

3. Миф Н.П. Модели и оценка погрешности технических изменений. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 144 с.

**Abstract.** The work presents the analytical materials of practical research on the control of the speed of wear of the parts of power plants of agricultural machinery. The fuel supply system was taken as an object of research, namely high-pressure pump (TNVD).

УДК 629.3:665:661.8

**Федотов А.В.**, доктор технических наук;  
**Дорохов А.С.**, доктор технических наук, академик РАН, профессор  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,  
г. Москва, Российская Федерация*

## **НАНОСТРУКТУРНЫЙ ОКСИГИДРОКСИД АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИН**

***Аннотация.** Изучены триботехнические свойства наноструктурного оксигидроксида алюминия. Показана перспективность его применения в качестве приработочного и профилактического препарата. Обосновано его применение для ремонтно-восстановительных целей.*

В техническом сервисе машин и оборудования широко применяются разнообразные добавки к маслам, позволяющие уменьшить коэффициент трения и износ в местах сопряжения деталей. Среди неорганических добавок эффективными оказались давно известные материалы слоистого строения: графит, молибденит, тальк, монтмориллонит (глинистый минерал), каолин и другие. Материалы профилактические, используются для уменьшения трения и скорости изнашивания и в результате повышения послеремонтного ресурса сельскохозяйственных машин. Другая группа слоистых материалов на основе минералов группы серпентина относится к ремонтно-восстановительным составам способным восстанавливать изношенные сопряжения путем наращивания слоя в местах трения.

Новым триботехническим материалом, хорошо зарекомендовавшем себя в качестве триботехнической добавки является оксигидроксид алюминия  $AlOOH$  (бемит) [1].

Целью работы является оценка перспектив применения бемита в качестве профилактического и ремонтно-восстановительного составов.

В работе использовали бемит, полученный гидротермальным синтезом (ГТС) из порошка алюминия марок АСД – 6 или АСД – 4 [2]. Реакция является гетерогенной, экзотермической, проходящей в докритических условиях. Бемит, полученный этим методом, отличается высокой химической и фазовой чистотой, стабильностью структуры. Порошок обладает значительной удельной поверхностью ( $75\text{--}80\text{ м}^2/\text{г}$ ), является нанокристаллическим (размер кристаллитов  $60\text{--}70\text{ нм}$ ). Нагрев бемита приводит к дегидратации, фазовым превращениям, образованию неравновесных структур, самоизмельчению исходных агрегатов и частиц.

Приработку дизеля Д-243 проводили на обкаточно-тормозном стенде КИ-3540-ГОСНИТИ. Для испытания бемит растирали с олеиновой кислотой и суспензию обрабатывали ультразвуком. Испытания показали стабилизацию компрессии в цилиндрах на уровне  $3,0\text{ МПа}$  через  $30\text{--}40$  минут. Без бемита требовалось не менее  $80$ -ти минут для этих же значений компрессии (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика компрессии при приработке дизеля (в скобках значения, полученные с добавкой бемита)

	Время обработки, мин				
	0	20	40	60	80
Давление, МПа	2,6 (2,65)	2,85 (2,82)	2,9 (3,0)	2,97 (3,0)	3,0 (3,0)

После  $120$  мин приработки с бемитом эксперименты показали в  $1,4\text{--}1,7$  раза меньшую шероховатость вкладышей и поршневых колец, меньший износ компрессионного кольца (в  $2,5$  раза), расхода картерных газов, температуры на  $10\text{--}16\text{ }^\circ\text{C}$ . В целом ввод бемита повысил износостойкость деталей сопряжений и уменьшил приработочный износ. Уменьшение приработочного износа увеличивает эксплуатационный ресурс, т. к. возрастает величина допустимого износа сопряжений. Добавка бемита повышает качество приработки двигателей, обеспечивая экономию эксплуатационных затрат.

Добавка на основе бемита хорошо зарекомендовала себя в условиях двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с твердостью деталей 52-56 HRC и 10–11 классом чистоты. Зубья зубчатых колес трансмиссий, в т. ч. в редукторах (стали типа 18ХГТ) и подшипники качения (стали типа ШХ-15) имеют твердость 179 – 207 МПа или 61-63 HRC при классе чистоты 7–8 с шероховатостью Rz 3,2–6,0 мкм. Нанодисперсность частиц бемита приводит к их вдавливанию в глубокие впадины шероховатостей грубых поверхностей зубьев зубчатых колес и, поэтому абразивность порошка бемита в агрегатах трансмиссий оказалась слабой. Кроме того, в условиях трения и повышенной температуры в точках контакта может происходить дезагрегация бемита и его разложение с образованием безводных форм оксидов алюминия, что еще больше уменьшает размер частиц.

