

Миклуш В.П.,<sup>1</sup>  
Тарасенко В.Е.<sup>1</sup>  
Дунаев А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: Miklush@tut.by

<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия,  
E-mail: gosniti@list.ru

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ТРИБОСОСТАВОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ БЕЗРАЗБОРНОГО РЕМОНТА

УДК 629.3.014.2

*В статье приведен обзор основных этапов применения минеральных трибосоставов при проведении безразборного ремонта и результаты анализа дифрактограмм серпентинов.*

**Ключевые слова:** трение, масло, трибосостав, серпентин, дифрактограмма, механизм, безразборный ремонт.

### Актуальность проблемы

К настоящему времени смазочные материалы достигли высокого качества, пределы их совершенствования практически исчерпаны [1, 2]. Однако они все же не устраняют изнашивания сопряжений, поэтому поиск дополнительных материалов к маслам продолжается.

Практика использования природных веществ, таких как речной ил и полезные ископаемые имеет многотысячелетнюю историю. А широкое применение необычных притирочных составов к маслам начато впервые в 1942 г. в США для устранения дефектов коробок передач большой партии армейских вездеходов фирмы Джeneral Моторс. Успешное применение трибосоставов инициировало, особенно с 70-х гг., их развитие в различных направлениях. Однако масштабных и эффективных трибосоставов для «избирательного переноса» к парам трения «сталь-сталь» в маслах со щелочными присадками, требующего сочетания до десятка сложных факторов не создано [3]. Вместе с тем для реализации как-бы «избирательного переноса», была создана гамма металлоплакирующих добавок к смазкам: масляных суспензий порошков мягких металлов, их сплавов; масляных растворов солей жирных кислот этих металлов, осуществляющих электрохимическое осаждение пленок на стальных поверхностях [4, 5].

Наибольшим развитием «избирательного переноса» с 90-х гг. были именно металлоплакирующие составы. Но им присущи совсем другие триботехнические процессы, идущие не по механизму трибополимеризации смазки, активируемой медью в кислой среде, а по адгезии, диффузии и электролитическому осаждению мягких металлов в среде масел [4].

Более широко разработки разнообразных трибосоставов шли за рубежом, результатом которых к настоящему времени являются более десятка эффективных серийных трибосоставов стран ЕС и США, а всего в историческом плане их рекламировалось около 100 наименований. Так из выявленных 160 патентов РФ по применению трибосоставов выявлено: серпентиновых – 53, металлоплакирующих – 36, фторсодержащих – 9, наноалмазных – 7, многокомпонентных – 6, с графитом – 3, с дисульфидом молибдена – 2, средств и приемов щелочной, магнитной, электрической и другой обработки масел – 10, специфика приемов комплексной обработки деталей и трибосопряжений – 13, масел с добавками – 9.

Десятки патентов США, ЕС защищают специфические составы масел, а также трибосоставы на основе химических реагентов, наноалмазов, металлоплакирующих и полимерных веществ.

Основное содержание трибосоставов: минеральное, металлосодержащее, органическое и трибохимическое, но наиболее востребованы серпентиновые, как смеси гидросиликатов магния, никеля, алюминия, железа, хотя имеются и углеродные кластеры «КАРАТ-М», «ГРАФ» и др.

Следует отметить, что по результатам анализа, проведенного в НАТИ конструкций ДВС зарубежных фирм выявлено, что корпуса маслофильтров всех американских ДВС изготавливались только из магниевых сплавов.

Фирма «Континенталь» (США) – производитель маслофильтров для ДВС в 50-х гг. устанавливала в их корпуса кольцевую прокладку из сплава с высоким содержанием магния, обладающего высокими щелочными свойствами. Прокладка, омываемая потоком фильтруемого масла, интенсивно нейтрализует образующиеся в масле кислоты, уменьшает опасность коррозии, полимеризации и накопления в масле смолистых продуктов.

Канадская фирма «Магма Пауэр» аналогично выпускала резьбовые пробки в масляный поддон ДВС, выполненные из магниевых сплавов с тем же назначением.

