

Научная статья
УДК 665.765
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.007

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРИФЕНИЛФОСФОРОТИОАТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕССОРНЫХ МАСЕЛ

Павел Олегович Залесов¹, Анастасия Юрьевна Килякова², Борис Петрович Тонконогов³

^{1–3}Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, Москва, Россия

¹zalesov.pavel@yandex.ru

²anakil@yandex.ru

³bpt734@gmail.com

Аннотация

В рамках работы исследовано влияние не применяемого ранее в качестве многофункциональной присадки для компрессорных масел трифенилфосфоротиоата на эксплуатационные и физико-химические свойства смазочных материалов. Введение соединения осуществлялось в разработанную ранее высокоэффективную линейку базовых энергетических масел на основе высших алкилароматических углеводородов (состава полиалкилбензол:полиальфаолефиновое масло, соотношения 70:30) в концентрации 1,5 % масс. Показано и в лабораторных условиях верифицировано противозносное и антиокислительное действие соединения.

Ключевые слова:

трифенилфосфоротиоат, антиокислительная присадка, противозносная присадка, компрессорные масла, высшие алкилароматические углеводороды

Благодарности:

статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Проект FSZE-2024-0004.

Финансирование:

государственное задание по теме НИР № FSZE-2024-0004.

Для цитирования:

Залесов П. О., Килякова А. Ю., Тонконогов Б. П. Исследование влияния трифенилфосфоротиоата на эксплуатационные характеристики компрессорных масел // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 4. С. 45–49. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.007.

Original article

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TRIPHENYLPHOSPHOROTHIOATE ON THE CHARACTERISTICS OF COMPRESSOR LUBRICANTS

Pavel O. Zalesov¹, Anastasia Yu. Kilyakova², Boris P. Tonkonogov³

^{1–3}National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, Russia

¹zalesov.pavel@yandex.ru

²anakil@yandex.ru

³bpt734@gmail.com

Abstract

The influence of triphenyl phosphorothioate, which was not previously used as a multifunctional additive for compressor oils, on the operational and physico-chemical properties of lubricants is studied. The compound was introduced into the previously developed high-efficiency line of basic energy oils based on higher alkylaromatic hydrocarbons (composition polyalkylbenzene:polyalphaolefin oil, ratio 70:30) in the concentration 1,5 % by weight. The anti-wear and antioxidant effects of the compound are also verified in laboratory conditions.

Keywords:

triphenylphosphorothioate, antioxidant additive, anti-wear additive, compressor lubricants, higher alkylaromatic hydrocarbons

Acknowledgments:

the article was prepared with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment FSZE-2024-0004 project.

Funding:

state task on the topic of research No FSZE-2024-0004.

For citation:

Zalesov P. O., Kilyakova A. Yu., Tonkonogov B. P. Investigation of the effect of triphenylphosphorothioate on the characteristics of compressor lubricants // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 4. P. 45–49. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.007.

Введение

В рамках комплексного опережающего развития Российской Федерации особое место занимает постоянное стремительное совершенствование энергетической инфраструктуры. В этой связи уже в наши дни реализуется ряд крупных нефтехимических проектов, модернизируются нефтеперерабатывающие предприятия, растет производительность стратегических промышленных площадок. Данный факт, в свою очередь, обуславливает увеличение использования различного компрессорного оборудования, применяемого для перемещения газовых технологических сред, а также ключевых энергоресурсов (азота, воздуха).

Динамическое оборудование является ключевым звеном любой технологической цепочки предприятия. В этой связи функционирование последнего напрямую зависит от бесперебойной эксплуатации насосов и компрессоров. В свою очередь, надежность обозначенного оборудования определяется не только компоновкой и материальным исполнением узлов, но и работой маслосистемы. Именно выбор смазочного материала может напрямую влиять на межремонтный пробег узла трения, его производительность. Например, грамотно подобранное масло в винтовых компрессорах способно не только снизить степень изнашивания деталей, находящихся в трибосопряжении, но икратно уменьшить потребление электроэнергии и между тем повысить степень сжатия (без негативного воздействия на узлы) [1].

Одной из основных проблем в области научного познания химии и технологии смазочных материалов является синтез и последующее внедрение (путем проведения стендовых, эксплуатационных испытаний) присадок различного типа. Между тем наиболее остро стоит вопрос в исследовании соединений, обладающих комплексным антиокислительным и противоизносным действием, ввиду сложностей в подборе необходимой молекулярной структуры, уже на первоначальном этапе формирования присадки. Работы в направлении производства и изучения действия различных химических соединений ведутся на постоянной основе (благодаря комплексной поддержке государства) [2–3].

