anti-wear property, working liquid.



Заказ №35647. Тираж 100.
Отпечатано: НПП "Ротор".
Тел. 33-94-77

452786

AB 33.921