В 1970 г. сотрудники УПИ получили на ВДНХ СССР золотую медаль, т.к. введя в маслофильтр ДВС ВАЗ-2101 магниевую фольгу (80x20x0,5 мм), добились ресурса невысокого качества тех времен масел до 50 тыс. км и практически исключили изнашивание ДВС.

Таким образом, не случайно, что наиболее приемлемые трибосоставы включают магний.

Исследования по применению минералов в качестве трибосоставов и практические работы в этом направлении начаты в 1976-1978 гг. на базе Ленинградского института ЛИАП, где в 1982-1984 г. был открыт «эффект низкого трения гидратов по стали» [6, 7].

Проведенные в 1987-1990 гг. исследования в институте «Механобр» [6] способствовали расширению использования серпентиновых трибосоставов.

Горняками давно было замечено повышение износостойкости колесных пар шахтных вагонеток, нагартованных рудной пылью и мелочью серпентинита, а практическую возможность повышения износостойкости и частичного восстановления изношенной стальной поверхности в результате воздействия на нее минерального контртела ученые оценили позже, при бурении скважин на Кольском полуострове. При проходке пластов серпентинита упрочнялись и восстанавливались подшипники бурового инструмента – шарошек, происходило упрочнение и самого бурового инструмента.

Об исследованиях трибологии серпентинов впервые было доложено в 1985 г. на 1-й Международной конференции по трению, изнашиванию и смазке в Ташкенте.

В 1988 г. на Ленинградском Кировском заводе была организована «Академия технического творчества», выпускники которой, наряду с НПИФ «Энион-Балтика», создали несколько творческих коллективов, которые и заложили базу использования геомодификаторов трения (ГМТ) на основе серпентина. С 1990 г. к 2000 гг. этими коллективами создана серия серпентиновых трибосоставов НИОД (НПИФ «Энион-Балтика»), А.Р.Т. (ТК НЕОСФЕРА), РВС (НПО «Руспромремонт»), «Реагент 2000», «Живой металл», «РЮ-11», «Форсан», «Трибо», «Motor doctor», СУПРА и др. [9]. Созданные ГМТ испытаны в Республике Беларусь, Болгарии, Молдавии, Украине, Узбекистане, Египте, Греции, Франции, Италии, Испании, Австрии, Швейцарии, Бельгии, Чехии, Сан-Марино,

Португалії, Бразилії, Аргентині, Сирії, Чилі, Новій Зеландії. Ці трибосостави заклали базу використання нетрадиційної триботехніки природними мінералами. Пізніше на основі серпентинових створені інші прості та комплексні складові: ВІККО, ЕДІАЛ, АРВК, Стрібойл, Моторвіта і др.

НПО «Руспромремонт» з початку 2000-х гг. постачало в Японію склад РВС і після успішно проведених досліджень і випробувань в Токійському Інституті ім. Васеда в 2002 г. був розроблений РВС на місному сировині [8]. Нескільки пізніше місними спеціалістами в содружстві з російськими створено декілька подібних складових під брендами «RVS Technology», «MRS Technology» (MRS – Metal Recrystallization Catalyst). З 2005 г. в Японії випускалися трибосостави: «METARIZER EX» (Metal surface treatment); «Metallion Power chip P250»; «Metarizer professional service». В нинішній час там випускається склад «Fe-Do». Використання місних трибосоставов з підтримкою ведучих автомобільних концернів Японії проводиться на їх 26 сервісних центрах, а ведучим підприємством в Токіо по ремонту ДВС і поставці японських ДВС по всьому Індокитаю на кінцевій стадії обкатки використовують склад «Fe-Do», що дозволяє випускати ДВС з більш високими характеристиками [8].

Аналогічні складові були створені в Китаї, во В'єтнамі (TFT), в Німеччині (REVITEC), в Фінляндії (RVS-ТесОУ), в Швеції (RESTAL).

### Основная часть

Особенности серпентиновых трибосоставов в отличие от присадок к маслам показаны в таблицах 1, 2.

Первые серпентиновые составы были созданы на основе породы серпентинита, а впоследствии из минералов группы серпентина выбрали наиболее трибоэффективные кристаллические формы серпентина: антигорит, хризотил и лизардит-1Т.

