

**На правах рукописи**

**МАРТЫНОВ Алексей Владимирович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА  
ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ  
И УПРОЧНЕНИЕМ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ  
ОБРАБОТКИ**

**Специальность: 05.20.03 – технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Саранск 2012**

Работа выполнена на кафедре технического сервиса машин ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» и в лаборатории № 11 ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии.

**Научный руководитель:** заслуженный деятель науки и техники РФ  
доктор технических наук профессор  
**Бурумкулов Фархад Хикматович**

**Официальные оппоненты:** **Водяков Владимир Николаевич**  
доктор технических наук профессор  
ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва»,  
профессор кафедры механизации переработки с.-х. продукции

**Казаков Константин Геннадьевич**  
кандидат технических наук доцент  
ФГБОУ ВПО «Калмыцкий государственный университет», главный инженер

**Ведущая организация:** ФГОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита состоится 22 марта 2012 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.117.06 ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» по адресу: 430904, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. М. М. Бахтина ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» и на сайтах: [www.mrsu.ru](http://www.mrsu.ru) и [vak2.ed.gov.ru](http://vak2.ed.gov.ru).

Автореферат разослан \_\_ февраля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



**В. А. Комаров**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время в гидравлических системах тракторов сельскохозяйственного и промышленного назначения, выпускаемых заводами стран СНГ применяются клапанно-золотниковые гидрораспределители.

По данным ОАО «Гидросила», ОАО «Гидравлик», РУП «Гомельский завод «Гидропривод», областных, краевых и республиканских формирований АПК, ежегодно утилизируется более 80 тыс. гидрораспределителей и около 200 тыс. ремонтируются различными способами.

Предлагаемые технологические решения, разработанные в 70–90-х гг. прошлого столетия, ориентированные на массовый и крупносерийный тип производства, утратили практическую значимость, при этом межремонтный ресурс гидрораспределителей, отремонтированных по некоторым из них, от двух до шести раз ниже, чем у новых.

Современному ремонтному производству нужны новые экологически безопасные, энерго- и ресурсосберегающие технологии, позволяющие обеспечить ресурс отремонтированных агрегатов на уровне доремонтного при себестоимости не выше 30–40 % от стоимости новых агрегатов.

Повышение межремонтной наработки гидрораспределителей до уровня новых при годовом объеме ремонта 200 тыс. шт. в год позволит экономить в общей сложности более 4857 т чугуна, стали и цветного металла. При этом прямая экономия потребителя в масштабах страны составит более 460 млн. руб.

В связи с этим задача совершенствования технологии, обеспечивающей повышение ресурса отремонтированных гидрораспределителей до уровня новых, является актуальной.

**Цель исследования** – разработка технологии необезличенного ремонта гидрораспределителей с восстановлением и упрочнением изношенных деталей методом электроискровой обработки (ЭИО), обеспечивающей стопроцентный послеремонтный ресурс.

**Объект исследования** – новые, бывшие в эксплуатации и отремонтированные с восстановлением и упрочнением деталей методом ЭИО гидрораспределители Р80.

**Предмет исследования** – механизм потери работоспособности гидрораспределителей и технология ремонта с восстановлением изношенных деталей методом ЭИО.

**На защиту выносятся:**

- статистические модели связи общей утечки жидкости и утечки через золотниковые пары с износами деталей;
- обоснование предельных и допустимых значений износов деталей узла перепускного клапана и золотниковых пар, определяющих предельные и допустимые значения общих утечек и утечек через золотниковые пары;
- обоснование повышения износостойкости и снижения коэффициента трения золотниковых пар, основанное на молекулярно-механической теории трения;
- математическая модель связи толщины покрытия с кинематическими режимами при механизированной электроискровой обработке;
- усовершенствованный технологический процесс ремонта гидрораспределителей, обеспечивающий повышение ресурса отремонтированных гидрораспределителей до уровня новых;

– результаты исследования ресурса новых гидрораспределителей, отремонтированных с восстановлением деталей методом ЭИО и по усовершенствованной технологии.

#### **Научная новизна работы:**

– получены регрессионные уравнения, адекватно описывающие связь общей утечки и утечки через золотниковые пары с износами деталей;

– определены предельные и допустимые значения износов деталей узла перепускного клапана и золотниковых пар;

– получены значения скорости перемещения электрода и скорости вращения детали, позволяющие наносить толстослойные покрытия при механизированной электроискровой обработке;

– определены физико-механические свойства и параметры топографии покрытий, полученных методом ЭИО;

– установлены значения триботехнических характеристик пар трения, полученных нанесением на поверхности образцов покрытий методом ЭИО и финишной антифрикционной безабразивной обработке (ФАБО);

– разработан усовершенствованный технологический процесс, обеспечивающий ресурс гидрораспределителей на уровне новых за счет создания на рабочих поверхностях деталей износостойких электроискровых покрытий;

– установлены значения средних ресурсов новых гидрораспределителей, отремонтированных с восстановлением деталей методом ЭИО и по усовершенствованной технологии.

**Программа исследований** имела следующую последовательность: получение экспериментального факта; определение и исследование факторов, влияющих на общую утечку жидкости и утечку жидкости через золотниковые пары; определение предельных и допустимых значений износов деталей; исследование физико-механических свойств электроискровых покрытий; определение кинематических режимов при механизированной обработке; исследование триботехнических свойств электроискровых покрытий. Результаты экспериментов были получены с использованием современного научно-исследовательского оборудования: металлографического комплекса «*Tegra Force*» и профилографа-профилометра «*Form Talysurf*». Обработка результатов исследований проводилась методами математической статистики с использованием пакета прикладных программ «*Statistica 8.0*» и «*Excel 2010*».

**Практическая значимость** работы заключается во внедрении в ремонтное производство усовершенствованной технологии ремонта гидрораспределителей, обеспечивающей ресурс на уровне новых.

**Реализация результатов исследования.** Усовершенствованный технологический процесс ремонта гидрораспределителей внедрен на ОАО «Дальверзинский ремонтный завод», Республика Узбекистан (2008 г.); МИП «ООО «Агросервис», г. Саранск (2009 г.); ОАО «Грачевский завод «Гидроагрегат», Ставропольский край (2010 г.).

**Апробация.** Основные положения и результаты работы доложены на международных научно-технических конференциях «Научные проблемы развития ремонта, технического обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей» (г. Москва, ГОСНИТИ, 2009–2011 гг.), на Огаревских чтениях, проводимых в Мордовском университете (г. Саранск, 2008–2011 гг.), и на расширенном заседании кафедры технического сервиса машин ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарева».

Усовершенствованная технология ремонта гидрораспределителей, обеспечи-

вающая повышение ресурса до уровня новых, удостоена наград российских агропромышленных выставок «Золотая осень» (г. Москва, ВВЦ, 2009–2011 гг.) и Международного салона «Архимед» (г. Москва, ВВЦ, 2010 г.). Технологии ремонта агрегатов, обеспечивающие ресурс на уровне новых, отмечены программой «100 лучших товаров России».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, руководящий документ РД 10.003–2009 «Геометрические параметры и физико-механические свойства поверхностей образованных при электроискровой обработке материалов в газовой среде», общее руководство по ремонту «Технология необезличенного ремонта гидравлических распределителей с цилиндрическими и плоскими золотниками». Получены патенты РФ на изобретение № 2398668 и на полезную модель № 110435.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 227 страницах машинописного текста, включает 93 рисунка и 45 таблиц, список литературы содержит 102 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, поставлена цель, обозначен объект исследований.

