

*Волков Алексей Александрович*

аспирант

*Пузенко Екатерина Евгеньевна*

аспирант

*Проплеткин Дмитрий Викторович*

магистрант

ФГБОУ ВО «Российский государственный

аграрный университет – МСХА

им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТРИОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

*Аннотация:* в статье показаны результаты от использования нанотриобологии для повышения долговечности и экономичности двигателей внутреннего сгорания. Полученное неиногенное поверхности-активное вещество позволяет сформировать на поверхностях трибосопряжений кристаллический мономолекулярный слой. Приведены результаты испытаний как на машине трения, так и в реальных эксплуатационных условиях.

*Ключевые слова:* трение, нанотриботехнология, износ, наносистема, поверхности-активные вещества.

Экономичность и долговечность двигателей определяется трибопроцессами всех его составных деталей.

На процессы трения и износа влияет множество факторов, таких как скорость скольжения, величина нагрузки, шероховатость поверхности, условия смазки и т. д.

Условия смазки, в наибольшей степени определяют скорость и характер изнашивания сопряжений. Установлено, что жидкостная смазка обеспечивается

скоростью скольжения, нагрузкой и свойствами смазочных материалов. Наиболее сложными являются условия граничного трения, возникающие при малой скорости скольжения и повышенной нагрузке [3, с. 60; 5, с. 17; 2; 8; 12].

Увеличение ресурса двигателей при минимальной затрате энергии на их привод требует разработки новых смазок с полифункциональными свойствами (окислительная стабильность, антикоррозионные свойства, высокий индекс вязкости, способность предотвращать изнашивание и т. д.) и организации режимов трения (желательно гидродинамического) [1, с. 5; 4, с. 21; 9, с. 325].

Повышение долговечности (уменьшение износа сопряженных деталей) и экономичности двигателей (расход топлива или электроэнергии) являются антиагонистическими процессами. Чем выше вязкость смазки, тем толще масляная пленка и меньше износ при граничном трении, но тем больше потери мощности на преодоление силы трения при гидродинамическом трении:

$$F = \eta S \frac{dv}{dh},$$

где  $F$  – сила трения при взаимном перемещении двух сопряженных поверхностей;  $\eta$  – вязкость смазки;  $S$  – площадь скольжения;  $\frac{dv}{dh}$  – градиент скорости ( $v$  – составляющая скорости смазки по направлению перпендикуляра к поверхности).

В связи с этим возникают две основные задачи:

1) сформировать граничный молекулярный слой на сопряженных поверхностях, выдерживающий большие нормальные и тангенциальные нагрузки при условии сохранения исходного значения индекса вязкости базовой смазки;

2) сформировать граничный молекулярный слой на сопряженных поверхностях, позволяющий защитить поверхности от износа в режиме граничного трения и уменьшить внутреннее трение при гидродинамическом режиме.

Выполнить эту пару задач можно с использованием нанотехнологии, представляющей собой придаание поверхностям трибосопряжений высоких антифрикционных и противоизносных свойств в процессе трения с использованием наноматериалов. В данном случае смазка служит растворителем для по-

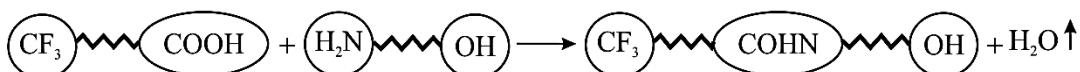
верхностно-активного вещества, молекулы которого адсорбируются на поверхности, образуя наноструктуру. Процессы в зоне трения следует рассматривать не с точки зрения теории сплошных сред, а атомно-молекулярной теории [6, с. 23; 7, с. 27; 10, с. 57].

Для получения поверхностно-активного вещества (ПАВ) был приведен химический синтез, реагентами которого являются:

- перфторкарбоновая кислота  $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_n\text{COOH}$ ;
- этаноламин  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ ;
- борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$ .

В результате синтеза получены органические соединения (Рис. 1) с асимметричной молекулярной структурой, содержащие лиофобный радикал и гидрофильную часть [11, с. 25].

### 1 стадия



### 2 стадия

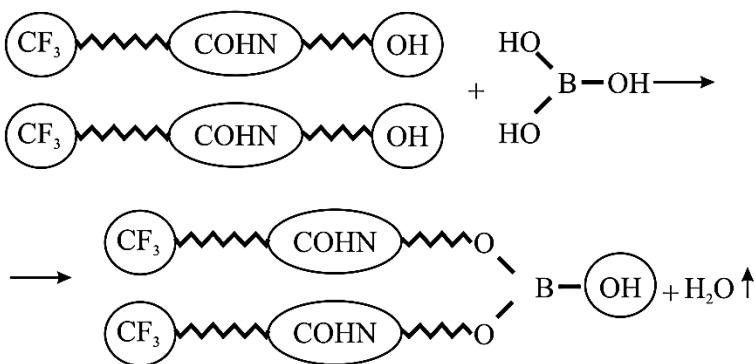


Рис. 1. Химический синтез неионогенного ПАВ

Гидрофильная часть молекулы содержит две функциональные группы:

$-\text{CONH}_2$  амидную и  $-\text{OH}$  гидроксильную, которые обусловливают адсорбционную активность. Такие молекулы относят к неионогенным ПАВ, не диссоциирующим в водном растворе с образованием ионов.