Серпентины представляют собой минералы из подкласса слоистых силикатов по формуле  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ . По морфологии и характеру деформации кристаллической решетки выделены три основные разновидности серпентина: микрочешуйчатая листовая – антигорит (35-50 % в составе ГМТ); тонковолокнистая – хризотил (30-50 % в ГМТ) и тонкозернистая – лизардит структурной формулы Лизардит-1Т (10-30 %).

Например, в ГМТ-порошках, которые использованы для разработанного совместно с ООО «РеалИнПроект» трибосостава МС-2, использованы смеси следующих продуктов:

1. «НА 2011.06». Состав: Хризотил, Антигорит, Лизардит из рудника у г. Нижний Уфалей Челябинской обл.;
2. «ЛЕН 2011.06». Состав: Клино-Хризотил, Антигорит, Лизардит из рудника «Золотая Гора» у г. Карабаш Челябинской обл., а также ПАВ 0,1%;
3. «ЛЕН № 1 10 мкм». Состав: Клино-Хризотил, Антигорит, Лизардит из того же рудника, а также ПАВ 0,2%;
4. «ЛЕН № 2 Индустр». Состав: Клино-Хризотил, Антигорит, Лизардит из того же рудника, а также ПАВ 0,3%.

Серпентины относятся к группе триоктаэдрических слоистых гидросиликатов с кремнекислородными тетраэдрами  $SiO_4$ . Их цвет: беловатый, зеленоватый, желтоватый, темно-буро-зеленый в зависимости от разнообразия содержания атомов  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ , а также примесей Ni. Твердость по минералогической шкале 2,5-3, плотность  $2550 \text{ кг/м}^3$ , они – породообразующие минералы горной породы серпентинита.

К основным серпентинам относится большая группа минералов близкого химического состава, но описываемых по-разному:



где кремний может частично замещаться алюминием, а магний – алюминием, марганцем, никелем, железом.

Присадки к маслам и серпентиновые трибосоставы, химмотологические признаки

Наименование показателей	Характеристики показателей	
	Присадок	Трибосоставов
Обеспечение рабочих свойств смазочных масел	антизадирных, антиизносных, антифрикционных, моюще-диспергирующих, антикоррозионных	антизадирных, антиизносных, антифрикционных
Обеспечение конституционных свойств смазочных масел	вязкостных, антиокислительных, деэмульгирующих, низкотемпературных	Не обеспечивают. Собственные показатели: - дисперсность, - фракционный состав, - материальный состав
Объект воздействия	базовое масло - углеводородная жидкость	сопряжения трения при поступлении к ним со смазочным маслом
Используемая концентрация	до 20 %	0,01 – 3 %
Взаимодействие со смазочным маслом	растворяются в маслах и смазках, расходуются на поддержание их рабочих и конституционных свойств	Образуют масляные суспензии, расходуются на модифицирование поверхностей трения, а при избытке удаляются со сменой масла
Механизм работы в трибосопряжениях	адсорбция, хемосорбция	адсорбция, хемосорбция, электроосаждение, каталитическое действие на трибосреду и трибополимеризация
Толщина слоя, образуемого на поверхностях деталей	до 40 Å	до 650 мкм у наноалмазных; серпентиновыми составами в разных узлах 20, 100, 600 и до 1000 мкм
Температурный предел действия	до 150 °С у ПАВ, 150 – 350 °С у хемосорбционных	от 150 до 500 °С и в пределах температурной стойкости конструкционных материалов.
Длительность действия	до смены масла	до 3-5 сроков смены масла или 30-50 и 100 тыс. км. пробега автомобилей, год-два работы агрегатов МТП
Обеспечение работы без масла	запрещается	гарантируется безаварийный пробег без масла до 200 км. Показательны пробеги Москва-Питер-Москва (900 км) согласно Диплома рекордов России, Годичная работа тепловозов, электровозов без масла в тяговых редукторах и др. без масла в моторах

Сравнительная триботехническая характеристика присадок к маслам  
 и серпентиновых трибосоставов (данные НПО «Руспромремонт»)