**В первой главе** проведен анализ состояния вопроса и определены задачи исследования.

Рассмотрены работы К. А. Ачкасова, Ф. Х. Бурумкулова, С. А. Величко, А. Д. Верхотурова, В. И. Иванова, П. А. Ионова, В. А. Дидура, Г. Л. Кальбуса, С. Г. Карташова, А. В. Котина, Е. А. Лисунова, П. П. Лезина, В. Н. Лозовского, В. М. Михлина, Н. С. Мясоедова, А. В. Поляченко, Н. В. Ракова, П. В. Сенина, В. Е. Черкуна, В. И. Черноиванова и других авторов, труды которых посвящены надежности и методам восстановления изношенных деталей.

При входном контроле гидрораспределителей решение о постановке агрегата на капитальный ремонт принимается, если общие внутренние утечки жидкости превышают предельное значение, установленное РТМ 70.0001.246–84 и ОСТ 10.273–2002. Кроме того, одним из важных функциональных параметров гидрораспределителей является обеспечение гидроплотности золотниковых пар. Образование утечек через зазоры золотниковых пар влечет за собой просадку рабочего органа. Однако предельное значение данного параметра в технической документации не указывается. В связи с этим важно определение предельного значения утечки жидкости экспериментальным путем.

Проведенный анализ отказов гидрораспределителей Р80 позволил определить факторы, влияющие на *общие утечки жидкости*: износ направляющей поверхности клапана  $U_{н.н}$  (мкм), износ внутренней поверхности направляющей  $U_{в.н}$  (мкм), износ конической поверхности клапана  $U_{кон}$  (мкм), износ второго  $U_{к2}$  (мкм) и четвертого  $U_{к4}$  (мкм) поясков корпуса, износ второго  $U_{з2}$  (мкм) и пятого  $U_{з5}$  (мкм) поясков золотника, технологический зазор в соединении клапан – направляющая  $Z_{Тк-н}$  (мкм), технологический зазор в соединении золотник – корпус  $Z_{Тз-к}$  (мкм) (рис. 1) – и

утечки жидкости через золотниковые пары: износы второго  $U_{к2}$  (мкм) и третьего  $U_{к3}$  (мкм) поясков корпуса, износы третьего  $U_{з3}$  (мкм) и четвертого  $U_{з4}$  (мкм) поясков золотника, технологический зазор в соединении золотник – корпус  $Z_{Тз-к}$  (мкм) (рис. 2).

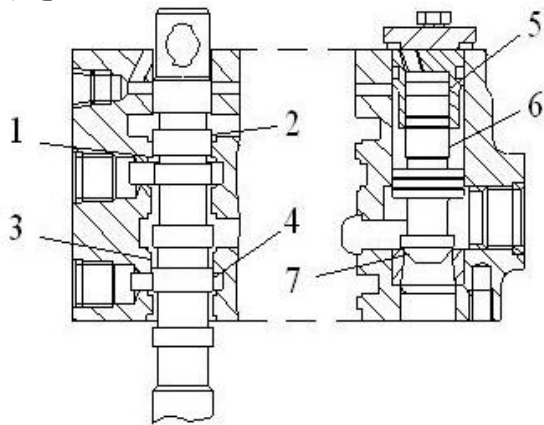


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на общую утечку жидкости: 1, 3 – износ второго и четвертого поясков корпуса в зоне перекрытия; 2, 4 – износ второго и пятого поясков золотника в зоне перекрытия; 5 – износ внутренней поверхности направляющей; 6, 7 – износ направляющей и конической поверхностей клапана

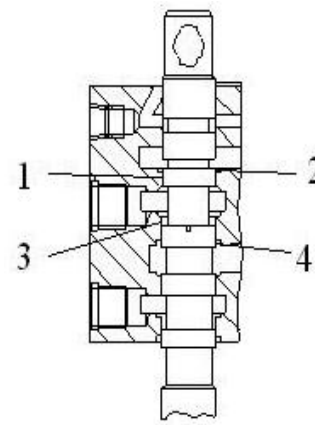


Рисунок 2 – Факторы, влияющие на утечку жидкости через золотниковые пары: 1, 3 – износы второго и третьего поясков корпуса в зоне перекрытия; 2, 4 – износы третьего и четвертого поясков золотника в зоне перекрытия

Анализ процесса ЭИО в механизированном режиме показал, что при оптимизации режимов за постоянные факторы целесообразно принимать: энергию электрического импульса; материал и размер детали; материал и размер электрода и частоту вращения электрода, а за переменные кинематические параметры системы – скорость перемещения электрода и скорость вращения детали.

Тогда толщина покрытия в зависимости от кинематических параметров системы будет определяться уравнением вида

$$h = f(V_s; V_n) \text{ при } (W, M_d, d_d, M_{эл}, d_{эл}, n_{эл}) = const, \quad (1)$$

где  $V_s$  – скорость перемещения электрода, мм/мин;  $V_n$  – скорость вращения детали, мм/мин;  $W$  – энергия единичного искрового разряда, Дж;  $M_d, M_{эл}$  – материал детали и электрода соответственно;  $d_d$  – диаметр детали, мм;  $d_{эл}$  – диаметр электрода, мм;  $n_{эл}$  – частота вращения электрода, об/мин.

Установлено, что для повышения межремонтного ресурса гидрораспределителей необходимо решить следующие **задачи**.

1. Исследовать техническое состояние новых и бывших в эксплуатации гидрораспределителей посредством стендового контроля и микрометражных исследований.
2. Установить связи общей утечки жидкости и утечки жидкости через золотниковые пары с износами деталей и технологическими зазорами в соединениях.
3. Определить предельные и допустимые значения износов деталей узла перепускного клапана и золотниковых пар.
4. Исследовать влияние кинематических режимов механизированной электроискровой обработки цилиндрических поверхностей на толщину покрытия.
5. Провести металлографические исследования и определить физико-механические свойства электроискровых покрытий с подачей в зону обработки углерода.

6. Оценить параметры топографии поверхностей, полученных после механической обработки и методом ЭИО.

7. Исследовать триботехнические свойства пар трения, полученных нанесением на поверхности образцов покрытий методом ЭИО и ФАБО;

8. Усовершенствовать технологический процесс, обеспечивающий повышение ресурса отремонтированных гидрораспределителей до уровня новых.

9. Провести сравнительный анализ ресурса новых гидрораспределителей, отремонтированных с восстановлением деталей методом ЭИО и по усовершенствованной технологии.

**Во второй главе** рассмотрены теоретические предпосылки к экспериментальным исследованиям.

В связи с большим количеством факторов, а также сложным характером эпюр износа поверхностей деталей определение общих утечек жидкости и утечек жидкости через золотниковые пары проведено методом статистического моделирования.

Установлено, что на 89,1 % достоверность значений общей утечки жидкости определяется значениями независимых значимых факторов, включенных в регрессионное уравнение

$$\bar{V}_{\text{общ}} = \exp(0,231 U_{\text{н.н}} + 0,281 U_{\text{в.н}} + 0,643 \text{Ln}U_{\text{кон}}), \text{ см}^3/\text{мин}. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что общая утечка жидкости определяется износами поверхностей деталей: наружной поверхностью направляющей перепускного клапана, внутренней поверхностью направляющей и конической поверхностью клапана. Остальные факторы являются незначимыми.

