

1. Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений», № 117-ФЗ от 21.07.1997 г.
2. ПБ 03-438-02 «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов».
3. СНиП 11-02-96. «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
4. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А., Запорожец Д.В. Применение современных методов для комплексных исследований состояния гидротехнических сооружений региона Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20. № 1. С. 13-20.
5. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А., Запорожец Д.В. Комплексная многоуровневая система геомониторинга природно-технических объектов горнодобывающих комплексов // ФТПРПИ. 2018. №4. С.1-8.
6. Данилкин А.А., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Максимов Д.А. Мониторинг состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техногенного месторождения Ковдорского ГОКа // ГИАБ. 2014. № 7. С. 344-352.
7. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений: монография. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
8. Новоселов Б. А., Новоселов Д. Б. Геодезический контроль строительства и эксплуатации главного корпуса обогатительной фабрики «Распадская» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. С. 66–71.
9. Рекомендации по проведению натурных наблюдений за осадками грунтовых плотин / ОАО ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 2001.
10. Credo РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ 1.0. Руководство пользователя // Компания «Кредо-Диалог», 2013. – 91 с. © Д. Б. Новоселов, Д. В. Самбурский, 2014

УДК 621.89.017

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ТЯЖЕЛО НАГРУЖЕННЫХ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

**Л.В. Лукиенко**

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Агроинженерии и техно-сферной безопасности» ФГБОУ ВО Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, г. Тула, Россия, e-mail: [lukienko\\_lv@mail.ru](mailto:lukienko_lv@mail.ru)

**Аннотация.** В работе представлены результаты сравнительных модельных испытаний триботехнических составов. Показана перспективность их применения для восстановления изношенных деталей тяжело нагруженных горно-технологических машин.

*Ключевые слова:* изнашивание, триботехнические составы, горно-технологические машины, восстановление.

## METHODS OF INCREASE IN THE RESOURCE OF HARD LOADED MOUNTAIN TECHNOLOGICAL MACHINES

L.V. Lukienko

Dr., Ph.D., associate professor, head of the 'Agroengineering and technosphere safety' department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University', Tula, Russia, e-mail: [lukienko\\_lv@mail.ru](mailto:lukienko_lv@mail.ru)

**Abstract.** In this work results of comparative model tests of tribotechnical structures are presented. The prospects of their application for restoration of wear parts of hard loaded mining technological machines are shown.

*Keywords:* wear, tribotechnical structures, mining technological machines, restoration.

**Введение.** С появлением триботехнических составов (ХАДО, Ресурс, НИОД, ППМ-21), предназначенных для восстановления деталей тяжело нагруженных горно-технологических машин на различных стадиях изнашивания, решение важной научно-технической проблемы снижения изнашивания тяжело нагруженных ответственных механизмов стало реальностью.

**Целью** работы является выявление наиболее перспективного метода повышения ресурса тяжело нагруженных горно-технологических машин на основе сравнительных модельных испытаний триботехнических составов.

**Материал и результаты исследований.** Триботехнический состав НИОД (ТС НИОД) представляет собой многокомпонентные сухие смеси (с дисперсностью частиц от 5 до 50 мкм) на основе силикатов, применение которых позволяет добиться уникального антифрикционного эффекта в любых парах трения, возникающего за счет существенного изменения триботехнических свойств трущихся поверхностей. Принцип действия препарата прост и эффективен: под воздействием трения, давления и температуры компоненты ТС НИОД проникают в поверхностный слой металла трущихся деталей, после чего происходит зачистка поверхности абразивными составляющими (удаляются оксидные пленки, нагар и наклепы металла). Процесс происходит непосредственно в пятне контакта под действием рабочих нагрузок во время нормальной эксплуатации механизма. При обработке на поверхности пар трения в зонах контакта образуется практически идеально гладкий металлокерамический слой (с уменьшением шероховатости до Ra 0,16 и выравниванием твердостей обеих поверхностей до HRC 58...64). Этот слой наращивается только в тех местах и в таком количестве, которое обеспечивает наибольшую гладкость поверхностей и идеальный тепловой зазор между ними с учетом реального режима эксплуатации механизма и его нагрузок. Наращивание происходит на мо-