Опираясь на вышеизложенные утверждения в рамках научно-исследовательской работы, в качестве присадки для базовых компрессорных масел рассмотрено одно из перспективных соединений, не применявшихся в области компрессорных масел, — трифенилфосфоротиоат (структурная формула представлена на рис. 1).

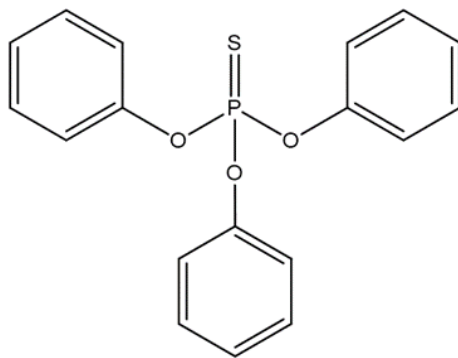


Рис. 1. Структурная формула трифенилфосфоротиоата

Трифенилфосфоротиоат (ТФФТ) представляет собой белое кристаллическое вещество. Молекула рассматриваемого соединения содержит в себе атомы серы и фосфора, что позволяет сформировать утверждение о высоком уровне противоизносных и противозадирных характеристик. Наряду с этим, наличие в составе фенильных групп может обуславливать стабильность к термоокислению.

С целью верификации данных тезисов введение соединения осуществлялось в высокоэффективную базовую линейку компрессорных масел (классов вязкости ISO 32, ISO 46, ISO 68) состава «полиалкилбензол – полиальфаолефиновое масло» («ПАБ – ПАОМ») в типичном диапазоне концентрации, равном 1,5 % масс.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования в работе нашли применение:

- смеси полиальфаолефинового масла класса вязкости 12 (ПАОМ-12) и полиалкилбензола (соотношение 30:70), базовое масло класса вязкости ISO 32;
- смеси полиальфаолефинового масла класса вязкости 40 (ПАОМ-40) и полиалкилбензола (соотношение 30:70), базовое масло класса вязкости ISO 46;
- смеси полиальфаолефинового масла класса вязкости 100 (ПАОМ-100) и полиалкилбензола (соотношение 30:70), базовое масло класса вязкости ISO 68.

Преследуя перед собой цель проведения комплексного объективного исследования, в работе использованы стандартизованные современные методы химической технологии. Набор инструментальных методов и соответствующие им стандарты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Методы исследования

Показатель	Стандарт
Кинематическая вязкость (при 40 °С, 100 °С)	ГОСТ 33
Индекс вязкости	ГОСТ 25371
Диаметр пятна износа	ГОСТ 9490
Термоокислительная стабильность	ГОСТ 981

На первоначальном этапе работы рассмотрены ключевые характеристики исходных базовых компрессорных масел (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики исходных смазочных композиций на основе смесей «ПАБ – ПАОМ»

Показатель	ПАБ + ПАОМ-12	ПАБ + ПАОМ-40	ПАБ + ПАОМ-100
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	33,60	46,69	66,04
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	5,56	7,81	9,69
Индекс вязкости	102	137	128
Диаметр пятна износа, мм	0,62	0,58	0,52
Кислотное число до окисления, мг КОН/г	0,01	0,01	0,01
Кислотное число после окисления, мг КОН/г	0,15	0,13	0,11
Класс вязкости ISO	32	46	68

Результаты исследований

С целью подтверждения многофункционального действия трифенилфосфоритоата путем термомеханического диспергирования осуществлялось введение присадки в исходные смазочные композиции. По окончании компаундирования исследованы наиболее важные для компрессорных масел характеристики. Данные, полученные в лабораторном практикуме представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики смазочных композиций на основе смесей «ПАБ – ПАОМ»
с введением 1,5 % масс. трифенилфосфоритоата

Показатель	ПАБ + ПАОМ-12 + присадка 1,5 %	ПАБ + ПАОМ-40 + присадка 1,5 %	ПАБ + ПАОМ-100 + присадка 1,5 %
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	34,03	48,09	69,12
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	5,54	7,51	10,02
Индекс вязкости	98	120	129
Диаметр пятна износа, мм	0,30	0,29	0,32
Кислотное число до окисления, мг КОН/г	0,01	0,01	0,01
Кислотное число после окисления, мг КОН/г	0,08	0,09	0,06
Класс вязкости ISO	32	46	68

Исходя из полученных экспериментальных данных заметно, что введение соединения в состав исходных базовых масел на основе высших ароматических углеводородов позволяет достигнуть кратного улучшения трибологических показателей смесей (снижение степени изнашивания металлических поверхностей в 2 раза). Применение 1,5 % масс. трифенилфосфоротиоата между тем увеличивает ресурс линейки компрессорных масел (в 1,5 и более раз). Данные тезисы полностью подтверждают перспективность использования соединения в качестве многофункциональной присадки.