Проверка по критерию Фишера показала, что расчетное значение  $F(9,24) = 21,927$  больше критического  $F_{\text{кр}} = 2,5$ , следовательно, уравнение (2) адекватно описывает процесс общей утечки жидкости. Оценка остатка, т.е. разницы между наблюдаемыми и прогнозируемыми утечками, по критерию Дарбина – Уотсона показала, что  $\rho = -0,184$  и  $d = 2,21 > DU-3 = 1,65$ ;  $4-d = 1,79 > DU-3 = 1,65$ , следовательно, гипотеза о независимости остатков в регрессионном уравнении (3) при 10%-м уровне значимости не отвергается.

Статистическими исследованиями установлено, что на 91,2 % достоверность значений утечек жидкости через золотниковые пары определяется значениями независимых значимых факторов, включенных в регрессионное уравнение

$$\bar{V} = \exp(0,392 \text{Ln}U_{\text{к2}} + 0,340 U_{\text{з3}} + 0,374 \text{Ln}U_{\text{к3}} + 0,173 U_{\text{з4}}), \text{ см}^3/\text{мин}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что все факторы являются значимыми.

Проверка по критерию Фишера показала, что расчетное значение  $F(5,69) = 143,77$  больше критического  $F_{\text{кр}} = 2,4$ , следовательно, уравнение (3) адекватно описывает процесс утечки жидкости золотниковых пар. Оценка остатка, т.е. разницы между наблюдаемыми и прогнозируемыми утечками, по критерию Дарбина – Уотсона показала, что  $\rho = 0,062$  и  $d = 1,86 > DU-4 = 1,74$ ;  $4-d = 2,14 > DU-4 = 1,74$ , следовательно, гипотеза о независимости остатков в регрессионном уравнении (3) при 10%-м уровне значимости не отвергается.

Для определения связи общей утечки жидкости и утечки через золотниковые пары со статистически значимыми факторами и их взаимным влиянием проведен экспериментальный эксперимент по плану  $2^3$  и  $2^4$  соответственно. В результате многофакторного эксперимента получена математическая модель связи общей утечки жидкости с износами деталей в виде

$$V_{\text{общ}} = 51,89 U_{\text{н.н}}^{0,1181} U_{\text{в.н}}^{0,1194} U_{\text{кон}}^{1,001} \quad (4)$$

Степень влияния факторов на общую утечку жидкости представлена на рис. 3.

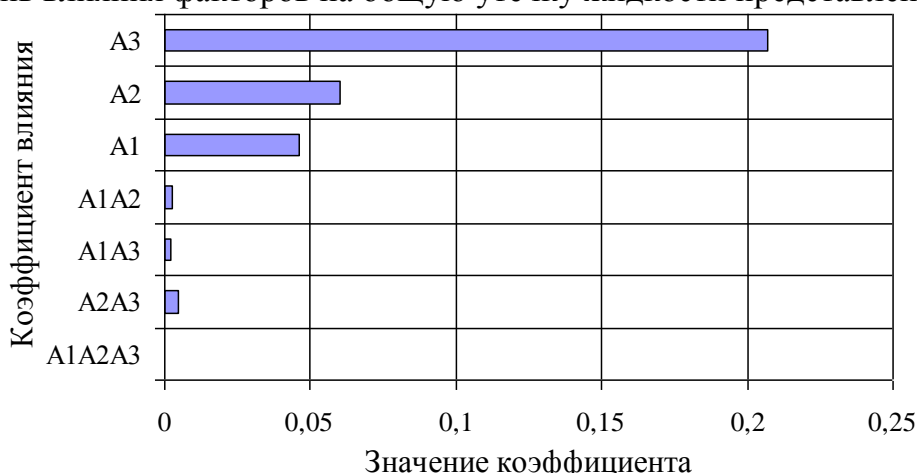


Рисунок 3 – Степень влияния факторов на общую утечку жидкости

Аналитическая оценка степени влияния значимых факторов на общую утечку жидкости показала, что они располагаются следующим образом:  $A_1 = 0,046$  – коэффициент влияния износа направляющей поверхности клапана;  $A_2 = 0,06$  – коэффициент влияния износа внутренней поверхности направляющей;  $A_3 = 0,207$  – коэффициент влияния износа конической поверхности клапана;  $A_2A_3 = 0,0045$  – коэффициент влияния комбинации факторов. Коэффициенты комбинации факторов  $A_1A_2 = 0,0025$ ;  $A_1A_3 = 0,002$ ;  $A_1A_2A_3 = 0,00042$  являются незначимыми.

Таким образом, из уравнения (4) и рис. 3 видно, что для уменьшения динамики общей утечки жидкости необходимо снизить интенсивность изнашивания деталей значимых факторов узла перепускного клапана: наружной поверхности направляющей перепускного клапана, внутренней поверхности направляющей и конической поверхности клапана.

В результате многофакторного эксперимента получена математическая модель связи утечки жидкости через золотниковые пары с износами деталей в виде

$$V = \frac{3,57 U_{\text{к2}}^{1,335 + 0,031 \text{Ln}U_{33}} U_{\text{к3}}^{\text{Ln}U_{34}} U_{\text{к3}}^{0,73} U_{\text{к4}}^{0,96}}{U_{\text{к2}}^{0,27 \text{Ln}U_{\text{к3}}} U_{\text{к3}}^{+0,07 \text{Ln}U_{33} + 0,3 \text{Ln}U_{34} + 0,01 \text{Ln}U_{33}} U_{\text{к3}}^{\text{Ln}U_{\text{к3}}} U_{\text{к4}}^{\text{Ln}U_{34}} U_{\text{к3}}^{0,1 \text{Ln}U_{34}}} \times \frac{U_{\text{к3}}^{0,7013 + 0,061 \text{Ln}U_{\text{к2}} \text{Ln}U_{34} + 0,026 \text{Ln}U_{\text{к2}} \text{Ln}U_{33} + 0,027 \text{Ln}U_{\text{к2}} \text{Ln}U_{34} + 0,033 \text{Ln}U_{33} \text{Ln}U_{34}}{U_{\text{к3}}^{0,09 \text{Ln}U_{34} + 0,1 \text{Ln}U_{33}}} \quad (5)$$

Степень влияния факторов на утечку жидкости через золотниковые пары представлена на рис. 4.



