

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-108497>

Метаанализ. Оригинальное исследование



Исследование накопления топлива в масле бензинового двигателя с непосредственным впрыском топлива

В.М. Краснов, А.С. Теренченко, Д.С. Тимофеев, И.С. Шibaев, Н.Д. Степин

Государственный научный центр Российской Федерации «НАМИ», Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Тенденция мирового двигателестроения направлена на уменьшение массогабаритных характеристик мотора с одновременным увеличением его удельной мощности, энерговооруженности. Это достигается благодаря повышению степени сжатия, совершенствованию рабочего процесса, внедрению системы наддува, непосредственного впрыска топлива. С внедрением систем непосредственного впрыска стала актуальной проблема накопления топлива в масле.

Цель. Статья рассматривает общие вопросы, посвященные накоплению топлива в масле двигателя.

Методы исследований. Анализ опубликованных данных по данному вопросу.

Результаты. Сформулированы причины попадания топлива в масло, возможные допустимые концентрационные пределы топлива в масле, а также приведены данные наблюдения специалистами за парком автомобилей в течение нескольких лет.

Заключение. Имеет место довольно существенный разброс мнений и рекомендаций о допустимой концентрации топлива в масле. Отсюда можно сделать вывод, что само по себе значение концентрации топлива в масле не имеет особого значения, и для определения максимально допустимого уровня содержания топлива в масле целесообразно будет провести исследования по определению допустимых пределов отдельных показателей моторного масла, в первую очередь, вязкости.

Ключевые слова: топливо в масле; непосредственный впрыск топлива; температура вспышки; двигатель внутреннего сгорания, вязкость; моторное масло.

Для цитирования:

Краснов В.М., Теренченко А.С., Тимофеев Д.С., Шibaев И.С., Степин Н.Д. Исследование накопления топлива в масле бензинового двигателя с непосредственным впрыском топлива // Известия МГТУ «МАМИ». 2022. Т. 16, № 4. С. 283–289. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-108497>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-108497>

Meta-Analysis. Original study article

The study of fuel accumulation in the oil of a gasoline engine with direct fuel injection

Vladimir M. Krasnov, Alexey S. Terenchenko, Dmitriy S. Timofeev,
Ivan S. Shibaev, Nikita D. Stepin

State Scientific Center of the Russian Federation "NAMI", Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The worldwide powertrain engineering tendency is reduction of mass and dimension properties of an engine with simultaneous increase of its specific power and power-to-weight ratio. It can be achieved with compression ratio increase, engine cycle improvement, implementation of supercharging system and direct fuel injection. With the direct injection systems implementation, the issue of fuel accumulation in oil became relevant.

AIMS: The article addresses general issues related to fuel accumulation in the motor oil.

METHODS: Analysis of the published data addressing this issue.

RESULTS: The reasons of fuel entry into oil were formulated, the possible acceptable limits of fuel concentration in oil were defined, and the data of vehicle fleet observation performed by specialists during several years was given.

CONCLUSIONS: There is rather considerable range of opinions and recommendations regarding acceptable fuel concentration in oil. Therefore, it may be concluded that the value of fuel concentration in itself makes little difference, and, in order to define the maximal acceptable level of fuel concentration in oil, it is reasonable to carry out studies of determination acceptable limits of particular motor oil properties, primarily viscosity.

Keywords: *fuel in oil; direct fuel injection; flash temperature; internal combustion engine; viscosity; motor oil.*

Cite as:

Krasnov VM, Terenchenko AS, Timofeev DS, Shibaev IS, Stepin ND. The study of fuel accumulation in the oil of a gasoline engine with direct fuel injection. *Izvestiya MG TU «MAMI»*. 2022;16(4):283–289. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-108497>

Received: 02.06.2022

Accepted: 09.09.2022

Published: 15.12.2022

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Долгое время, проблема накопления топлива в моторном масле, в основном, была присуща дизелям из-за их особенностей смесеобразования. Для бензиновых двигателей в «карбюраторную» эпоху при распределённом впрыске (MPI) это явление также имело место, но проявляло себя в меньшей степени. Более того, в инструкциях по эксплуатации авиационных двигателей середины 20-го века содержались рекомендации по применению метода разбавления масла бензином для разжижения масла и облегчения «холодного» пуска двигателя [1]. Наличие топлива в масле не считалось серьёзным фактором, влияющим на работоспособность и ресурс двигателя. Однако, в настоящее время, в связи с массовым внедрением систем непосредственного впрыскивания бензина («Direct Injection») на легковых автомобилях с высокофорсированными наддувными двигателями, проблема разжижения масла топливом приобрела новые акценты и серьёзное значение. Стало очевидно, что топливо, попавшее в моторное масло, оказывает негативное влияние как на эксплуатационные свойства масла, так и на условия работы деталей, а также протекание рабочего процесса самого двигателя.

