Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Национальный исследовательский

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева»

На правах рукописи



РАДАЙКИНА ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА СИЛОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КАПРОЛОНА**

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

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук профессор

**ВОДЯКОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ**

Саранск 2018

2

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ 5

1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ 11  
ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Анализ причин отказов гидроцилиндров и существующих ме- 11 тодов их ремонта
2. Устройство и преимущества современных гидроцилиндров с 20 опорно-направляющими деталями из полимерных материалов
3. Повышение ресурса опорно-направляющих деталей силовых 22 гидроцилиндров применением полимерных композиционных материалов
4. Методы изучения эксплуатационных и технологических харак- 39 теристик полимерных композиций
5. Цели и задачи исследования 43

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНИЦИПОВ МО- 47  
ДИФИКАЦИИ ОПОРНО-НАПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
СИЛОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

1. Теоретический анализ сил, действующих на поршень и шток 47 силового гидроцилиндра
2. Обоснование метода расчета теплофизических характеристик 54 полиамидных композиций
3. Обоснование методики изучения релаксационных характери- 59 стик полимерных композитов в режиме индентирования
4. Выводы по главе 2 66

3 МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ 69  
ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Методика компаундирования компонентов композиционных 69 материалов на лабораторном смесителе периодического дей­ствия *PolyLabRheomix* 600 *OS*
2. Методика компрессионного формования образцов для физико- 72 механических, реологических и триботехнических испытаний на лабораторном прессе *GT*-7014-*Н*50*С*
3. Методика исследования реологических характеристик распла- 74 вов композитов в динамическом режиме вынужденных колеба­ний на реометре *HAAKE MARS* III
4. Методика исследования упруго-прочностных характеристик 76 композитов на испытательной машине *UAI*-7000

3

1. Методика исследования компрессионных характеристик компо- 78 зитов
2. Методика испытания композитов на влагопоглощение 80
3. Методика триботехнических испытаний композитов на реомет- 81 ре *HAAKE MARS* III и план многофакторного эксперимента
4. Методика измерения коэффициента температуропроводности 88 композитов
5. Методика исследования релаксационных характеристик компо- 89 зитов в режиме статического индентирования на машине *UAI-7000*
6. Методика эксплуатационных испытаний 92
7. Выводы по главе 3 95

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕС- 97

КИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Разработка составов, исследование эксплуатационных и техно- 97  
логических характеристик многокомпонентных композитов

1. Эксплуатационные и технологические характеристики поли- 97 амидного композита, содержащего дисульфид молибдена
2. Эксплуатационные и технологические характеристики поли- 101 амидного композита, содержащего тонкодисперсный порошок шунгита
3. Эксплуатационные и технологические характеристики поли- 105 амидного композита, содержащего тонкодисперсные порошки шунгита и графита
4. Эксплуатационные и технологические характеристики поли- 109 амидного композита, содержащего тонкодисперсные порошки шунгита, дисульфида молибдена и графита
5. Эксплуатационные и технологические характеристики поли- 114 амидного композита, содержащего йодид меди
6. Эксплуатационные и технологические характеристики поли- 116 амидного композита, содержащего рубленое углеволокно

4.2 Эксплуатационные и технологические характеристики разрабо- 119  
танного полиамидного композита, содержащего тонкодисперс­  
ные порошки шунгита и графита

1. Упруго-прочностные характеристики 119
2. Результаты исследования влагопоглощения композитов 120
3. Компрессионные характеристики полимерных материалов 121
4. Релаксационные характеристики композитов 122

4

1. Трибологические характеристики композитов 125
2. План многофакторного эксперимента 126
3. Теплофизические характеристики 131
4. Результаты эксплуатационных испытаний отремонтированных 132 силовых гидроцилиндров
5. Выводы по главе 4 133

5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОН- 136

ТА СИЛОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ И ОЦЕНКА ЕГО ЭКОНО­МИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

1. Рекомендации по повышению ресурса силовых гидроцилин- 136 дров при их ремонте
2. Расчет экономической эффективности разработанного техноло- 138 гического процесса ремонта силовых гидроцилиндров

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 144

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 148

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В соответствии с поставленными в диссертационной работе задачами, по результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Выполнен теоретический анализ сил, действующих на поршень и  
шток силового гидроцилиндра С100/40×200-344 тракторов типа МТЗ.

Установлено, что:

– величина реакций в переднем положении поршня практически в шесть раз больше реакций, реализуемых в заднем положении, результатом чего является возникновение в вертикальной плоскости значительных изно-сов рабочих поверхностей сопряженных деталей и увеличение зазоров в по­движных уплотнительных узлах;

– рост зазоров приводит с течением времени к образованию значитель­ного прогиба гидроцилиндра в вертикальной плоскости, следствием чего яв­ляется увеличение реакций в трибосопряжениях, приводящее к появлению изгибающего момента на штоке, еще большему росту контактных напряже­ний и интенсификации изнашивания;

– реконструкция трибосопряжения с установкой направляющего коль­ца из разработанного полимерного композита в переднюю крышку силового гидроцилиндра обеспечивает заметное снижение максимальных контактных напряжений, темпа их нарастания с увеличением зазора и, как следствие, уменьшение интенсивности износа элементов трибосопряжения.