Структура лиофобной части перфторкарбоновой кислоты ... - CF<sub>2</sub>- CF<sub>2</sub>-... подобна структуре алмаза, имеющего те же межатомные расстояния и те же тетраэдрические углы между валентными связями (рис. 2).

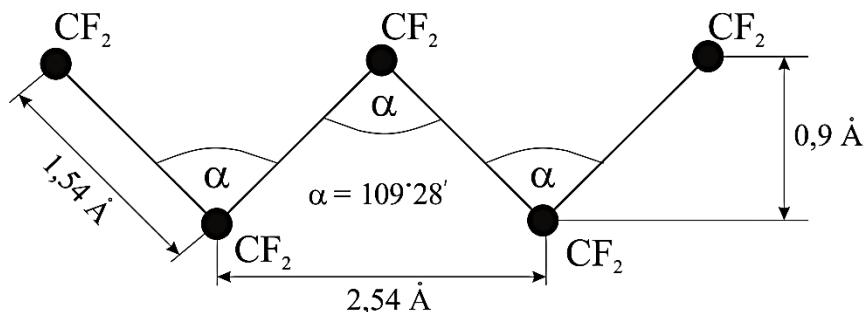


Рис. 2. Фрагмент структуры лиофобного радикала

Близость структур определяет и сходство их физических свойств – осевой модуль упругости равен модулю упругости алмаза [13; 17, с. 18].

Молекулы полученного соединения адсорбируются на поверхности металла за счет водородной связи, которую обеспечивает водород гидроксильной группы. Энергетически водородная связь превышает силы Ван-дер-Ваальса более чем в 10 раз. Она легко вытесняет с поверхности металла неполярные молекулы. Неподеленные электроны атома азота в амиде образуют комплексные соединения с катионами металла (рис. 3).

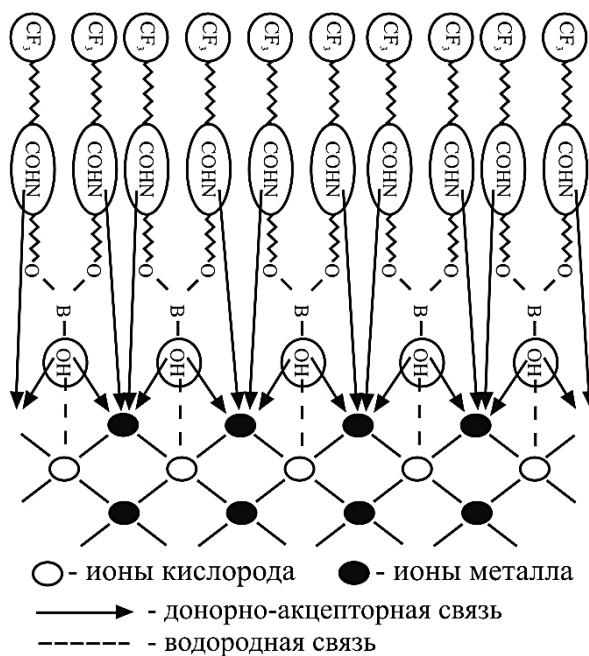


Рис. 3. Мономолекулярный слой ПАВ на поверхности металла

Таким образом, в процессе самоорганизации происходит молекулярное распознавание или молекулярный обмен структурной информацией [14, с. 385].

Следует отметить, что после образования на поверхности квазикристаллической структуры из полярных молекул остаются полости (вакантные места), которые заполняются неполярными молекулами растворителя (масла).

Для оценки влияния ПАВ в составе масла ТМ-5–18 на его трибологические характеристики был проведен эксперимент. Сущность эксперимента заключалась в организации вращения ролика, находящегося в емкости тороидальной формы, в которую помещался контрольный и испытуемый образцы. Прикладывалась нормальная сила – контакт рабочих поверхностей самоустанавливающейся колодки и ролика, после чего осуществлялось синхронное измерение скорости изнашивания и момента сил трения в течение всего времени эксперимента без разъединения зоны трения. Результаты испытаний представлены на рис. 4.