Перечислим основные негативные стороны этого явления:

- Попадание топлива в масло приводит к снижению его вязкости и, как следствие, к нарушению режима смазки, потере несущей способности масляного клина. Топливо, смывая масляную плёнку с зеркала цилиндров, препятствует формированию смазочного слоя и таким образом увеличивает износ в парах трения: гильза-поршень, вкладыши подшипниковшейки коленвала (КВ), детали газораспределительного механизма (ГРМ). При концентрации топлива в синтетическом масле 3%, 6% и 20% по массе (далее по тексту везде подразумевается массовая доля топлива в моторном масле) вязкость масла снижается на 19%, 35% и 73% и, как следствие, износ чугунных гильз увеличивается на 7%, 59% и 212% соответственно [2]. По данным [3] при содержании в масле 4% и 8% топлива износ деталей цилиндропоршневой группы возрастает соответственно на 25 и 50%. На рис. 1 приведены экспериментальные данные, полученные в ходе моторно-стендовых и дорожных испытаний. Содержание топлива в масле было определено с помощью лабораторного оборудования.
- Разжижение масла приводит к снижению рабочего давления в системе смазки, что ещё больше осложняет работу подшипников скольжения. Кроме того, разбавленное топливом масло теряет свои расчётные характеристики в тех местах, где оно выполняет функцию гидравлической жидкости, например,

в механизмах управления фазами газораспределения.

- Топливо растворяет (разжижает) масло на стенках цилиндра и затем, после воспламенения в цилиндре, сгорает, увлекая в этот процесс и частицы масла. Разжиженная масляная плёнка соскабливается поршневыми кольцами и попадает в зазор между гильзой и поршнем в зоне жарового пояса поршня. Распространённая «Т»-образная форма юбки поршня в современных двигателях может являться одной из причин повышенного расхода масла. При разжижении масла топливом происходит существенное понижение температуры вспышки масла (рис. 2), и оно, зажатое между поршнем и гильзой в зоне жарового пояса, начинает выгорать, однако, ввиду недостатка кислорода реакция окисления оказывается неполной, с высокой степенью сажеобразования (рис. 3). В таких зонах накапливаются сажевые отложения, которые при определённых условиях могут стать провокаторами разрушительного для двигателя явления – преждевременного воспламенения (pre-ignition) [6, 7].

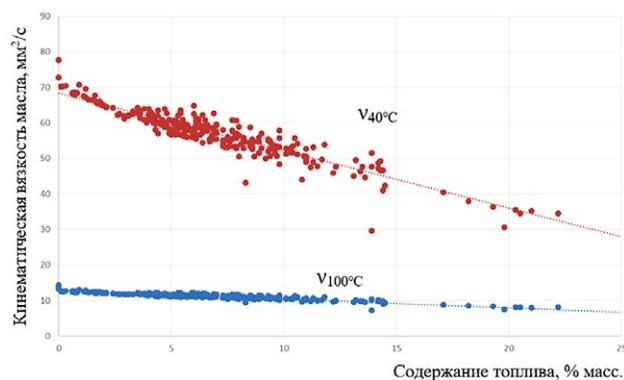


Рис. 1. Зависимость кинематической вязкости масла SAE 0W-40 при 40°C и 100°C от массового содержания топлива в масле.

Fig. 1. Dependence of the SAE 0W-40 oil kinematic viscosity at the temperatures of 40°C and 100°C on mass content of fuel in oil.

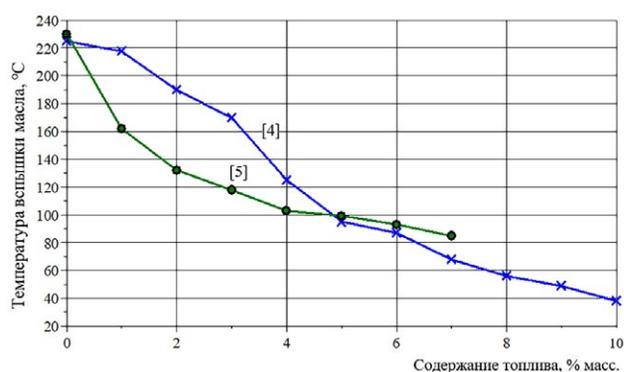


Рис. 2. Зависимость температуры вспышки моторного масла от массового содержания топлива по данным источников [4] и [5].