лекулярном уровне, и поэтому полученное покрытие имеет строение правильной кристаллической решетки, которая обеспечивает его прочность и твердость. Мелкодисперсное вещество, составляющее основу НИОД, сглаживает самые мелкие неровности трущихся поверхностей. Термодинамические процессы, происходящие в зонах трения в присутствии ТС НИОД, способствуют образованию более толстого слоя металлокерамики в местах наибольшей выработки металла. Одновременно в результате диффузии ТС НИОДа с поверхности в глубину металла упрочняется поверхностный слой детали за счет улучшения и укрепления его кристаллической решетки.

Использование ТС НИОД позволяет распределить нагрузки по всей поверхности трения, что ведет к снижению шумов, вибрации и температуры механизма - он начинает работать в оптимальных условиях, способствующих увеличению его ресурса в 2,5 раза. Смысл технологии состоит в том, чтобы донести триботехнический состав до пар трения и активировать его под рабочими нагрузками (не менее 70% от рабочих) определенное время, после чего остатки НИОД должны быть удалены из механизма.

Для того, чтобы произвести обработку изношенного узла системы подачи нужно обеспечить доступ определенного количества вещества НИОД к трущимся поверхностям и продолжить эксплуатацию механизма в нормальном режиме в течение некоторого времени. По окончании этого периода остатки вещества удаляются, и механизм готов к работе. Технология НИОД принципиально отличается от применения масляных присадок, в первую очередь тем, что покрытие, образованное после обработки составами НИОД, представляет собой не пленку, а кристаллическую структуру, которая внедряется в поверхностный слой металла, продолжая структуру его кристаллической решетки и компенсируя износ. Т.е. в процессе восстановления происходит наращивание "оборванных кристаллических связей". Иными словами, происходит восстановление участков поверхности наиболее подвергшихся износу. Необходимо отметить, что класс чистоты образующейся кристаллической поверхности достигает значений, которые практически недоступны для обычных методов (токарная обработка, хонингование, шлифовка и т.п.). Кроме того, присадки действуют только до тех пор, пока они имеются в масле, а покрытие НИОД остается в структуре металлов "навсегда".

Современные горно-технологические машины работают в сложных условиях, со значительной динамической нагрузкой, обусловленной силами сопротивления, возникающими на исполнительных органах, нелинейностью сил трения в опорно-направляющем механизме и элементах зубчато-реечной системы перемещения, а также наличием абразива в зоне

контакта тяжело нагруженных деталей системы перемещения высоко производительных очистных комбайнов, что приводит к преждевременному их изнашиванию. По данным [1-3], более 10% времени добычных смен тратится на устранение отказов машин, более 58% очистных комбайнов ежегодно капитально ремонтируются. При этом внести какие-либо конструктивные изменения, способствующие повышению ресурса эксплуатируемой машины в целом, не представляется возможным. Кроме того, в настоящее время наблюдается тенденция значительного роста необходимых усилия (на 30%) и скорости подачи (в два раза), что неизбежно приведёт к увеличению нагруженности элементов системы подачи: тягового органа, движителя БСП и опорно-направляющего механизма. Поэтому работа, посвящённая повышению прочности и увеличения ресурса деталей очистных комбайнов, является актуальной.

Добиться решения поставленной задачи обычными конструкторско-технологическими методами за счёт увеличения металлоёмкости деталей машин, учитывая весьма жёсткие требования к габаритам очистных комбайнов, затруднительно. Необходимо отметить, что повышение прочности материалов, из которых изготовлены элементы системы подачи, также не принесёт существенных результатов.

Одним из путей увеличения ресурса систем перемещения очистных комбайнов, поддержания их работоспособности, а также снижения затрат на ремонт является применение триботехнических составов (ТС) НИОД разработки НПИФ «Энион-Балтика» и ППМ-21 (разработчик НИИХИММАШ) в качестве антифрикционной присадки к смазке.