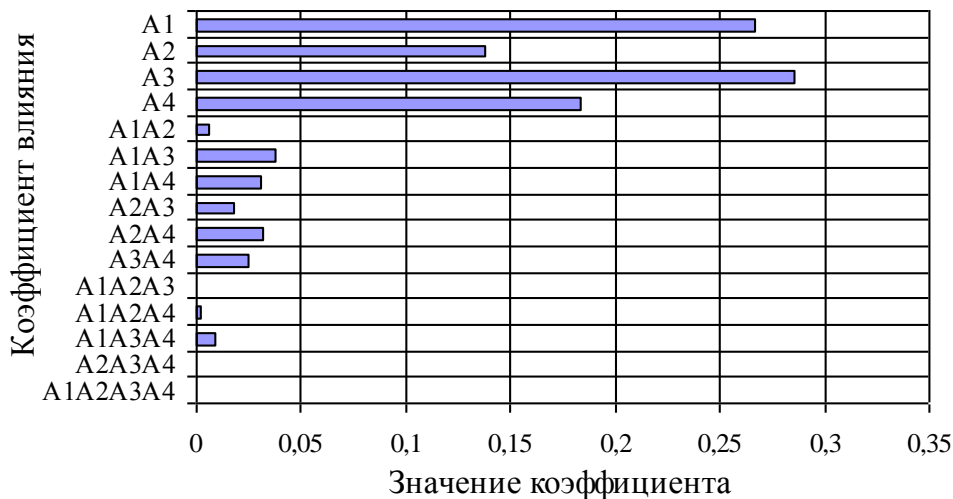


Рисунок 4 – Степень влияния факторов на утечку жидкости через золотниковые пары

Аналитическая оценка степени влияния значимых факторов на утечку жидкости через золотниковые пары показала, что они располагаются следующим образом:  $A_1 = 0,2665$  – коэффициент влияния износа второго пояска корпуса;  $A_2 = 0,1379$  – коэффициент влияния износа третьего пояска золотника;  $A_3 = 0,2859$  – коэффициент влияния износа третьего пояска корпуса;  $A_4 = 0,1831$  – коэффициент влияния износа четвертого пояска золотника;  $A_1A_2 = 0,0006$  – коэффициент влияния комбинации факторов;  $A_1A_3 = 0,0377$  – коэффициент влияния комбинации факторов;  $A_1A_4 = 0,0311$  – коэффициент влияния комбинации факторов;  $A_2A_3 = 0,0176$  – коэффициент влияния комбинации факторов;  $A_2A_4 = 0,0318$  – коэффициент влияния комбинации факторов;  $A_3A_4 = 0,0249$  – коэффициент влияния комбинации факторов;  $A_1A_3A_4 = 0,0087$  – коэффициент влияния комбинации факторов;  $A_1A_2A_3A_4 = 0,0012$  – коэффициент влияния комбинации факторов. Коэффициенты комбинации факторов  $A_1A_2A_3 = 0,0009$ ,  $A_1A_2A_4 = 0,0021$ ,  $A_2A_3A_4 = 0,0011$  являются незначимыми.

Таким образом, из уравнения (5) и рис. 4 видно, что для уменьшения динамики утечки жидкости через золотниковые пары необходимо снизить интенсивность изнашивания деталей значимых факторов: второго и третьего поясков корпуса, третьего и четвертого поясков золотника.

Для определения предельных значений износов деталей, к полученным математическим моделям (4) и (5) применен метод крутого восхождения.

Для снижения интенсивности изнашивания принята гипотеза о взаимодействии поверхностей при упругом контакте.

Согласно молекулярно–механической теории трения, коэффициент трения определяется следующим выражением:

$$f = \frac{\tau_0}{p_r} + \beta + k\sqrt{\frac{h}{r}}, \quad (6)$$

где  $\tau_0$  – прочность адгезионной связи на срез при отсутствии сжимающего усилия, МПа;  $p_r$  – фактическое давление, МПа;  $\beta$  – коэффициент упрочнения адгезионной связи;  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от геометрического очертания поверхностей;  $h$  – глубина внедрения единичной неровности, мкм;  $r$  – радиус закругления единичной неровности, мкм.

Тогда внешнее трение будет иметь место, если предельная глубина  $h/r$  относительного внедрения

$$\frac{h}{r} \leq \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{2\tau}{\sigma_0} \right), \quad (7)$$

где  $\tau$  – прочность на срез адгезионной связи мостиков схватывания, МПа;  $\sigma_0$  – предел текучести деформируемой поверхности, МПа.

Из формулы (7) следует, что внешнее трение полностью прекратится, если отношение  $2\tau/\sigma_0 \geq 1$ , и наилучшим условием трения будет, если  $\tau \rightarrow 0$ .

Таким образом, чтобы обеспечить внешнее трение с минимальными коэффициентами трения, нельзя использовать однородный по глубине материал, а твердость поверхности отверстия корпуса должна быть больше твердости поверхности золотника. Для этого на поверхность золотника необходимо нанести антифрикционное покрытие из менее прочного материала, например из латуни. В результате твердость поверхности отверстия корпуса будет больше твердости поверхности золотника, что благоприятно скажется на ее долговечности.

Для определения связи толщины покрытия ( $h$ ) с кинематическими параметрами системы при ЭИО проведен экстремальный эксперимент по плану  $2^2$ .

Результаты многофакторного эксперимента позволили получить математическую модель связи толщины покрытия  $h$  с кинематическими параметрами:

$$h = 211,4 V_s^{-0,45} V_n^{-0,105}, \quad (8)$$

где  $V_s$  – скорость перемещения электрода, мм/мин;  $V_n$  – скорость вращения детали, мм/мин.

Степень влияния факторов на толщину покрытия представлена на рис. 5.

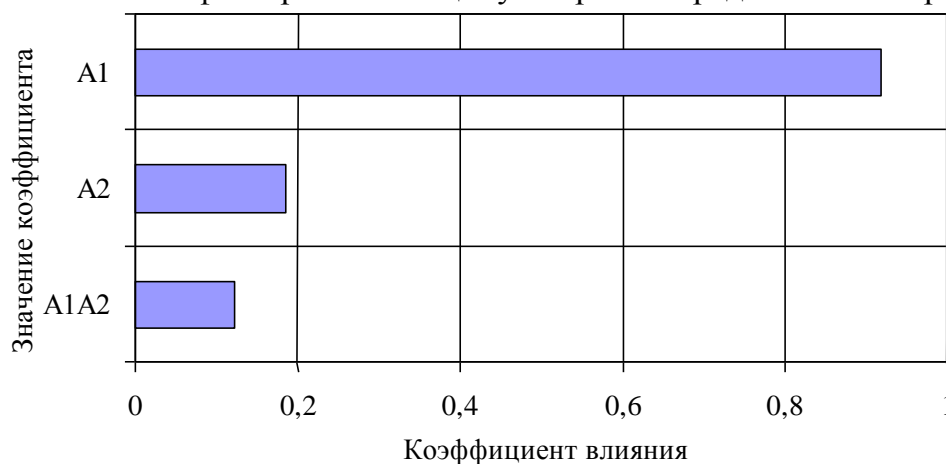


Рисунок 5 – Степень влияния скорости перемещения электрода и скорости вращения детали на толщину покрытия

Аналитическая оценка степени влияния значимых факторов на толщину покрытия показала, что они располагаются следующим образом:  $A_1 = 0,91796$  – коэффициент влияния скорости перемещения электрода;  $A_2 = 0,18489$  – коэффициент влияния скорости вращения детали. Коэффициент комбинации факторов  $A_1A_2 = 0,12159$  является незначимым.

Оптимальные кинематические режимы скорости перемещения электрода и скорости вращения детали при ЭИО, влияющие на толщину наплавленного слоя, определены методом крутого восхождения.

**В третьей главе** представлена программа и приведены частные и общие методики исследований.

Входной контроль и микрометричные исследования партии гидрораспределителей Р80 проводились согласно техническим требованиям на капитальный ремонт ТК 70.0001.018–85.

Микротвердость покрытий образцов исследовали на приборе «*Durascan 20*» с использованием материалографического комплекса «*Tegra Force*» для подготовки шлифов.

Оценку параметров топографии поверхностей образцов проводили с использованием измерительной системы «*Form Talysurf I 120*» английской фирмы «*Тейлор Хобсон*».

Исследование кинетики процесса ЭИО в механизированном режиме осуществляли с помощью установки «*Элитрон-22Б*» на модернизированном станке 1А616, позволяющем регулировать скорость перемещения электрода и скорость вращения детали независимо друг от друга.

Триботехнические параметры образцов определяли согласно ГОСТ 23.224–86 на машине трения ХОБАТ-2 при возвратно-поступательном движении образцов.

Эксплуатационные испытания проводились в хозяйствах Республики Мордовия на тракторах сельскохозяйственного назначения.

Обработка результатов исследований осуществлялась методами математической статистики, с использованием пакета прикладных программ «*Statistica 8.0*» и «*Excel 2010*».