Состав для ускоренной обкатки узлов трансмиссий разрабатывали совместно со специалистами Ивановской ГСХА [3]. Состав включает дизельное отработанное масло, каолин, тальк, высокодисперсный порошок бемита ГТС и ПАВ. Производственные испытания проводили на редукторе мобильной буровой установки. Конструктивной особенностью установки является наличие высокотвердых зубчатых колес, опорных подшипников. По сравнению с обкаткой на штатном трансмиссионном масле ТМ-3 наблюдалось ускорение приработки (в 2,5 раза), снижение температуры смазки (на 13 °С), увеличение площади приработанной поверхности деталей (в 2,0–2,7 раз). Положительный эффект обусловлен соответствующими физико-механическими свойствами каолина и талька и размерами их частиц (единицы мкм), сопоставимыми с размерами неровностей деталей редуктора. Таким образом для деталей большей шероховатости и твердости эффективны композиции бемита с минеральными компонентами большего размера.

Сравнительные испытания известных и новых триботехнических материалов (таблица 2) проводили по схеме «ролик-колодка» (ролик – сталь 40Х, колодка – чугуна (гильза цилиндра дизеля Д-240) на машине трения модели 2070 СМТ-1М с вращательным характером движения образцов и с возвратно-поступательным движением меньшего образца (фрагмент поршневого кольца) по большему (фрагмент гильзы цилиндра ДВС) на модернизированной машине трения модели 77МТ-1М. Триботехнические добавки испытывали в одинаковых условиях. Концентрацию добавок готовили по рекомендациям производителя. В качестве ПАВ использовали соль ме-

ди жирной кислоты. При необходимости суспензию обрабатывали ультразвуком (УЗО).

Испытания показали эффективность составов, содержащих наноструктурный бемит и металлолакирующую добавку МПП-ИГСХА-ТС. Наилучшим выявлен состав на основе бемита с добавкой ПАВ после УЗО. Состав обеспечил низкий коэффициент трения (0,044-0,055) в широком диапазоне давлений 50–160 МПа, что увеличивает ресурс сопряжений деталей и уменьшает эксплуатационные затраты. Препараты РВД, ХАДО, СТРИБОЙЛ, FORSAN содержащие серпентин, разрабатывались в качестве ремонтно-восстановительных и проявляют эффективность в других условиях испытаний, а настоящие испытания характеризуют скорее профилактическую способность препаратов.

Таблица 2 – Перечень составов и результаты испытаний

Наименование добавки	Коэффициенты трения при нагрузке, Н					
	100	150	250	350	550	650
«СТРИБОЙЛ», УЗО	0,082	0,062	0,048	0,048	0,123	–
Бемит с ПАВ, УЗО	0,077	0,055	0,046	0,044	0,049	0,055
МПП ИГСХА-ТС 1%	0,065	0,046	0,039	0,056	0,120	–
FORSAN	0,075	0,065	0,078	0,090	–	–
ХАДО	0,076	0,073	0,078	0,123	–	–
РВД от «Триггер»	0,075	0,061	0,053	0,053	0,120	–
Чистое масло М-10ДМ	0,064	0,062	0,065	0,127	–	–

Механизм действия наноструктурного бемита заключается в очистке поверхностей трения, подшлифовке поверхностей и уменьшения их шероховатости, роли третьего тела в трибопаре. Определенную роль играет пластичность бемита и его разложение в местах трения с выделением воды, которая не допускает перегрева поверхности, керамизация локальных дефектов.

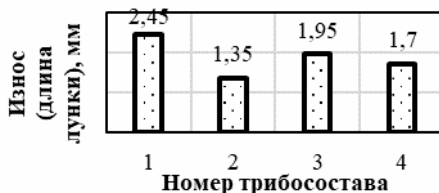


Рисунок 1 – Гистограмма износа колодки

Результаты испытаний на износостойкость (на машине трения 77МТ-1М) показали наименьший износ колодки для состава №2,

содержащего бемит (рисунок 1.). Остальные составы содержат серпентин. Меньший износ и коэффициент трения обеспечивают долговечность мест сопряжений деталей. В целом введение в масла бемита уменьшает коэффициент трения, износ деталей ДВС при обкатке, замедляет скорость изнашивания ресурсных сопряжений при эксплуатации.