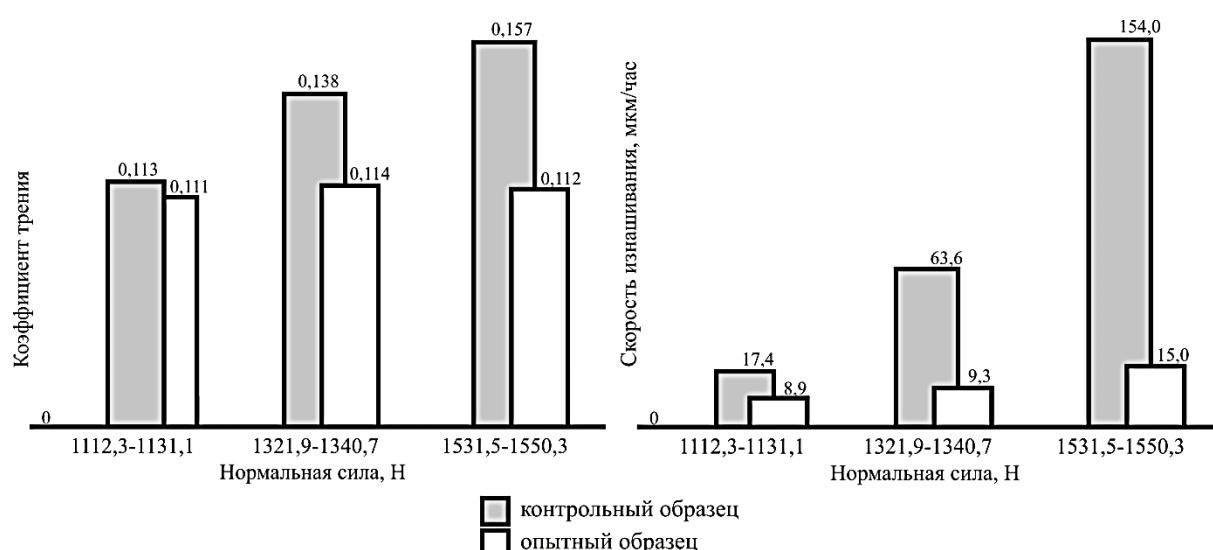


Рис. 4. Зависимость скорости изнашивания и коэффициента трения от величины нормальной силы

Анализ результатов эксперимента показал, что созданный на сопряженных поверхностях квазикристаллический слой из молекул ПАВ уменьшил скорость изнашивания в 10 раз (для нормальной нагрузки 1550, 3Н), причем скорость изнашивания слабо зависит от величины нормальной силы.

Кроме того, молекула ПАВ содержит на конце радикала химически инертную группу  $\text{CF}_3$ , имеющую очень малую силу взаимодействия на границе раздела фаз квазикристаллический слой – масло, что обеспечивает уменьшение силы трения в 1,5 раза. Вместе с тем практика эксплуатации двигателей подтверждает необходимость организации широко поставленных исследований не только образцов на машинах трения, но и в условиях реальной эксплуатации машин. Как бы тщательно не были поставлены экспериментальные работы на машинах трения, с каким бы приближением не были имитированы действительные условия работы трибосопряжений, они не могут воспроизвести всего обилия факторов, взаимодействующих в реальных условиях эксплуатации машин [15, с. 10; 16; с. 105].

В дальнейшем данная композиция прошла испытания на образцах техники в научно-исследовательских институтах, на транспорте, в горнодобывающей промышленности. Результаты испытаний приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

## Экономия электроэнергии

№ п/п	Наименование объекта испытания	Дата	Удельное снижение электроэнергии	Место проведения испытаний
1	80 единиц троллейбусов	01.12.03	7% Годовая экономия 858420 кВт·ч	МУП «Новоросгортранс», г. Новороссийск
2	Редукторы: ЦД – 100Б РМ – 850 РМ – 650	25.09.00	7–15%	Ленинский рудник ИГГОКА
3	Троллейбус №39 Троллейбус №10 42 единицы троллейбусов	10.09.02 20.10.02 05.10.03	18,56% 6,25% 12,8%	«Троллейбусное управление», г. Черкесск

Таблица 2

## Экономия топлива

№ п/п	Марка автомобиля (тип двигателя)	Значение показателя	Место проведения испытания
1	Д-240	8,8%	Белорусский государственный университет

2	ЗМЗ-21	9–12%	Вильнюсский технический университет имени Гедимины
3	ВАЗ-2105	15,9%	Испытательный центр автомобильных изделий «НАМИ»
4	ГАЗ-2410	5,0%	
5	ЗИЛ-131	12,3%	В/ч 93268
6	ЗИЛ-4331	16,7%	АМО ЗИЛ