Показатели сравнения	Трибосоставы, компенсирующие износ	Присадки к маслам
Упрочнение исходных поверхностей	Существенное, в 1,2 – 1,5 раза	Незначительное и не для всех присадок
Выравнивание микрорельефа поверхностей трения	Заметное, до 0,06 мкм	Небольшое
Наращивание восстановительного слоя и оптимизация зазоров в сопряжениях	Происходит, 10-20 мкм; при больших износах требуется неоднократная обработка	Не происходит
Увеличение ресурса пар трения в сравнении с ресурсом стандартных деталей	Для новых деталей до 2,5 раз, после ремонта до 150 %	Происходит, но менее эффективно
Снижение вибраций и шума агрегатов	Существенное, максимум - на 6 дВ	Незначительное у многих; хорошее у некоторых
Коррозионная стойкость	Высокая, снижение коррозионного износа	Нормативная; для спецприсадок высокая
Теплостойкость восстановленной поверхности	Высокая, до 500 °С	-
Коэффициент трения, механические потери в агрегате	Снижается до 0,025, а механические потери на 20%	Снижаются, но в меньшей мере
Снижение температуры узла трения и смазочного масла	Существенное; агрегат может работать длительное время без смазки	Заметное, но без смазки, работа не допускается
Защита агрегата от аварии при потере смазки	Полная	Небольшая
Снижение «пусковых износов» у ДВС при работе с всесезонными маслами	Значительное	Для присадок, образующих износостойкую защитную пленку
Совместимость со смазочными маслами и рабочими жидкостями	С маслами, гидрожидкостями, дизтопливом, керосином, бензином, спиртом, СОЖ	Индивидуальная для разных пакетов присадок к различным типам масел
Повышение срока службы масла	Заметное, требования к качеству масла снижаются.	Нужно соблюдать сорт и срок службы масла
Периодичность применения	На срок до 2500 час	По исчерпанию ресурса масла
Избирательность действия	В основном для стальных и чугунных деталей	Сбалансированные пакеты присадок универсальны
Технико-экономический эффект	Показатели агрегатов, зависящие от узлов трения, обеспечивают рентабельность 500-1200 %	Повышение ресурса и отдельных показателей

Модель конструкции серпентинов по данным [9] приведена на рисунках 1, 2.