Для подтверждения эффективности применения ТС НИОД и ТС ППМ-21 были проведены сравнительные экспериментальные исследования на модельных триботехнических системах (ТТС). Для очистных комбайнов характерны триботехнические системы, в которых реализовано трение качения с проскальзыванием (зубчатые передачи в редукторах системы подачи и режущей части, элементы зубчато-реечной системы подачи). Поэтому в качестве объекта исследования была принята модельная триботехническая система диск – диск, а структура реализованных при исследовании ТТС описана в табл. 1 [5].

Исследования проведены с использованием трибометра СМЦ-2, работающего по схеме с замкнутым кинематическим контуром. В модельной ТТС трение качения с проскальзыванием было достигнуто за счёт разности частоты вращения образца и контртела.

Таблица 1 - Структура реализованных модельных ТТС

№ модельной ТТС	Тело №1 (Контртелло)	Тело №2 (Образец)	Условия подготовки к испытаниям	Условия контактного нагружения	Цель исследования
1	Ролик $\varnothing 60$ мм, $S_1=10$ мм	Ролик $\varnothing 60$ мм, $S_2=10$ мм	1. ЛИТОЛ 2. ЛИТОЛ + НИОД	$n_1=1000$ мин <sup>-1</sup> $n_2=800$ мин <sup>-1</sup> $F=350$ Н; $q=35$ Н/мм; $p=271$ МПа	Трение качения по металлу
2	Ролик $\varnothing 30$ мм, $S_1=10$ мм	Ролик $\varnothing 30$ мм, $S_2=10$ мм	1 ЛИТОЛ + НИОД 2 ЛИТОЛ + ППМ-21	$n_1=300$ мин <sup>-1</sup> $n_2=240$ мин <sup>-1</sup> $F=800$ Н; $q=80$ Н/мм; $p=542$ МПа	Зубчатое зацепление

Таблица 2 - Режимы термообработки исследованных сталей

Образец	Марка стали	Диаметр образца, мм	Термообработка	Твёрдость HRC <sub>3</sub>	Модельная ТТС
2	20	60	Цементация, закалка, отпуск	55÷60	Зубчатое зацепление
3	20X2H4A	30	Цементация на глубину 1,2...1,6 мм	56÷62	Зубчатое зацепление
4	40X	30	Поверхностная закалка с нагревом ТВЧ	56÷62	Зубчатое зацепление
5	30XГСА	30	Поверхностная закалка с нагревом ТВЧ	56÷62	Зубчатое зацепление

Образцы обкатывались при нормальной нагрузке  $F=200$ Н, затем образцы обезжиривались для удаления продуктов износа и смазочных материалов. Таким образом, исследования модельных ТТС проводились в условиях сухого трения. В результате испытаний определяли количественные характеристики изнашивания, а также исследовали свойства поверхностного слоя и топографию поверхности трения.

Использование триботехнических составов оказывает существенное влияние на формирование эксплуатационной шероховатости поверхности трения (рис. 1).



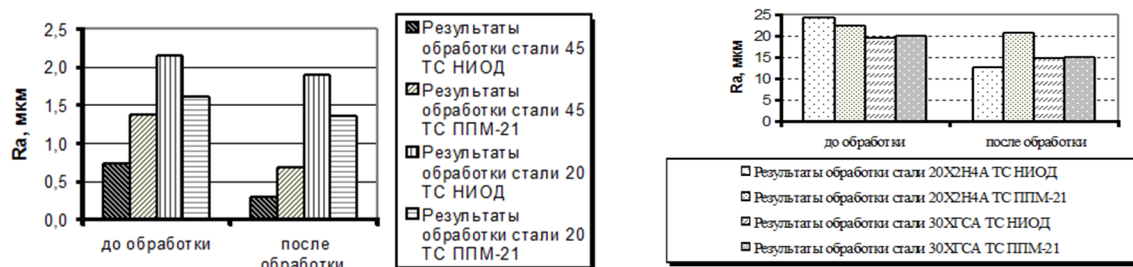


Рис.1. – Формирование эксплуатационной шероховатости поверхности трения в модельных триботехнических системах.