2. На основе теории Г.Н. Дульнева проведено обоснование метода рас­  
чета теплофизических характеристик многокомпонентных полиамидных  
композитов. Предлагаемый метод позволяет на стадии проектирования со­  
става материала выбирать модификаторы, эффективно влияющие на значе­  
ния теплофизических коэффициентов, и устанавливать значения оптималь­  
ных концентраций.

Экспериментальная проверка показала, что коэффициент корреляции Пирсона расчетных и экспериментальных значений коэффициента темпера­туропроводности разработанного трехкомпонентного композита составляет

145

0,921, что подтверждает корректность предлагаемого метод расчета теплофи-зических характеристик полиамидных композитов.

Установлено, что ввод шунгита (2 %) и графита (0,5 %) способствует существенному (22 - 34%) росту коэффициента теплопроводности ПА 6 в исследованном температурном диапазоне 20-80°С.

3. С использованием программного комплекса *ANSYS MAPDL* проведе­  
но обоснование экспериментальной методики изучения релаксационных ха­  
рактеристик полимерных композитов в режиме индентирования образца  
композита сферическим индентором.

В результате численного моделирования установлено, что:

* максимальная величина рассогласования кривых релаксации относи­тельных значений давления и нормальных напряжений не превышает 10 %;
* коэффициент корреляции Пирсона теоретических и эксперименталь­ной кривых релаксации усилия нагружения составил: для ПА 6 - 0,951; для композиции УПА 6 -15А - 0,997, для разработанного композита - 0,985.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о корректности ме­тодики изучения релаксационных характеристик в режиме статического ин­дентирования цилиндрического образца композита сферическим инденто­ром, размеры которых соответствуют рекомендуемым ГОСТ 4670-2015.

4. Разработаны методика испытаний и конструкция оригинальной три­  
бометрической приставки к реометру *HaakeMars* III для изучения трибологи-  
ческих характеристик антифрикционных композитов.

Методика испытаний позволяет проводить на реометре *Haake Mars* III высокоточное исследование трибологических характеристик антифрикцион­ных полимерных композитов в условиях сухого трения и трения со смазкой в диапазоне изменения: температуры - 28 - +200 °С; скорости скольжения 0,01 - 2 м/с; контактного давления 0,05 - 5 МПа; крутящего момента на ро­торе 10 Нм - 0,2 Нм.

5. Разработаны техпроцессы смешения и компаундирования компонен­  
тов антифрикционных композитов на основе капролона на лабораторном

146

смесителе (*PolyLabRheomix* 600 OS) периодического действия, обеспечива­ющие получение композитов с воспроизводимыми реологическими и упруго-прочностными характеристиками.

6. Построен план многофакторного эксперимента, проведены трибо-  
технические испытания и получены уравнения регрессии, описывающие для  
разработанного трехкомпонентного композита зависимости интенсивности  
износа и коэффициента трения по стали 40Х со смазкой от давления, скоро­  
сти скольжения и температуры.

Установлено, что в исследованном интервале изменения указанных па­раметров рост скорости скольжения приводит к снижению интенсивности износа и коэффициента трения; рост давления в зависимости от величины температуры и скорости скольжения может приводить как к увеличению, так и снижению интенсивности износа и коэффициента трения; рост температу­ры обуславливает возрастание интенсивности износа и коэффициента трения.

7. Разработаны составы, исследованы физико-механические, триболо-  
гические, реологические и теплофизические характеристики антифрикцион­  
ных композиционных материалов из капролона (ПА-6) и комбинации раз­  
личных тонкодисперсных модификаторов (шунгита, графита, дисульфида  
молибдена, йодида меди).

Установлено, что лучшие результаты по комплексу эксплуатационных и технологических характеристик достигаются в трехкомпонентном компо­зите, содержащем 97,5 % ПА6, 2 % тонкодисперсного шунгита марки «Ново-карбон» и 0,5 % графита марки ГЛ-1.

Введение данных модификаторов обеспечивает рост модуля упругости по отношению к ПА 6 в 1,85 раза, прочности в 1,25 раза при снижении ин­тенсивности износа в 7,6 раза, коэффициента трения – в 1,2 раза, водопогло-щения на 19 %, коэффициента температуропроводности на 12…15 % при одинаковых значениях вязкости расплава.

По отношению к коммерческому угленаполненному композиту УПА6-15А разработанный трехкомпонентный композит обладает при одинаковых

147

модулях упругости (~3300 МПа) более высокой прочностью (на 27%), влаго­стойкостью (на 5 %), износостойкостью (на 50 %), меньшими значениями ко­эффициента трения (на 15 %) и скорости релаксации напряжений.

8. Разработан технологический процесс ремонта силовых гидроцилин­дров применением разработанного состава антифрикционного композита для изготовления направляющих элементов силовых гидроцилиндров сельскохо­зяйственной техники. Экономический эффект от внедрения данной техноло­гии в производство составит 404715 рублей на программу ремонта 500 агре­гатов в год.

Стоимость 1 кг коммерческого УПА6-15А составляет –1620 руб. за 1 кг, а разработанной композиции – 284 руб. Экономия составит 1336 руб. (82%) с каждого кг композиции.