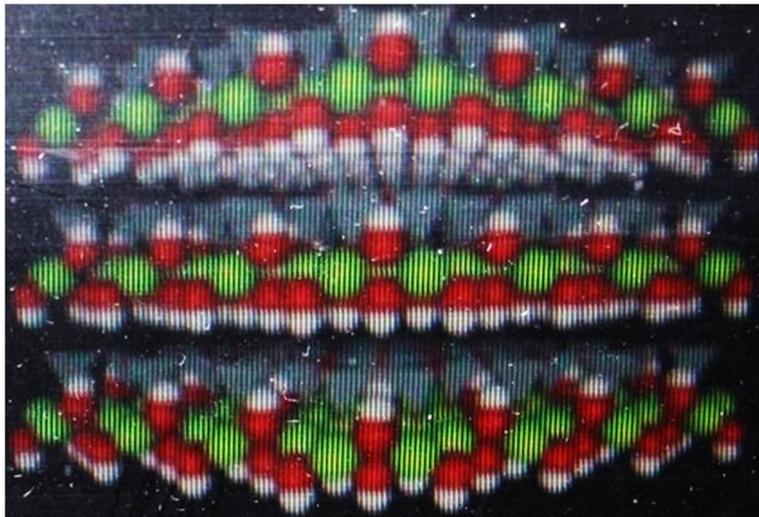


Рис. 1. Структурная модель слоев химэлементов, образующих серпентины

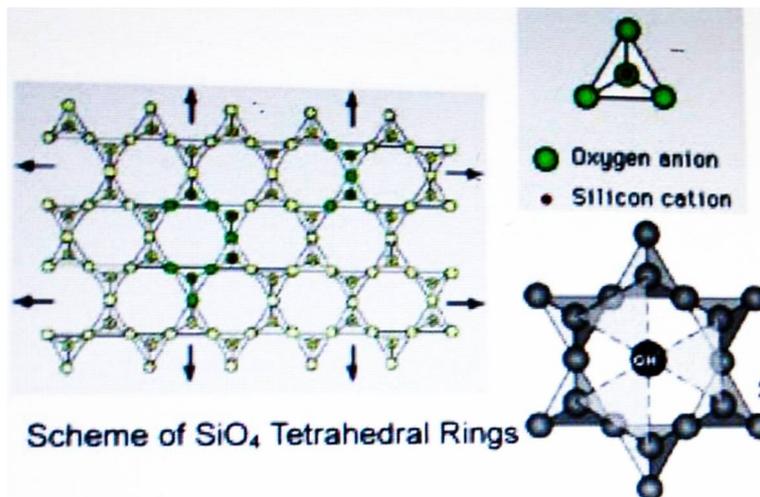
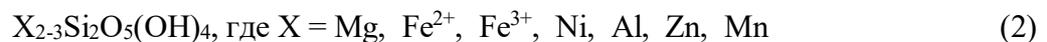
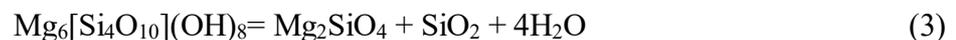


Рис. 2 - Компонировка силикатных (SiO<sub>4</sub>) тетраэдров серпентина (Лизардит)

В серпентинит входит до 28 разновидностей серпентина и множество сопутствующих минералов на основе алюминия, никеля, железа, кальция и других химэлементов. Поэтому имеется и такая трактовка состава ГМТ [10]:



и известны 4 типа реакций при разложении серпентинов с выделением силиката магния, кварца, окиси магния, воды, кислорода. Основная реакция:



Переменность состава ГМТ проявляется на их дифрактограммах, в т.ч. исследованных ниже. Примерный компонентный состав ГМТ из высокодисперсных (5-40 мкм) порошков: MgO – 40-45 %, SiO<sub>2</sub> – 40-44 %, H<sub>2</sub>O - 12.1-12.9 %. Конституционная вода выделяется при температуре 150-300 °С с разрушением кристаллов.

Состав классических минералов группы серпентина приведен в таблице 3.

Отличаясь структурой, минералы триботехнически работают не одинаково. Для триботехники важен гидросиликат магния - серпентин в форме Лизардита структурной формулы 1Т. Конечно, только одним этим минералом создать ГМТ затруднительно.

Пример минералов группы серпентина

Основные минералы группы серпентина	Формула химсостава	подтверждение дифрактограммами
Клинохризотил	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	да
Антигорит	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	нет
Лизардит	$Mg_6(Si_2O_5)_2(OH)_8$	да
Амезит	$Mg_2Al(AlSiO_5)(OH)_4$	нет
Гриналит	$Fe_3(Si_2O_5)(OH)_4$	нет
Непуит	$Ni_3(Si_2O_5)(OH)_4$	да
Серпентин обобщенно двойной формулой	$Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$	да

На дифрактометре XRD 6000 проведен рентгенофазовый анализ 15 порошков ГМТ от ООО «Венчур-Н», ООО «НЕОСФЕРА», ООО «РеалИнПроект», ГНУ ВИЭСХ и др. Один из результатов анализа приведен на рисунке 3 [2].

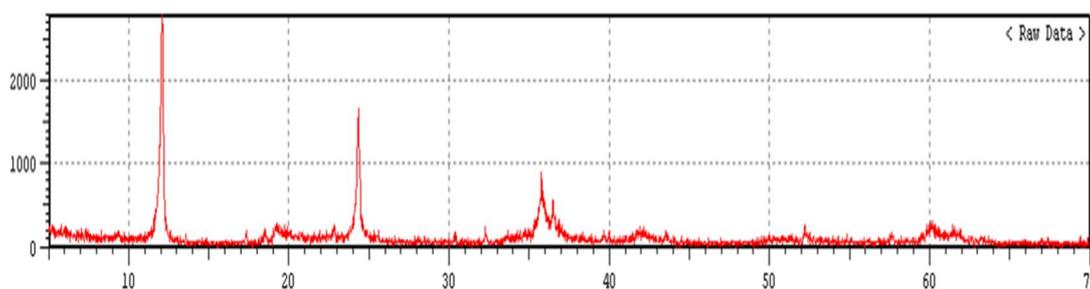


Рис. 3 – Дифрактограмма состава 1 от ГНУ ВИЭСХ (идентифицирован Lizardite-1T)