Стоит отметить, что в рамках введения трифенилфосфоротиоата в базу происходит незначительное изменение реологических показателей композиций и, как следствие, ухудшение их вязкостно-температурных свойств. Данный факт может являться лимитирующим для последующего тиражирования присадки в области моторных масел. Однако в связи с тем, что большинство компрессорного оборудования находится в закрытых помещениях, незначительное снижение индекса вязкости не является критичным для смазочного материала и механизма в целом.

Выводы

Исследовано действие не применявшегося ранее в компрессорных маслах соединения — трифенилфосфоротиоата. Верифицировано и доказано многофункциональное действие присадки на линейку базовых компрессорных масел. Введение 1,5 % масс. химического соединения позволяет в 2 раза снизить степень изнашивания металлических поверхностей, а также в 1,5 и более раз увеличить ресурс смазочного материала. Соединение, благодаря спектру свойств, может найти масштабное применение в области производства энергетических масел.

Список источников

1. Залесов П. О., Килякова А. Ю., Тонконогов Б. П. Формирование энергосберегающих масел для винтовых маслозаполненных компрессоров // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2025. № 3(324). С. 12–16.
2. Патент № 2833784 С1 Российская Федерация, МПК C10M 137/10, C10M 129/00, C10M 129/28. Способ получения диалкилдитиофосфатных присадок: заявл. 28.06.2024; опубл. 28.01.2025 / И. И. Салахов, А. В. Зурбашев, И. И. Хабибрахманов [и др.]; заявитель — Акционерное общество «ТАНЕКО». EDN BVHQXV.
3. Семенов Н. А. Синтез и исследование свойств присадок типа диалкилдитиофосфатов металлов / Н. А. Семенов, А. В. Песковец, Н. А. Пугачев // Актуальные задачи нефтегазохимического комплекса. Глубокая переработка углеводородных ресурсов. Низкоуглеродные энергоносители и продукты нефтегазохимии: мат-лы XVII науч.-практич. конф., Итогового заседания технологических платформ и III Научной школы молодых ученых (Москва, 28 ноября 2024 г.) М.: Рос. гос. ун-т нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина, 2024. С. 117–118. EDN ITFFND.

References

1. Zalesov P. O., Kiljakova A. Ju., Tonkonogov B. P. Formirovanie jenergosberegajushhih masel dlja vintovyh maslozapolnennyh kompressorov [Formation of energy-saving lubricants for screw oil-filled compressors]. *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in oil and gas complex]. 2025. No 3(324). p. 12–16. (In Russ.)
2. Patent № 2833784 C1 Russia, MPK C10M 137/10, C10M 129/00, C10M 129/28. Sposob poluchenija dialkilditiofosfatnyh prisadok: zajavl. 28.06.2024; opubl. 28.01.2025 / I. I. Salahov, A. V. Zurbashev, I. I. Habibrahmanov [i dr.]; zajavitel' Akcionernoe obshhestvo "TANEKO". – EDN BVHQXV.
3. Semenov, N. A. Sintez i issledovanie svojstv prisadok tipa dialkilditiofosfatov metallov [N. A. Semenov, A. V. Peskovec, N. A. Pugachev. *Aktual'nye zadachi neftegazohimicheskogo kompleksa* [Actual tasks of the petrochemical complex]. *Glubokaja pererabotka uglevodorodnyh resursov. Nizkouglerodnye jenergonositeli i produkty neftegazohimii: Materialy XVII nauchno-prakticheskoy konferencii, Itogovogo zasedanija tehnologicheskikh platform i III Nauchnoj shkoly molodyh uchenyh, Moskva, 28 nojabrja 2024 goda* [Deep processing of hydrocarbon resources. Low-carbon energy carriers and petrochemical products: Proceedings of the XVII scientific and practical conference, the Final Meeting of technological platforms and the III Scientific School of Young Scientists, Moscow, November 28, 2024]. Moscow: Rossijskij gosudarstvennyj universitet nefti i gaza (nacional'nyj issledovatel'skij universitet) im. I. M. Gubkina, 2024. p. 117-118. EDN ITFFND. (In Russ.)

Информация об авторах

П. О. Залесов — аспирант;

А. Ю. Килякова — кандидат технических наук, доцент;

Б. П. Тонконогов — доктор химических наук, профессор.

Information about the authors

P. O. Zalesov — Graduate Student;

A. Yu. Kilyakova — PhD (Engineering), Associate professor;

B. P. Tonkonogov — Dr. Sc. (Chemistry), Professor.

Статья поступила в редакцию 10.06.2025; одобрена после рецензирования 25.08.2025; принята к публикации 27.08.2025.

The article was submitted 10.06.2025; approved after reviewing 25.08.2025; accepted for publication 27.08.2025.