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований.

Стендовые испытания бывших в эксплуатации гидрораспределителей показали, что общая утечка жидкости подчиняется закону Вейбулла, но близка к усеченному нормальному закону

$$F(V_{\text{общ}}) = 1 - \exp \left( -15202^{-3,5} V_{\text{общ}}^{3,5} \right). \quad (9)$$

При этом минимальное значение общей утечки жидкости составляет 9100 см<sup>3</sup>/мин, максимальное значение – 23000 см<sup>3</sup>/мин. Среднее значение общей утечки 14106,1 см<sup>3</sup>/мин превышает предельное в 1,56 раза.

Результаты исследований утечки жидкости через золотниковые пары показали, что утечка также подчиняется закону Вейбулла

$$F(V) = 1 - \exp \left( -212,8^{-1,07} V^{1,07} \right). \quad (10)$$

За предельные утечки жидкости через золотниковые пары принято среднее значение утечки,  $V_{\text{пр}} = \bar{V} = 210$  см<sup>3</sup>/мин со стандартным отклонением  $\sigma = 195$  см<sup>3</sup>/мин.

При этом минимальное значение утечки составляет 10 см<sup>3</sup>/мин, максимальное – 1280 см<sup>3</sup>/мин.

Таким образом, установлено, что 100 % гидрораспределителей эксплуатировались в запредельном состоянии по критерию общей утечки и 42 % – по критерию утечки через золотниковые пары.

Испытания бустерных устройств золотников, показали, что 97 % узлов являются работоспособными и обеспечивают давление возврата золотника в нейтральное положение при давлении 11,5–12,5 МПа.

На основе результатов микрометричных исследований деталей гидрораспределителей Р80 установлена связь между износами, технологическими зазорами и вероятностями их значений. В табл. 1 и 2 представлены функции законов распределения износов и технологических зазоров.

Таблица 1 – Функции законов распределения износов и технологических зазоров, влияющих на общую утечку жидкости

№	Наименование поверхности	Функция закона распределения
1	направляющая поверхность клапана	$F(U_{н.н}) = 1 - \exp\left(-11,96^{-1,80} U_{н.н}^{1,80}\right)$
2	внутренняя поверхность направляющей	$F(U_{в.н}) = 1 - \exp\left(-19,63^{-1,70} U_{в.н}^{1,70}\right)$
3	уплотняющая поверхность клапана	$F(U_{кон}) = 1 - \exp\left(-77,55^{-1,90} U_{кон}^{1,90}\right)$
4	2-й поясок корпуса	$F(U_{к2}) = 1 - \exp\left(-16,81^{-3,70} U_{к2}^{3,70}\right)$
5	4-й поясок корпуса	$F(U_{к4}) = 1 - \exp\left(-13,22^{-2,35} U_{к4}^{2,35}\right)$
6	2-й поясок золотника	$F(U_{32}) = 1 - \exp\left(-8,0^{-3,80} U_{32}^{3,80}\right)$
7	5-й поясок золотника	$F(U_{35}) = 1 - \exp\left(-8,9^{-3,0} U_{35}^{3,0}\right)$
8	технологический зазор в соединении золотник – корпус	$F(Z_{3-к}) = 13,6 \cdot 10^{-2} \int_0^{+\infty} \exp\left(- (5,8 \cdot 10)^{-2} (Z_{3-к} - 11,28)^2\right) dZ_{3-к}$
9	технологический зазор в соединении клапан – направляющая	$F(Z_{к-н}) = 4,5 \cdot 10^{-2} \int_0^{+\infty} \exp\left(- (0,6 \cdot 10)^{-2} (Z_{к-н} - 36,81)^2\right) dZ_{к-н}$

Таблица 2 – Функции законов распределения износов и технологического зазора, влияющих на утечку жидкости через золотниковые пары

№	Наименование поверхности	Функция закона распределения
1	2-й поясок корпуса	$F(U_{к2}) = 1 - \exp\left(-19,68^{-2,50} U_{к2}^{2,50}\right)$
2	3-й поясок корпуса	$F(U_{к3}) = 1 - \exp\left(-15,46^{-2,35} U_{к3}^{2,35}\right)$
3	3-й поясок золотника	$F(U_{33}) = 1 - \exp\left(-6,86^{-2,60} U_{33}^{2,60}\right)$
4	4-й поясок золотника	$F(U_{34}) = 1 - \exp\left(-7,18^{-2,40} U_{34}^{2,40}\right)$
5	технологический зазор в соединении золотник – корпус	$F(Z_{3-к}) = 13,6 \cdot 10^{-2} \int_0^{+\infty} \exp\left(- (5,8 \cdot 10)^{-2} (Z_{3-к} - 11,28)^2\right) dZ_{3-к}$

На рис. 6 и 7 показаны графики законов распределения для износов и технологических зазоров деталей узлов перепускного клапана и золотниковых пар по номерам в табл. 1 и 2.

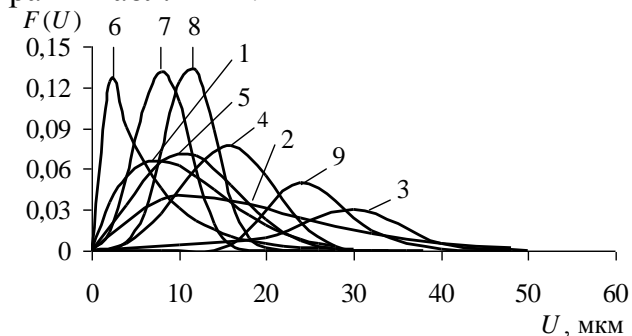


Рисунок 6 – Распределение технологических зазоров и износов деталей, влияющих на общую утечку жидкости

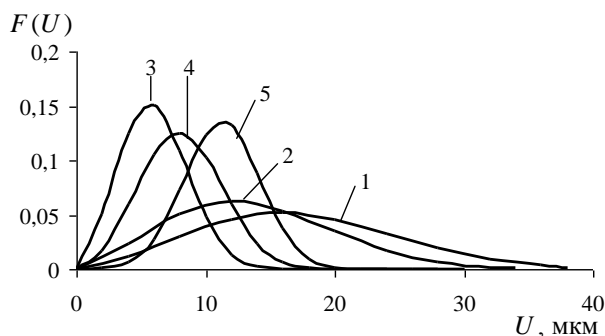


Рисунок 7 – Распределение технологического зазора и износов деталей, влияющих на утечку жидкости через золотниковые пары

Для многофакторного экстремального эксперимента значениями уровней варьирования факторов являются минимальные и максимальные значения износов поверхностей деталей.