Таблица 3

## Удельное сопротивление движению

№ п/п	Наименование объекта испытания	Дата	Снижение УСД в %	Место проведения испытаний
1	Троллейбус ЗиУ-682 №084	04.04.01	35	Первое троллейбусное депо г. Краснодар
		17.04.01	32	
		03.05.01	23	
		17.05.01	37	
2	Троллейбус ЗиУ-682 №097	10.05.01	42	Трамвайное депо №1 «Нижегородэлектротранс», г. Нижний Новгород
		17.05.01	61	
3	Трамвай №1224	26.11.03	48	
	Трамвай Т-3 №1705	25.11.03	19	
	Троллейбус №1566	03.12.03	31,5	

## Выводы

Таким образом, в работе представлено решение проблемы повышения долговечности и экономичности двигателей за счет использования нанотехнологии. В результате химического синтеза получено неиногенное поверхностно-активное вещество, молекулы которого формируют квазикристаллический слой на поверхности трибосопряжения.

Полученная наноструктура позволяет решить сразу две проблемы: защитить поверхности от износа в режиме граничного трения и снизить внутреннее трение при гидродинамическом режиме.

Результаты проведенных экспериментальных исследований показали большие перспективы применения полученного ПАВ в качестве высокоэффективных присадок к различным маслам и смазкам.

**Список литературы**

- Гайдар С.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Московский

государственный агрономический университет им. В.П. Горячина. – М., 2011. – 33 с.

2. Гайдар С.М. Защитная смазочная композиция // Патент на изобретение RUS 2310683 20.07.2006.

3. Гайдар С.М. Новый полифункциональный ингибитор атмосферной коррозии металлов // Международный научный журнал. – 2009. – №5. – С. 60–64.

4. Гайдар С.М. Характеристика и показатели наноматериалов для снижения износа деталей сельхозмашин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – №12. – С. 20–22.

5. Гайдар С.М. Этаноламиды карбоновых кислот как полифункциональные ингибиторы окисления углеводородов // Химия и технология топлив и масел. – 2010. – №6. – С. 16–20.

6. Гайдар С.М. Методы когнитивного моделирования при оценке технического уровня транспортных машин / С.М. Гайдар, Ю.А. Заяц, Т.М. Заяц // Грузовик. – 2013. – №8. – С. 23–26.

7. Гайдар С.М. Инновационное техническое средство для нанесения защитной молекулярной пленки на поверхность машин / С.М. Гайдар, М.Ю. Караплина // Техника и оборудование для села. – 2015. – №3 (213). – С. 26–28.

8. Гайдар С.М. Состав для защиты металлов от коррозии и солеотложений / С.М. Гайдар, В.А. Лазарев // Патент на изобретение RUS 2355821 11.04.2008.

9. Гайдар С.М. Инновационные разработки средств консервации сельскохозяйственной техники / С.М. Гайдар, Р.К. Низамов, В.Д. Прохоренков // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. «ИнформАгро-2012» / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – С. 320–327.

10. Гайдар С.М. Влияние водорастворимых ингибиторов коррозии на сохраняемость сельскохозяйственных машин / С.М. Гайдар, Е.А. Пучин, А.С. Кононенко // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения

---

высшего профессионального образования Московский государственный агрономический университет им. В.П. Горячина. – 2011. – №1 (46). – С. 57–58.

11. Гайдар С.М. Повышение долговечности и экономичности двигателей с применением нанотехнологии / С.М. Гайдар, Е.А. Пучин, В.Н. Свечников, Р.К. Низамов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2012. – №9. – С. 24–28.

12. Гайдар С.М. Ингибитор коррозии металлов / С.М. Гайдар, А.С. Тарасов, В.А. Лазарев // Патент на изобретение RUS 2263160 12.10.2004.

13. Гайдар С.М. Эмульгатор «Телаз-15» и диспергатор «Телаз» – высокоэффективные добавки для органоразбавляемых лакокрасочных материалов / С.М. Гайдар, В.А. Худорожкова, М.М. Конова // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2007. – №6. – С. 12–16.

14. Кузнецова Е.Г. Композиция телаз-Л как замедлитель атмосферной коррозии черных металлов / Е.Г. Кузнецова, В.Д. Прохоренков, Л.Г. Князева, С.М. Гайдар // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XVI Междунар. науч.-практ. конф. – 2011. – С. 385–387.

15. Марков В.А. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания: монография / В.А. Марков, С.Н. Девягин, С.А. Зыков, С.М. Гайдар. – М.: НИЦ «Инженер» (Союз НИО). – 2016. – 292 с.

16. Пучин Е.А. Применение молекулярной инженерии для повышения ресурса сельскохозяйственной техники / Е.А. Пучин, С.М. Гайдар // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агрономический университет им. В.П. Горячина. – 2010. – №2. – С. 101–106.

17. Северный А.Э. Практикум по хранению и защите от коррозии сельскохозяйственной техники / А.Э. Северный, Е.А. Пучин, В.Е. Рязанов [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2009. – 160 с.