На всех дифрактограммах [2] между характерными импульсами сигналов основных веществ наблюдался, как помеха, небольшой фон излучения, что свидетельствует о наличии в ГМТ примесей. Названия основных выявленных в порошках веществ по международно-двойной библиотеке спектров ICDD следующие:

- $(Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5$  Aluminum Iron Magnesium Silicate (Lizardite-1T);
- $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$  Magnesium Iron Silicate Hydroxide (Lizardite-1M);
- $(Ni,Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$  Nickel Silicate Hydroxide (Nepouite-20);
- $(Fe,Al,Mg,Mn)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$  Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide (Orthochamosite-10Ib);
- $(Fe,Mg,Al)_{2,5}(Si,Al)_2O_5(OH)_4$  Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide (Odinite-1M);
- Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide (Chlorite-serpentine (NR)).

На основании анализа дифрактограмм порошков сделаны следующие выводы [2]:

1. Порошки практически соответствуют классическим составам гидросиликатов магния, никеля, алюминия с примесями, хотя по библиотеке спектров ICDD они включают также тальк, Orthochamosite-10Ib, Odinite-1M, Chlorite-serpentine (NR).

2. Библиотека спектров ICDD выявила антигорит, являющийся по данным производителей ГМТ одним из основных его компонентов, лишь в составах ООО «Жилсервис» и ВИЭСХ.

3. Треть порошков являются смесями до 10 соединений. Особенно сложны составы от ТК «НЕОСФЕРА» и от ООО «РеалИнПроект». Исключением является состав «РВД» (ООО «Триггер»), состоящий, в основном, из минерала «Лизардит-1Т».

4. Серпентин лизардитовой-1Т конфигурации представлен только в 6-ти порошках из 15: порошки ТК «НЕОСФЕРА», состав РВД, серия составов ООО «РИП».

5. Для некоторых ГМТ в разное время исследований выявлено некоторое различие дифрактограмм и фазового состава, т.к. высокодисперсные порошки ГМТ при хранении претерпевают фазовые изменения.

6. Среди химических элементов в порошках доминирует Mg, Si, а по убывающей концентрации заметны Ni, Fe, Al, Ca и следы Ge, Na, Mn, Sr, Zn, Cu, S, U.

7. Библиотека спектров ICDD в различных попытках идентификации минералов выдает на один и тот же порошок различающиеся наборы до 20 веществ, что затрудняет идентификацию ГМТ.

### Выводы

1. Дифрактограммы ГМТ от ведущих производителей подтверждают, что в основном они являются гидросиликатами магния, никеля и алюминия, в некоторых из них имеются примеси железа, марганца и других химэлементов.

2. В целом лабораторные и производственные данные пионеров ГМТ-технологии и легли в основу принципиально нового направления в триботехнике, как безразборного ремонта минеральными трибосоствами. Эта не традиционная триботехника подлежит широкому применению для машинно-тракторного парка сельского хозяйства.