Результаты кодирования значений уровней варьирования факторов, определяющих общую утечку жидкости и утечку жидкости через золотниковые пары, приведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Таблица 3 – Исследуемые факторы в действительных и кодированных значениях для общей утечки жидкости

Уровень	Факторы процесса в единицах измерения					
	$(X_1) - U_{н.н}$ , мкм		$(X_2) - U_{в.н}$ , мкм		$(X_3) - U_{кон}$ , мкм	
Основной	15	2,708	22	3,091	113,5	4,732
Верхний	26	3,258	42	3,738	195	5,273
Нижний	4	1,386	2	0,693	32	3,466
Интервал варьирования	11	2,398	20	2,996	81,5	4,401
Кодовое обозначение	$U_{н.н}$	$LnU_{н.н}$	$U_{в.н}$	$LnU_{в.н}$	$U_{кон}$	$LnU_{кон}$

Таблица 4 – Исследуемые факторы в действительных и кодированных значениях для утечки жидкости через золотниковые пары

Уровень	Факторы процесса в единицах измерения							
	$(X_1) - U_{к2}$ , мкм		$(X_2) - U_{33}$ , мкм		$(X_3) - U_{к3}$ , мкм		$(X_4) - U_{34}$ , мкм	
Верхний	34	3,526	16	2,773	28	3,332	14	2,639
Нижний	2	0,693	2	0,693	2	0,693	2	0,693
Основной	18	2,890	9	2,197	15	2,708	8	2,079
Интервал варьирования	16	2,773	7	1,946	13	2,565	6	1,792
Кодовое обозначение	$U_{к2}$	$LnU_{к2}$	$U_{33}$	$LnU_{33}$	$U_{к3}$	$LnU_{к3}$	$U_{34}$	$LnU_{34}$

По результатам многофакторного эксперимента получены математические модели связи общей утечки жидкости (4) и утечки жидкости через золотниковые пары (5) с факторами и их взаимным влиянием.

Применяя метод крутого восхождения к моделям (4) и (5), мы установили, что предельной общей утечке жидкости соответствуют предельные значения величин износов деталей узла перепускного клапана: наружной поверхности направляющей клапана  $U_{н.н}^{пред} = 12$  мкм; внутренней поверхности направляющей  $U_{в.н}^{пред} = 17$  мкм; конической поверхности перепускного клапана  $U_{кон}^{пред} = 93$  мкм.

Предельной утечке жидкости через золотниковые пары соответствуют предельные значения величин износов деталей золотниковых пар: второго пояска корпуса  $U_{к2}^{пред} = 8$  мкм; третьего пояска золотника  $U_{33}^{пред} = 4$  мкм; третьего пояска корпуса  $U_{к3}^{пред} = 5$  мкм; четвертого пояска золотника  $U_{34}^{пред} = 3$  мкм.

По предельным значениям величин износов деталей найдены допустимые значения износов по формуле  $\bar{u}_{доп} = 0,5 \cdot \bar{u}_{пред}$ . Для общей утечки жидкости: наружной поверхности направляющей клапана  $U_{н.н}^{доп} = 6$  мкм; внутренней поверхности направляющей  $U_{в.н}^{доп} = 9$  мкм; конической поверхности перепускного клапана  $U_{кон}^{доп} = 47$  мкм.

Допустимые значения величин износа деталей для утечки жидкости через золотниковые пары: второго пояска корпуса  $U_{к2}^{доп} = 4$  мкм; третьего пояска золотника  $U_{з3}^{доп} = 2$  мкм; третьего пояска корпуса  $U_{к3}^{доп} = 3$  мкм; четвертого пояска золотника  $U_{з4}^{доп} = 2$  мкм.

Результаты пассивного эксперимента определения уровней варьирования показали, что при снижении скорости перемещения электрода до значения менее 0,25 мм/мин на поверхности покрытия образуются выступы, при этом площадь опорной поверхности не превышает 60 % по всей глубине наплавленного слоя. При скорости перемещения электрода более 0,85 мм/мин толщина покрытия уменьшается, при этом площадь опорной поверхности не превышает 70 % по всей глубине наплавленного слоя.

Определение уровней варьирования для скорости вращения детали показало, что при значении менее 0,314 мм/мин на поверхности покрытия образуются выступы, при этом площадь опорной поверхности не превышает 65 % по всей глубине наплавленного слоя. При скорости вращения более 0,942 мм/мин толщина покрытия уменьшается, при этом площадь опорной поверхности не превышает 60 % по всей глубине наплавленного слоя.

Результаты кодирования значений уровней варьирования факторов, определяющих толщину покрытия ЭИО, приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Исследуемые факторы в действительных и кодированных значениях

Уровень	Факторы процесса в единицах измерения			
	$(X_1) - V_s$ , мм/мин		$(X_2) - V_n$ , мм/мин	
Верхний	0,85	-0,162	0,942	-0,059
Нижний	0,25	-1,386	0,314	-1,158
Основной	0,55	-0,597	0,628	-0,867
Интервал варьирования	0,3	-1,203	0,314	-1,158
Кодовое обозначение	$V_s$	$Ln V_s$	$V_n$	$Ln V_n$

По результатам многофакторного эксперимента получена математическая модель (8) связи толщины покрытия с факторами и их взаимным влиянием.

Применяя метод крутого восхождения к модели (8), установили кинематические режимы ЭИО, позволяющие получить максимальную толщину покрытия 480 мкм: скорость перемещения электрода 0,25 мм/мин и скорость вращения детали 0,328 мм/мин.

Оценку микротвердости электроискровых покрытий проводили на глубине 60–70 мкм от поверхности покрытия, при площади опорной поверхности не менее 80 %.

Металлографические исследования показали, что микротвердость покрытия, образованного ЭИО электродом из стали 65Г на стали 20Х, составляет 580–570 МПа (рис. 8, поз. 2), что на 5 % ниже, чем микротвердость образцов из стали 20Х без ЭИО– $HV = 620$ – $610$  МПа (рис. 8, поз. 1). Толщина покрытия составляет 200 мкм на сторону, при этом пористость не превышает 20 %.

При подаче углекислого газа  $CO_2$  в зону ЭИО наблюдается увеличение микротвердости покрытия на 10 % до значений 680–670 МПа (рис. 8, поз. 3). Толщина покрытия уменьшается на 20 % и составляет 150 мкм на сторону, при этом пористость не превышает 10 %.

При натирании обрабатываемой поверхности графитом наблюдается увеличение микротвердости покрытия на 25 % до 770–760 МПа (рис. 8, поз. 4). Толщина покрытия составляет 200 мкм на сторону, при этом пористость не превышает 15 %.

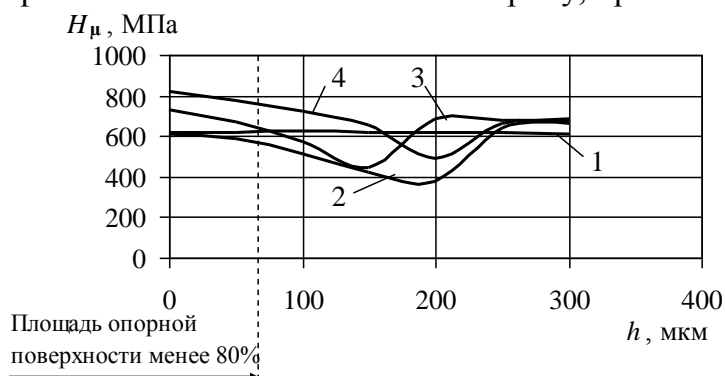


Рисунок 8 – Микротвердость покрытий образцов:

1 – Сталь 20X; 2 – Сталь 20X+65Г; 3 – Сталь 20X+65Г+CO<sub>2</sub>; 4 – Сталь 20X+65Г+С (порошок)

специфический рельеф в виде замкнутых впадин.

У покрытий, полученных методом ЭИО, с величиной опорной поверхности 80 % на площади 21 мм<sup>2</sup> объем впадин составляет 0,011 мм<sup>3</sup>. У образцов, полученных после механической обработки на той же площади, он равен 4,3·10<sup>-5</sup> мм<sup>3</sup>. Объем впадин образцов, полученных методом ЭИО, в 255 раз превышает объем на той же площади поверхности образцов, полученных после механической обработки.

Таким образом, покрытие, образованное методом ЭИО, способно удерживать на поверхности определенный объем масла, что благоприятно сказывается на триботехнических свойствах пар трения.