Испытание на машине трения 77МТ-1М является испытанием на физической модели в которой реализуется физическое подобие (те же материалы деталей и кинематика поступательного движения поршня по поверхности цилиндра). Испытания проводили в сжатом масштабе времени (форсированные испытания). Сравнение интенсивности изнашивания деталей с новой смазкой и со смазкой-аналогом для которой имеются данные по эксплуатации позволяет легко оценить увеличение ресурса. Рассчитанная экономическая эффективность от применения наноструктурного бемита за счет увеличения ресурса для парка 10 000 с/х машин составила 256 млн. руб. в год.

При значительных износах продлить срок службы без разборки и ремонта агрегата могут ремонтно-восстановительные препараты (РВП). В настоящее время доказанными РВП являются препараты, содержащие серпентин. В связи с этим проведено сравнение физико-химических свойств бемита и известных приобпрепаратов (таблица 3).

Таблица 3 – Некоторые свойства бемита и приобпрепаратов

Свойства	Серпентины	Бемит	Тальк	Вагнер
Химическая формула	$3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$	$AlOON$	$3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$	$BN$
Содержание воды, %	12–13	15	4,8	-
Твердость по Моосу	2,5–4,0	3,5	1	1
Т дегидратации, °С	150–300	300-600	850-1300	-
Соединения с FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$MgOFe_2O_3$ , $2FeOSiO_2$ ,	$FeO \cdot 2Fe_2O_3$ , $Fe_2O_3 \cdot Al_2O_3$	$MgOFe_2O_3$ , $2FeOSiO_2$ ,	-
Каталитическое действие	+	+	-	-

Все четыре вещества таблица 4 имеют слоистую структуру и эффективно снижают коэффициент трения особенно препараты

фирмы Вагнер. Однако, только серпентин проявляет ремонтно-восстановительные свойства. В настоящее время нет доказанного механизма образования слоя серпентиновыми добавками. По нашему мнению, его действие обусловлено большими твердостью и содержанием воды, меньшей температурой дегидратации. Разложение серпентина в условиях трения приводит к образованию неравновесных структур, которые активны в физико-химических процессах (эффект Хедвалла) и активно участвуют в деструкции масла, образовании структур с соединениями железа. Известно, что масса образованного серпентинами покрытия превышает массу введенного вещества на порядок, а его состав в основном состоит из углерода [4]. Сказанное свидетельствует о каталитическом действии продуктов разложения серпентина на смазочную среду. Бемит подобен серпентину по многим физико-химическим свойствам (дисперсность, температура дегидратации, твердость, способность образовывать химические соединения и твердые растворы с оксидами железа, каталитические свойства), что позволяет предположить его перспективность и в качестве ремонтно-восстановительного состава. Материал искусственного происхождения, что позволяет рассчитывать на повышение стабильности свойств трибодобавки на его основе.

#### Список использованных источников

1. Mazalov Ju. A. Investigating the tribological properties of nanostructured boehmite / Ju. A. Mazalov, R.Y. Solovyev, N.N. Sergeev, A.V. Fedotov, A.V. Dunaev, P.A. Vityas, L.V. Sudnik // *Journal of Friction and Wear*. – 2015. – Vol. 36 (No. 6). – P. 481–486.

2. Берш А.В. Алюмоводородная энергетика / А.В. Берш, А.З. Жук, Ю.А. Мазалов, А.Е. Шейндлин и др.; под ред. Шейндлина А.Е. – М.: ОИВТ РАН, 2007. – 278 с.

3. Патент РФ №2711593. Композиция добавки к приработочному маслу для обкатки редукторов и приработочное масло / А.А. Гвоздев, Т.А. Комарова, А.В. Баранов, И.А. Пихальский, А.В. Федотов, А.В. Дунаев. – Заявка №2019137109 от 19.11.2019; опубл. 17.01.2020. Бюл. № 2.

4. Пичугин В.Ф., Щербинин В.М. Элементный состав, строение и толщина защитных пленок на поверхностях трения пары антифрикционный сплав-сталь в глицерине. М.: Труды ГОСНИТИ, 2011. – Т. 108. – С. 250–253.