### Литература

1. Дунаев, А.В. Технологические рекомендации по повышению ресурса агрегатов тракторов ремонтно-восстановительными добавками к смазочным маслам / А.В. Дунаев, В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2013. – 96 с.
2. Дунаев, А.В. Модернизация изношенной техники с применением трибопрепаратов / А.В. Дунаев, С.Н. Шарифуллин. – Казань: Издание Казанского университета. – 2013. – 272 с.
3. Чичинадзе, А.В. Трение износ, смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун [и др.]; под общей редакцией А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
4. Погодаев, Л.И. Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин. – С.-Пб.: Изд-во АТРФ, 2006. – 607 с.
5. Синельников, А.Ф. Автомобильные масла. Краткий справочник / А.Ф. Синельников, В.И. Балабанов. – М.: «За рулем», 2003. – 176 с.
6. Зуев, В.В. Конституция, свойства минералов и строение земли (энергетические аспекты) / В.В. Зуев. – С.-Пб: Наука, 2005. – 400 с.
7. Телух, Д.М. Введение в проблему использования природных слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях / Д.М. Телух, В.П. Кузьмин, В.В. Усачев. Интернет-журнал «Трение, износ, смазка», 2009. – № 3. – С. 13-17.
8. Пустовой, И.Ф. 14-летний опыт Питерской РВС-технологии. – М.: Труды ГОСНИТИ, 2011. – Т. 107, ч.2. – С. 38-40.
9. Yuansheng, J. and Shenghua, L. Superlubricity of in situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of  $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$  / Superlubricity. Edited by Ali Erdemir Argonne National Laboratory. – Argonne, USA; and Jean-Michel Martin, Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France // Elsevier B.V., 2007. –P. 445-469.
10. Любимов Д.Н. Применение эффекта поля для снижения фрикционных потерь машин / Д.Н. Любимов, К.Н. Долгополов, Н.К. Вершинин, А.В. Дунаев. Тракторы и сельхозмашины, 2014. – № 10. – С. 40–43.

### Summary

**Miklush V.P., Tarasenko V.E., Dunaev A.V.** The rationale for the use of mineral triboactive to conduct CIP repair

*The article presents an overview of the main stages of application mineral triboactive in conducting CIP repair and the results of the analysis of diffraction patterns of the serpentine.*

**Keywords:** friction, oil, tribolistas, serpentine, diffraction pattern, mechanism, and repair.

### References

1. Dunaev, A.V. Tekhnologicheskie rekomendacii po povysheniy uresurs agregatov traktorov remontno-vosstanovitel'nymi dobavkami k smazochnym maslam / A.V. Dunaev, V.P. Lyalyakin, R.Yu. Solov'ev. – M.: FGBNU «Rosinformagrotekh». – 2013. – 96 s.
2. Dunaev, A.V. Modernizaciya iznoshennoj tekhniki s primeneniem tribopreparatov / A.V. Dunaev, S.N. Sharifullin. – Kazan': Izdanie Kazanskogo universiteta. – 2013. – 272 s.
3. Chichinadze, A.V. Trenie iznos, smazka (tribologiya I tribotekhnika) / A.V. Chichinadze, Eh.M. Berliner, Eh.D. Braun [i dr.]; pod obshchej redakciej A.V. Chichinadze. – M.: Mashinostroenie, 2003. – 576 s.
4. Pogodaev, L.I. Strukturno-ehnergeticheskie modeli nadezhnosti materialov I detalej mashin / L.I. Pogodaev, V.N. Kuz'min. – S.-Pb.: Izd-vo ATRF, 2006. – 607 s.
5. Sinel'nikov, A.F. Avtomobil'nye masla. Kratkij spravochnik / A.F. Sinel'nikov, V.I. Balabanov. – M.: «Zarulem», 2003. – 176 s.
6. Zuev, V.V. Konstituciya, svojstva mineralov I stroenie zemli (ehnergeticheskie-aspekty) / V.V. Zuev. – S.-Pb: Nauka, 2005. – 400 s.
7. Teluh, D.M. Vvedenie v problemu ispol'zovaniya prirodnyh sloistyh gidrosilikatov v tribosopryazheniyah / D.M. Teluh, V.P. Kuz'min, V.V. Usachev. Internet-zhurnal «Trenie, iznos, smazka», 2009. – № 3. – S. 13-17.
8. Pustovoj, I.F. 14-letnij opyt Piterskoj RVS-tekhnologii. – M.: Trudy GOSNITI, 2011. – T. 107, ch.2. – S. 38-40.
9. Yuansheng, J. and Shenghua, L. Superlubricity of in situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of  $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$  / Superlubricity. Edited by Ali Erdemir Argonne National Laboratory. – Argonne, USA; and Jean-Michel Martin, Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France/ Elsevier B.V., 2007. – P. 445-469.
10. Lyubimov D.N. Primenenie ehffekta poly a dlya snizheniya frikcionnyh poter' mashin / D.N. Lyubimov, K.N. Dolgopolov, N.K. Vershinin, A.V. Dunaev/ Traktory I sel'hozmashiny, 2014. – № 10. – P. 40–43.