Лабораторные триботехнические испытания пар трения при возвратно-поступательном движении показали, что минимальный коэффициент пары трения № 1 составляет 0,133, а восстановленных ЭИО и ФАБО – 0,095. Максимальная несущая способность пары трения № 1 меньше, чем у пары трения № 3 в 1,31 раза. Значения оптимальных нагрузок пары трения № 3 выше, чем у образцов пары трения № 1, в 1,3 раза.

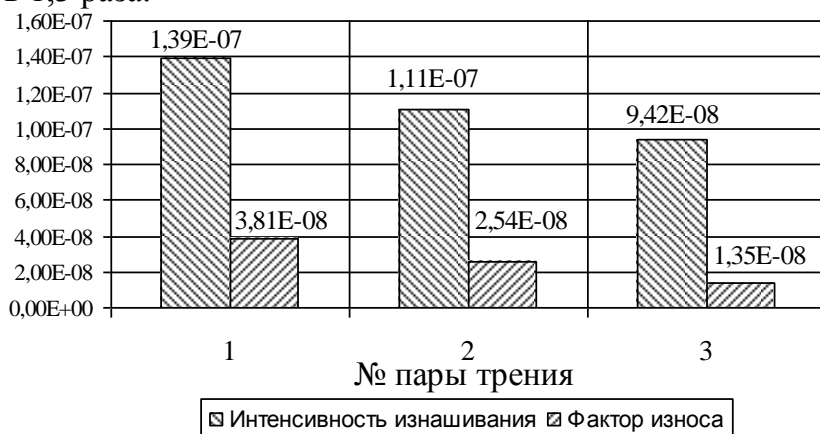


Рисунок 9 – Сравнение интенсивности изнашивания по фактору износа при возвратно-поступательном движении образцов:

1 – Чугун СЧ21 – Сталь 20X;  
2 – Чугун СЧ21 – Сталь 20X+65Г(ЭИО);  
3 – Чугун СЧ21 – Сталь 20X+65Г(ЭИО)+Латунь (ФАБО)

У покрытий из металлокерамического твердого сплава ВК8 среднее значение микротвердости на расстоянии 40–50 мкм от основы составляет 1110–1250 МПа, при толщине покрытия 60–70 мкм. Среднее значение микротвердости стали ШХ15 – 570 МПа, что в 1,95 раза меньше, чем у обработанной методом ЭИО поверхности.

Исследования топографии показали, что текстура покрытий, полученных методом ЭИО, имеет

Суммарная интенсивность изнашивания и фактор износа для каждой исследуемой пары трения определены по результатам длительных износных испытаний. Их сравнительная оценка представлена на рис. 9.

Из диаграмм видно, что суммарная интенсивность изнашивания пары трения № 3 меньше, чем у пар трения № 1 и № 2, в 1,47 и 1,18 раза соответственно.

Фактор износа пары трения № 3 меньше, чем у пар трения № 1 и № 2 в 1,92 и 1,36 раза.

Лабораторно-стендовыми испытаниями установлено, что за 125 тыс. циклов включения гидрораспределителя в работу общие утечки жидкости у новых выше, чем у отремонтированных по усовершенствованной технологии, в 4,7 раза, а утечки через золотниковые пары выше в 1,8 раза.

Эксплуатационные испытания гидрораспределителей, установленных на трактора сельскохозяйственного назначения, показали, что средний ресурс новых гидрораспределителей составляет 3800 мото-ч, отремонтированных по технологии с восстановлением деталей методом ЭИО – 2700,6 мото-ч и отремонтированных по усовершенствованной технологии – 4214,9 мото-ч.

Таким образом, средний ресурс гидрораспределителей, отремонтированных по усовершенствованной технологии, в 1,1 раза выше, чем у новых, и в 1,56 раза выше, чем у отремонтированных по технологии с восстановлением деталей методом ЭИО.

**Пятая глава** посвящена разработке рекомендаций по усовершенствованию технологии ремонта гидрораспределителей Р80, обеспечивающей ресурс на уровне новых.

Усовершенствованная технология, обеспечивающая ресурс отремонтированных гидрораспределителей на уровне новых, включает обработку золотниковых отверстий алмазной разверткой до выведения следов износа, нанесение на пояски золотников слоя из низко- или среднеуглеродистой стали методом ЭИО в механизированном режиме, доводку поясков золотников под размер отверстий и нанесение на них антифрикционной пленки из латуни методом ФАБО. Уплотняющую коническую поверхность клапана упрочняют электродом из твердого сплава с последующей притиркой к гнезду до образования блеска на прилегаемых поверхностях.

Технология внедрена на ОАО «Дальверзинский ремонтный завод» Республики Узбекистан, МИП «ООО «Агросервис» г. Саранска, ОАО «Грачевский завод «Гидроагрегат» Ставропольского края.

Годовая экономия от внедрения усовершенствованной технологии ремонта гидрораспределителей составляет около 1,2 млн руб. на программу 500 шт. в год, срок окупаемости капитальных вложений 0,9 года.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведены стендовые испытания новых и бывших в эксплуатации гидрораспределителей Р80 и микрометражные исследования рабочих поверхностей деталей. Определены статистические параметры распределения износов деталей и технологических зазоров в соединениях перепускного клапана и золотниковых пар.

Установлено, что общая утечка находится в пределах 9100–23000 см<sup>3</sup>/мин, при допустимом предельном значении 9000 см<sup>3</sup>/мин, а утечка через золотниковые пары – в пределах 10–1280 см<sup>3</sup>/мин, при допустимом предельном значении 210 см<sup>3</sup>/мин. Таким образом, по критерию общей утечки 100 % гидрораспределителей эксплуатировались в запредельном состоянии, а по критерию утечки через золотниковые пары 42 %.

2. Установлена связь средней общей утечки со статистически значимыми факторами: износом наружной поверхности направляющей перепускного клапана, износом внутренней поверхности направляющей и износом конической поверхности перепускного клапана.



3. Установлена связь средней утечки жидкости через золотниковые пары со статистически значимыми факторами: износами второго и третьего поясков корпуса, износами третьего и четвертого поясков золотника.

4. Методом многофакторного экстремального эксперимента определены предельные значения величин износов поверхностей деталей. Для узла перепускного клапана предельные значения величин износов: наружной поверхности направляющей клапана  $U_{н.н}^{пред} = 12$  мкм; внутренней поверхности направляющей  $U_{в.н}^{пред} = 17$  мкм; конической поверхности перепускного клапана  $U_{кон}^{пред} = 93$  мкм. Для золотниковых пар: второго пояска корпуса  $U_{к2}^{пред} = 8$  мкм; третьего пояска золотника  $U_{з3}^{пред} = 4$  мкм; третьего пояска корпуса  $U_{к3}^{пред} = 5$  мкм; четвертого пояска золотника  $U_{з4}^{пред} = 3$  мкм.

По полученным предельным значениям найдены допустимые значения износов. Для общей утечки жидкости: наружной поверхности направляющей клапана  $U_{н.н}^{доп} = 6$  мкм; внутренней поверхности направляющей  $U_{в.н}^{доп} = 9$  мкм; конической поверхности перепускного клапана  $U_{кон}^{доп} = 47$  мкм. Для золотниковых пар: второго пояска корпуса  $U_{к2}^{доп} = 4$  мкм; третьего пояска золотника  $U_{з3}^{доп} = 2$  мкм; третьего пояска корпуса  $U_{к3}^{доп} = 3$  мкм; четвертого пояска золотника  $U_{з4}^{доп} = 2$  мкм.