Fig. 2. Dependence of oil-flash temperature on mass content of fuel according to the data from sources [4] and [5].



Рис. 3. Сажевые отложения в зоне жарового пояса.
Fig. 3. Carbon deposits at the heat belt zone.

- Топливо приводит к деградации масла, снижает концентрацию и срок эффективного действия присадок, что сокращает срок службы масла и требует более частой его замены.

ПРИЧИНЫ ПОПАДАНИЯ ТОПЛИВА В МАСЛО

Можно выделить следующие причины попадания топлива в масло:

Конструктивные:*

- недостатки конструкции распылителя форсунки, такие как: количество, расположение и диаметр сопловых отверстий, направление топливного факела;
- неплотное прилегание маслосъемных колец к стенкам гильзы цилиндра.

Регулируемые:

- неполное сгорание, вызванное переобеднением или переобогащением топливовоздушной смеси, приводящее к пропускам зажигания;
- неправильная организация фазированного, «пилотного» впрыскивания, начала и продолжительности впрыскивания.

Эксплуатационные:

- работа двигателя при низкой температуре охлаждающей жидкости и/или масла;
- частые и короткие поездки, при которых двигатель не успевает прогреться;
- негерметичность топливной аппаратуры – подтекание топлива из форсунок в закрытом положении;
- неисправность системы зажигания, в частности неисправность свечей – пропуски зажигания;
- износ цилиндропоршневой группы, как следствие – интенсивный прорыв картерных газов, вместе с которыми пары топлива поступают в картер, где далее конденсируются и насыщают масло.

Некоторые авторы, также называют одной из причин высокого содержания топлива в масле длительную работу на холостом ходу, что, по их мнению, характерно для городских условий движения [8], однако, моторные-стендовые и дорожные испытания, проведенные в НАМИ, этого не подтверждают.

ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТОПЛИВА В МАСЛЕ

Каково предельное массовое содержание топлива в масле? Этот вопрос не имеет однозначного ответа ни в отношении дизелей, ни в отношении бензиновых двигателей. Слишком велико количество факторов, которые нужно принимать при ответе на него во внимание: условия эксплуатации, климатические условия, качество топлива, тип масла и его химический состав. Например, один из крупнейших производителей синтетических моторных масел, компания AMSOIL, декларирует следующие ограничения:

- до 2,4% для бензиновых двигателей;
- до 3,4% для дизелей [9].

Американская лаборатория POLARIS Laboratories [10] указывает допустимые пределы содержания бензина в масле 3–7%. Источник [11] говорит о 1,5% как о допустимой концентрации топлива в масле и о 5% как о предельной. Лаборатория «Диамас» [12] допускает наличие 7% топлива.

С другой стороны, в различных источниках утверждается, что при эксплуатации в среднестатистических условиях концентрация топлива в масле может достигать 9%, что является естественным и нормальным состоянием. По мнению владельцев автомобилей [13], предельное содержание топлива в масле для бензиновых и дизельных двигателей составляет 7%, хотя эти же автомобилисты не боятся кратковременно эксплуатировать двигатели в зимнее время при 20% топлива. При этом, статистическая обработка результатов анализа моторного масла автомобилей, находящихся в обычной эксплуатации в России и проходящих сервисное обслуживание (регламентная замена масла после 6–8 тыс. км пробега), позволяет предположить, что диапазон содержания топлива в масле у легковых автомобилей составляет 0,7–25,6% [13].

В этой связи, представляют интерес данные НАМИ, полученные в ходе исследований двигателей под руководством д.т.н. М.А. Зленко. Были проведены длительные лабораторно-дорожные испытания 30 легковых автомобилей разной массы, но оснащённых двигателями одной модели. Автомобили проходили разного рода испытания (скоростные, горные, «городской цикл» и т.д.) в течение нескольких лет в разных климатических условиях. Статистическая картина по содержанию топлива в масле для всех автомобилей во время этих испытаний показана на рис. 4. Результаты хорошо коррелируют с вышеуказанными данными из источника [13].