Таким образом, параметр шероховатости Ra при обработке ТС НИОД (ТС ППМ-21) снижается для стали 45 на 62% (42%), для стали 20 на 7%(9%), для стали 20X2H4A на 31% (10%), для стали 30XГСА на 20% (22%). Это обстоятельство связано, по-видимому, с пластифицированием материала в зоне пятна контакта, а также с эффектом облегчения прирабатываемости поверхности образца под влиянием компонентов триботехнических составов.

Образцы профилограмм, полученных при испытании на изнашивание (рис. 2), наглядно иллюстрируют положительное влияние триботехнических составов на шероховатость образца.

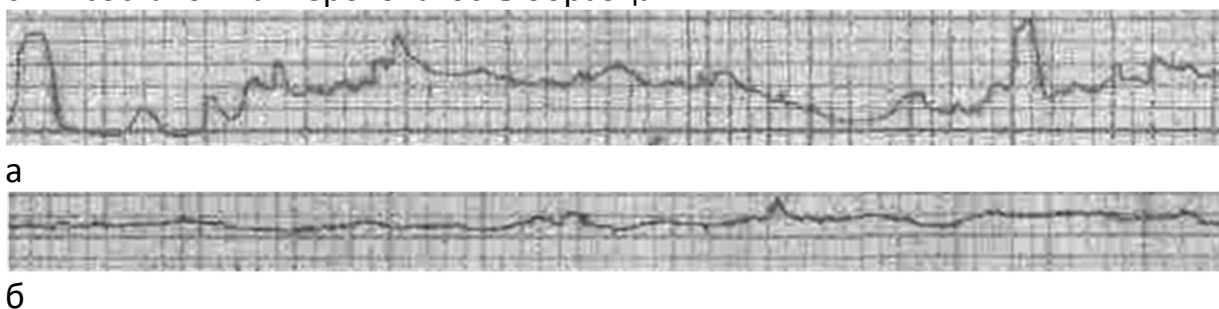


Рис.2. – Профилограммы поверхности образца а), б) (сталь 45) до и после обработки ТС НИОД

На первом этапе эксперимента (режимы контактного нагружения см. табл. 4.2) одна пара образцов ТТС №1 была обработана консистентной смазкой ЛИТОЛ, а другая ТС НИОД, растворённым в ЛИТОЛЕ. Анализируя полученные результаты, можно отметить, что после обработки испытуемых деталей в ТС ЛИТОЛ+НИОД на первом этапе эксперимента при механическом изнашивании, когда в контактной зоне присутствует слой консистентной смазки ЛИТОЛ интенсивности изнашивания материалов обработанных ТС НИОД с ЛИТОЛ и одной смазкой ЛИТОЛ соизмеримы. В процессе эксперимента при контактом взаимодействии под нагрузкой, а также при обезжиривании образцов перед взвешиванием происходит удаление

масляной плёнки, после чего интенсивность изнашивания возрастает в 2...6 раз (когда для смазки использован только один ЛИТОЛ).

Необходимо отметить, что применение ТС НИОД также способствует снижению коэффициента трения. Так, по результатам эксперимента в паре трения, обработанной ТС НИОД, коэффициент трения в среднем был в 3.2 раза меньше, чем в паре трения, обработанной ЛИТОЛ.

Установленное влияние триботехнических составов на микротвёрдость и топографию поверхности трения интегрально проявляется в эффекте снижения интенсивности изнашивания образцов, обработанных в модельных триботехнических системах. интенсивность изнашивания может быть описана уравнением регрессии (коэффициент детерминации составляет  $R^2=0,7462$ ):

$$I = 2 \cdot 10^{-5} \cdot S^3 - 0,0009 \cdot S^2 + 0,0102 \cdot S - 0,0044$$

где  $S$  – путь трения, м.