5. Методом многофакторного экстремального эксперимента установлено, что наибольшее влияние на толщину металлопокрытия оказывает скорость перемещения электрода с коэффициентом степени влияния 0,917, а наименьшее – скорость вращения детали – 0,185. Определены кинематические режимы ЭИО, скорость перемещения электрода – 0,25 мм/мин и скорость вращения детали – 0,328 мм/мин, позволяющие получить максимальную толщину покрытия до 480 мкм на диаметр.

6. Выявлено, что при предварительном натирании графитом рабочей поверхности микротвердость покрытия, полученного электродом из стали 65Г, увеличивается в 1,25 раза и составляет 770–760 МПа, а при подаче углекислого газа – в 1,1 раза и составляет 680–670 МПа. Наиболее технологичным способом, не требующим дополнительных устройств, является предварительное натирание обрабатываемой поверхности графитом.

У покрытий из металлокерамического твердого сплава ВК8 среднее значение микротвердости на расстоянии 40–50 мкм от основы составляет 1110–1250 МПа. Увеличение микротвердости обработанной методом ЭИО поверхности, по сравнению с микротвердостью стали ШХ15 ( $HV = 560$  МПа), составляет 1,98 раза.

7. Исследования топографии покрытий, полученных методом ЭИО, показали, что текстура наплавленного слоя имеет специфический рельеф в виде замкнутых впадин, что способствует удержанию жидкости на поверхности и обеспечивает снижение коэффициента трения. Объем впадин покрытий, полученных методом ЭИО, в 255 раз превышает объем на той же площади поверхности, полученной после механической обработки.

8. Триботехнические испытания по ГОСТ 23.224–86 пар трения при возвратно-поступательном движении показали, что минимальный коэффициент трения образцов без покрытия составляет 0,133, с покрытиями ЭИО и ФАБО – 0,095. Максимальная несущая способность пары трения образцов без покрытия меньше, чем у образцов с

покрытиями, в 1,31 раза. Интенсивность изнашивания по фактору износа пары трения образцов без покрытия больше, чем у образцов с покрытиями, в 1,47 раза.

Лабораторно-стендовые испытания, проведенные на разработанном стенде (патент РФ на полезную модель № 110435) показали, что за 125 тыс. циклов включения золотника в рабочие положения, общие утечки жидкости у новых гидрораспределителей выше, чем у отремонтированных по усовершенствованной технологии в 4,7 раза, а утечки через золотниковые пары выше в 1,8 раза.

9. Разработан усовершенствованный технологический процесс ремонта гидрораспределителей с восстановлением и упрочнением деталей методом электроискровой обработки, обеспечивающий ресурс на уровне новых. Технология защищена патентом РФ на изобретение № 2398668.

Годовая экономия от внедрения усовершенствованной технологии ремонта гидрораспределителей составляет около 1,2 млн руб. на программу 500 шт. в год, срок окупаемости капитальных вложений 0,9 года.

10. Эксплуатационные испытания гидрораспределителей, отремонтированных по усовершенствованной технологии, показали, что средний ресурс составляет 4214,9 мото-ч, что в 1,1 раза выше среднего ресурса новых гидрораспределителей и в 1,56 раза выше среднего ресурса гидрораспределителей, отремонтированных по технологии с восстановлением деталей методом ЭИО.

### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах**

#### *Статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК РФ*

1. Ресурсосбережение на основе повышения межремонтной наработки изделия / Ф. Х. Бурумкулов, В. И. Иванов, А. В. Мартынов [и др.] // Техника в сельском хозяйстве: науч.-теор. журн. – 2008. – № 5(48). – С. 19–23.
2. Мартынов А. В. Исследование износов и дефектов деталей гидравлических распределителей гидросистем тракторов / Ф. Х. Бурумкулов, С. А. Величко, А. В. Мартынов // Тр. ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107, ч. 1. – С. 88–93.
3. Мартынов А. В. Предельное состояние гидравлических распределителей и требования, предъявляемые к восстановлению изношенных деталей / С. А. Величко, Ф. Х. Бурумкулов, А. В. Мартынов // Тр. ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 108. – С. 144–149.
4. Мартынов А. В. Результаты исследования технического состояния гидравлических распределителей / С. А. Величко, Ф. Х. Бурумкулов, А. В. Мартынов // Тр. ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 109 – С. 135–145.

#### *Статьи в других изданиях*

5. Мартынов А. В. Пути снижения коэффициента трения и повышения износостойкости деталей золотниковых пар гидравлических распределителей / Ф. Х. Бурумкулов, С. А. Величко, А. В. Мартынов // Тр. ГОСНИТИ. – 2008. – Т. 102 – С. 127–129.
6. Мартынов А. В. Исследование механизма потери работоспособности гидравлических распределителей гидросистем тракторов / Ф. Х. Бурумкулов, С. А. Величко, А. В. Мартынов // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем : материалы Всерос. научн.–техн. конф. – Саранск, 2009. – С. 25–31.
7. Руководящий документ РД 10.003–2009 Геометрические параметры и физико-механические свойства поверхностей, образованных при электроискровой обработке материалов в газовой среде / Ф. Х. Бурумкулов, П. В. Сенин, А. В. Мартынов [и др.],

М. : ГОСНИТИ, 2009. – 56 с.

8. Мартынов А. В. Исследование физико-механических свойств материалов, полученных методом электроискровой обработки / С. А. Величко, Ф. Х. Бурумкулов, А. В. Мартынов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. Саранск, 2010. – С. 137–143.

9. Мартынов А. В. Комплексные исследования триботехнических свойств золотниковых пар гидравлических распределителей / Ф. Х. Бурумкулов, С. А. Величко А. В. Мартынов // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня : материалы 13-й Междунар. науч.-практ. конф.: – СПб., 2010. – С. 368–372.

10. Мартынов А. В. Предпосылки совершенствования технологии ремонта гидравлических распределителей сельскохозяйственной техники с восстановлением и упрочнением деталей электроискровой обработкой / А. В. Мартынов // Энергоэффективность технологий и средств механизации в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Саранск, 2011. – С. 254–257.

11. Мартынов А. В. Комплексные исследования триботехнических свойств золотниковых пар гидравлических распределителей / С. А. Величко, А. В. Мартынов // XXXIX Огаревские чтения: материалы науч. конф. – Саранск, 2011. – Ч. 1. – С. 23–30.

12. Технология необезличенного ремонта гидравлических распределителей с цилиндрическими и плоскими золотниками. Общее руководство по ремонту / Ф. Х. Бурумкулов, С. А. Величко, А. В. Мартынов [и др.]. – Саранск, 2012. – 139 с.

*Авторские свидетельства на изобретения, полезные модели:*

13. Пат. 2398668 Российская Федерация, МПК В23Р6/00, В23Н5/00. Способ ремонта гидрораспределителей / Бурумкулов Ф. Х., Сенин П. В., Величко С. А., Ионов П. А., Мартынов А. В. ; патентообладатель ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка, ООО «Ресурс». – № 2008103868 ; заявл. 31.01.2008 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 25. – 5 с. : ил.

14. Пат. 110435 Российская Федерация, МПК F15B19/00. Устройство для ресурсных испытаний гидроагрегатов / Величко С. А., Бурумкулов Ф. Х., Сенин П. В., Чумаков П. В., Мартынов А. В. ; патентообладатель ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка. – № 2011116565 ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 20.11.2011, Бюл. № 32. – 2 с. : ил.