Важно заметить, что значения выше 15–20% фиксировались как в зимних, так и в относительно тёплых климатических условиях.

На рис. 5 показана вариация концентрации топлива в масле у одного из опытных двигателей в течение

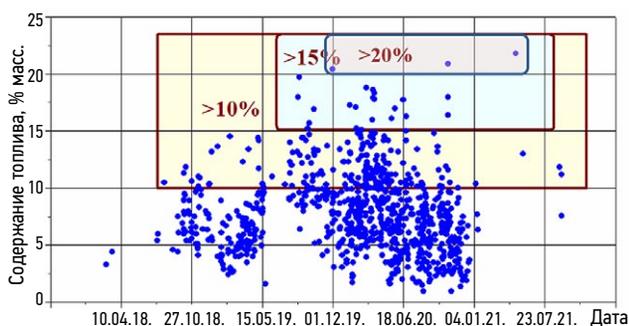


Рис. 4. Статистические показатели массового содержания топлива в масле для 30 автомобилей в течение опытной эксплуатации.

Fig. 4. Statistical data of mass content of fuel in oil from 30 automobiles during testing service.

9 месяцев его эксплуатации (в пределах межсервисного интервала). Исходя из плотности распределения результатов измерений (см. рис. 4) и результатов наблюдений за отдельными автомобилями (см. рис. 5), можно констатировать, что для данных двигателей содержание топлива в масле обычно находится в пределах 1...15%. Во время дефектовки участвовавших в испытаниях двигателей при визуальном осмотре деталей не обнаружены следы существенного износа. Можно предположить, что приведенный уровень содержания топлива 1...15% не является критическим для данного двигателя при условии соблюдения регламента технического обслуживания. Для более точной оценки состояния двигателя требуется провести исследования моторного масла с определением элементного состава и содержания ферромагнитных частиц.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеет место существенный разброс мнений и рекомендаций о допустимой концентрации топлива в масле. Отсюда можно сделать вывод, что само по себе значение концентрации топлива в масле не имеет особого значения, и для определения максимально допустимого уровня содержания топлива в масле целесообразно будет провести исследования по определению допустимых пределов отдельных показателей моторного масла, в первую очередь, вязкости. В случае, если содержание топлива приводит к выходу хотя бы одного показателя масла за допустимые пределы, то данное значение концентрации топлива будет считаться критическим. Кроме того, с точки зрения эксплуатации важными являются вопросы: на каких режимах и каким образом топливо попадает в масло, и существуют ли способы вернуть масло к исходному состоянию, удалив из него топливо. Для ответа на эти вопросы необходимо провести ряд дополнительных исследований.

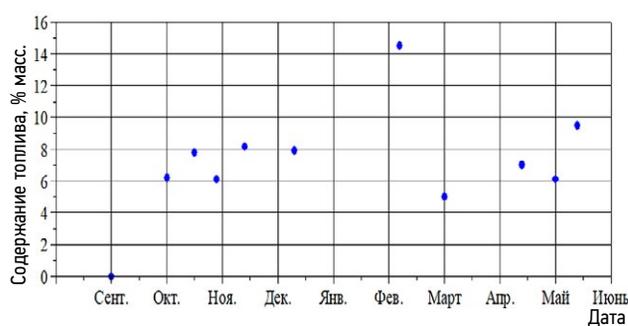


Рис. 5. Изменение массового содержания топлива в моторном масле у одного из автомобилей в течение межсервисного интервала.