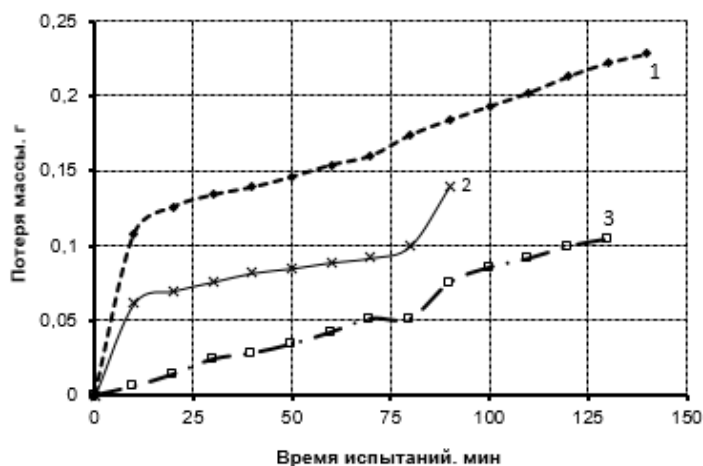


Рис. 3. – Сравнение различных способов упрочнения поверхностных слоёв детали:

1 – Сталь 20Х2Н4А цементованная без смазки; 2 – Сталь 20 с наплавкой; 3 – Сталь 20Х2Н4А с НИОД

**Вывод.** Проведённый комплекс ускоренных модельных экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы о перспективности применении триботехнических составов: значительно уменьшается износ пар трения, следовательно увеличивается ресурс работы машин; уменьшается шероховатость рабочих поверхностей, а значит снижается потребление электрической энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Красников Ю.Д., Солод С.В., Хазанов Х.И. Повышение надёжности горных выемочных машин. – М.: Недра, 1989. – 215 с.
2. Силовые зубчатые трансмиссии угольных комбайнов. Теория и проектирование / П.Г. Сидоров, С.В. Козлов, В.А. Крюков, Л.П. Полосатов; под общ. Ред. Сидорова. – М. Машиностроение, 1995. – 296 с.
3. Стационарные и тормозные режимы работы бесцепных систем перемещения очистных комбайнов / В.А. Бреннер, К.А. Головин, Т.В. Ковалёва, Л.В. Лукиенко, А.Е. Пушкарёв. – Тула: изд-во ТулГУ, 2007. – 220 с.
4. Буйносов А.П., Фетисова Н.Г. Наноматериал увеличивает ресурс бандажей колёсных пар электроподвижного состава. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. №2, 2014, С. 59-64.
5. О применении триботехнических составов для повышения ресурса тяжело нагруженных деталей машин // Сафонов Б.П., Трещёв С.Г., Лукиенко Л.В., Сазонов В.Д. Вестник машиностроения. 2003, №6, С. 39-42.
6. Р.Ю. Соловьев, Д.А. Гительман, А.К. Ольховацкий. Экспресс-метод выбора рационального триботехнического состава для безызысной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания. Технологические рекомендации по техническому сервису ДВС для специалистов сервисных предприятий и владельцев автотракторной техники и легковых автомобилей Москва, ГОСНИТИ – 2015.

УДК 621.926.2

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАКЛОННОЙ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ ВИБРАЦИОННОЙ ЩЁКОВОЙ ДРОБИЛКИ

**Е.В. Федоскина<sup>1</sup>, И. Батаев<sup>2</sup>, В. Суховой<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Днепровская политехника» Днепр, Украина, e-mail: [fedoskina.ev@gmail.com](mailto:fedoskina.ev@gmail.com)

<sup>2</sup>студент гр. 132м-18, Национальный технический университет «Днепровская политехника» Днепр, Украина

**Аннотация.** В работе показаны направления совершенствования наклонной рабочей камеры вибрационной щёковой дробилки и представлены некоторые конструктивные решения.

*Ключевые слова:* виброщёковая дробилка, рабочая камера, пассивная щека, совершенствование.

## PERSPECTIVE DIRECTIONS OF THE IMPROVEMENT OF THE TILTING WORKING CAMERA OF THE VIBRATION SHCHEKOVA CRUSHER

**Helen Fedoskina<sup>1</sup>, Ilya bataev<sup>2</sup>, Vladislav Sukhovoy<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D., Assistant of the Machinery Design Bases Department, National Technical University 'Dnipro Polytechnic', Dnipro, Ukraine, e-mail: [fedoskina.ev@gmail.com](mailto:fedoskina.ev@gmail.com)

<sup>2,3</sup>Student, National Technical University 'Dnipro Polytechnic', Dnipro, Ukraine