Fig. 5. Change of mass content of fuel in motor oil from one of the automobiles during period between maintenance.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. *В.М. Краснов* — написание текста рукописи, обработка экспериментальных данных; *А.С. Теренченко* — экспертная оценка, утверждение финальной версии; *Д.С. Тимофеев* — помощь в проведении экспериментов, отбор проб моторного масла; *И.С. Шibaев* — редактирование текста рукописи; *Н.Д. Степин* — обработка экспериментальных данных, поиск публикаций по теме статьи, редактирование изображений. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors contribution. *V.M. Krasnov* — writing the text of the manuscript, processing of experimental data; *A.S. Terenchenko* — expert opinion, approval of the final version; *D.S. Timofeev* — assistance with experiments, engine oil sampling; *I.S. Shibaev* — editing the text of the manuscript; *N.D. Stepin* — processing of experimental data, search for publications on the subject of the article, image editing. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. The authors state that there is no external funding for the study.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aviation Machinist's Mate 2. Washington: Bureau of Naval Personnel, 1961. Режим доступа: https://books.google.ru/books?id=CBPeNed9_Y0C&pg=PA2&dq=Aviation+Machinist's+Mate+2&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKewjSglrp3urmAhUm0aYKHQmTDL4Q6AEIKDAA#v=onepage&q=Aviation%20Machinist's%20Mate%202&f=false дата обращения: 14.04.2022.
2. Zhou Y., Li W., Stump B.C., et al. Impact of Fuel Contents on Tribological Performance of PAO Base Oil and ZDDP // *Lubricants*. 2018. Vol. 6, N 3. P. 79. doi: 10.3390/lubricants6030079
3. Остриков В.В., Нагорнов С.А., Клейменов О.А. и др. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008.
4. Ljubas D., Krpan H., Matanovic I. Influence of engine oils dilution by fuels on their viscosity, flash point and fire point // *Nafta*. 2010. Vol. 61, N 2. P. 73–79. Режим доступа: <https://hrcak.srce.hr/49121> дата обращения: 14.04.2022.
5. Hu T., Teng H., Luo X., et al. Impact of Fuel Injection on Dilution of Engine Crankcase Oil for Turbocharged Gasoline Direct-Injection Engines // *SAE Int. J. Engines*. Vol. 8, N 3. P. 1107–1116. doi: 10.4271/2015-01-0967
6. Döhler A., Pritze S. A contribution to better understanding the pre-ignition phenomenon in highly charged internal combustion engines with direct fuel injection // 4th conference knocking in gasoline engines, Berlin, 9–10 October 2013. Berlin: IAV Automotive Engineering GmbH, 2013. P. 41–61.

REFERENCES

1. *Aviation Machinist's Mate 2*. Washington: Bureau of Naval Personnel; 1961. Available from: https://books.google.ru/books?id=CBPeNed9_Y0C&pg=PA2&dq=Aviation+Machinist's+Mate+2&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKewjSglrp3urmAhUm0aYKHQmTDL4Q6AEIKDAA#v=onepage&q=Aviation%20Machinist's%20Mate%202&f=false accessed: 14.04.2022.
2. Zhou Y, Li W, Stump BC, et al. Impact of Fuel Contents on Tribological Performance of PAO Base Oil and ZDDP. *Lubricants*. 2018;6(3):79. doi: 10.3390/lubricants6030079
3. Ostrikov VV, Nagornov SA, Kleimenov OA, et al. *Fuel, lubricants and technical fluids: a tutorial*. Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta; 2008. (in Russ).
4. Ljubas D, Krpan H, Matanovic I. Influence of engine oils dilution by fuels on their viscosity, flash point and fire point. *Nafta*. 2010;61(2):73–79. Available from: <https://hrcak.srce.hr/49121> accessed: 14.04.2022.
5. Hu T, Teng H, Luo X, et al. Impact of Fuel Injection on Dilution of Engine Crankcase Oil for Turbocharged Gasoline Direct-Injection Engines. *SAE Int. J. Engines*. 2015;8(3):1107–1116. doi: 10.4271/2015-01-0967
6. Döhler A, Pritze S. A contribution to better understanding the pre-ignition phenomenon in highly charged internal combustion engines with direct fuel injection. In: *4th conference knocking*

7. Mayer M., Hofmann P., Williams J., et al. Influence of the Engine Oil on Pre-ignitions at Highly Supercharged Direct-injection Gasoline Engines // *MTZ Worldw*. 2016. Vol. 77. P. 36–40. doi: 10.1007/s38313-016-0044-z
8. Гринченко К.В., Корнеев С.В., Буравкин Р.В. Изменение свойств моторного масла при попадании топлива // *Динамика систем, механизмов и машин*. 2016. № 1. С. 158–162.
9. What is Fuel Dilution (and why is it bad)? [internet] Режим доступа: <https://blog.amsoil.com/what-is-fuel-dilution-and-why-is-it-bad/> дата обращения: 21.03.2022.
10. How gasoline engine technology affects fuel dilution. [internet] Режим доступа: <https://polarislabs.com/how-gasoline-engine-technology-affects-fuel-dilution/> дата обращения: 29.03.2022.
11. Best Tests to Detect Fuel Dilution. [internet] Режим доступа: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31148/fuel-dilution-tests> дата обращения: 13.05.2022.
12. Анализ моторного масла для бензиновых и дизельных двигателей. [internet] Режим доступа: <https://www.oillab.ru/dvigatel/bazovyy-kompleks-ispytaniy-masla-dlya-dvigatelya/> дата обращения: 25.05.2022.
13. FAQ по лабораторным анализам. [internet] Режим доступа: <https://www.oil-club.ru/faq-po-laboratornym-analizam/> дата обращения: 25.04.2022.

in gasoline engines, Berlin, 9–10 October 2013. Berlin: IAV Automotive Engineering GmbH; 2013:41–61.

7. Mayer M, Hofmann P, Williams J, et al. Influence of the Engine Oil on Pre-ignitions at Highly Supercharged Direct-injection Gasoline Engines. *MTZ Worldw*. 2016;77:36–40. doi: 10.1007/s38313-016-0044-z
8. Grinchenko KV, Korneev SV, Buravkin RV. Changes in the properties of engine oil when fuel enters. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin*. 2016;1:158–162. (in Russ).
9. What is Fuel Dilution (and why is it bad)? [internet] Available from: <https://blog.amsoil.com/what-is-fuel-dilution-and-why-is-it-bad/> accessed: 21.03.2022.
10. How gasoline engine technology affects fuel dilution. [internet] Available from: <https://polarislabs.com/how-gasoline-engine-technology-affects-fuel-dilution/> accessed: 29.03.2022.
11. Best Tests to Detect Fuel Dilution. [internet] Available from: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31148/fuel-dilution-tests> accessed: 13.05.2022.
12. Engine oil analysis for gasoline and diesel engines. [internet] Available from: <https://www.oillab.ru/dvigatel/bazovyy-kompleks-ispytaniy-masla-dlya-dvigatelya/> accessed: 25.05.2022. (in Russ).
13. FAQ on laboratory tests. [internet] Available from: <https://www.oil-club.ru/faq-po-laboratornym-analizam/> accessed: 25.04.2022. (in Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Краснов Владимир Михайлович,**

канд. техн. наук,
заведующий научно-исследовательским отделом
горюче-смазочных материалов и спецжидкостей Центра
«Энергоустановки»;
адрес: Российская Федерация, 125438, Москва,
Автомоторная ул., д. 2;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4855-9105>;
eLibrary SPIN: 3726-5821;
e-mail: vladimir.krasnov@nami.ru

Теренченко Алексей Станиславович,

канд. техн. наук,
директор Центра «Энергоустановки»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1371-3179>;
eLibrary SPIN: 8166-4320;
e-mail: terenchenko@nami.ru

Тимофеев Дмитрий Сергеевич,

заведующий сектором агрегатов, деталей
и систем дизелей;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9946-4440>;
eLibrary SPIN: 3083-1135;
e-mail: dmitry.timofeev@nami.ru

Шибяев Иван Сергеевич,

начальник управления «Двигатели внутреннего сгорания»
Цentra «Энергоустановки»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7741-9860>;
e-mail: ivan.shibaev@nami.ru

Степин Никита Дмитриевич,

главный специалист Центра «Управление проектами»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2826-7677>;
e-mail: nikita.stepin@nami.ru

*Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

***Vladimir M. Krasnov,**

Cand. Sci. (Tech.),
Head of the Research Department of Fuels and Lubricants
and Special Fluids of the Power Units Center Powerunits;
address: 2 Avtomotornaya street, 125438 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4855-9105>;
eLibrary SPIN: 3726-5821;
e-mail: vladimir.krasnov@nami.ru

Alexey S. Terenchenko,

Cand. Sci. (Tech.),
Head of the Power Units Center;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1371-3179>;
eLibrary SPIN: 8166-4320;
e-mail: terenchenko@nami.ru

Dmitriy S. Timofeev,

Head of the Sector of Units, Parts and Systems of Diesel Engines
of the Power Units Center;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9946-4440>;
eLibrary SPIN: 3083-1135;
e-mail: dmitry.timofeev@nami.ru

Ivan S. Shibaev,

Head of the Internal Combustion Engines Department
of the Power Units Center;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7741-9860>;
e-mail: ivan.shibaev@nami.ru

Nikita D. Stepin,

Chief Planning Specialist of the Project Management Center;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2826-7677>;
e-mail: nikita.stepin@nami.ru

*Corresponding author