

УДК 66.022.6:665.753.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ
ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ****Нурмухаметова Э.Р., Фатхутдинова Э.Н., Сидоров Г.М., Осипенко Д.Ф.***Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа,**e-mail: Elina1991_91@mail.ru*

Производство дизельного топлива, соответствующего современным требованиям, предполагает выпуск топлива с низким содержанием серы (до 10 ppm). Однако снижение содержания серы в дизельном топливе приводит к ухудшению смазывающей способности. Решение данной проблемы заключается в применении различных присадок, обеспечивающих необходимое значение показателя смазывающей способности – скорректированного диаметра пятна износа (СДПИ). Однако при длительном хранении топлива с введенными присадками происходит частичное или полное осаждение присадок, что ведет к расслоению используемых присадок и дизтоплива, а значит, к ухудшению качества и не соблюдению нормативных актов. Данный вопрос особенно актуален для территорий Крайнего Севера, где доставка топлива возможна только в период летней навигации. Для изучения влияния длительного хранения дизельного топлива на его эксплуатационные характеристики была исследована динамика изменения показателя СДПИ при хранении топлива в резервуаре. Смазывающую активность определяли стандартизированным методом ISO 12156-1-2006 на аппарате HFRR. Для проведения экспериментов в базовое гидроочищенное дизельное топливо была введена смазывающая присадка Dodilube 4940 (Clariant). Дизельное топливо с введенной присадкой было оставлено на хранение. По результатам полученных данных были сделаны выводы об изменении смазывающих характеристик дизельного топлива после длительного хранения. Выявлено, что после двух месяцев хранения не наблюдается ухудшение эксплуатационных свойств – значение СДПИ соответствует ГОСТ Р 55475-2013, но наблюдается расслоение топлива, что доказывается различными значениями СДПИ в пробах, отобранных в различных точках резервуара.

Ключевые слова: гидроочистка, дизельное топливо, смазывающая способность дизельного топлива, расслоение топлива при хранении, смазывающая присадка

**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE LONG-TERM STORAGE OF DIESEL
FUEL ON OPERATING CHARACTERISTICS****Nurmukhametova E.R., Fatkhutdinova E.N., Sidorov G.M., Osipenko D.F.***Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: Elina1991_91@mail.ru*

Production of diesel fuel that meets modern requirements requires the production of fuel with a low sulfur content (up to 10 ppm). However, reducing the sulfur content of diesel fuel can lead to a deterioration in lubricity. The solution to this problem is the use of various additives that provide the necessary value of the lubricating power index – corrected wear spot diameter (CWSO). However, with long-term storage of fuel with added additives, partial or complete precipitation of additives occurs, which leads to the separation of used additives and diesel fuel, which means deterioration of quality and non-observance of normative acts. This issue is especially relevant for the territories of the Far North, where fuel delivery is possible only during the summer navigation. To study the effect of long-term storage of diesel fuel on its operational characteristics, the dynamics of the change in the CWSO index during storage of fuel in a tank was studied. Lubricating activity was determined by the standardized method ISO 12156-1-2006 on the HFRR apparatus. To carry out the experiments, a lubricating additive Dodilube 4940 (Clariant) was entered into the base fuel. Diesel fuel with the added additive was left for storage. Based on the results of the data obtained, conclusions were drawn about changes in the lubricating characteristics of diesel fuel after long-term storage. It has been revealed that after two months of storage there is no deterioration in operational characteristics – the CWSO value is according to GOST R 55475-2013, but the fuel separation is observed, which is proved by different values of CWSO in samples taken at different points of the reservoir.

Keywords: hydrotreatment, diesel fuel, lubricity of diesel fuel, fuel separation during storage, lubricating additive

За последнее десятилетие в Европе и Российской Федерации наблюдается тенденция увеличения потребления дизельного топлива. Прежде всего, это связано с увеличением парка автомобильного транспорта с дизельным двигателем из-за их экономичности и приоритетным направлением автомобильной промышленности за счет развития дизельного автомобилестроения с повышенной мощностью двигателей. Производимые в настоящее время высокооборотистые дизельные двигатели, характеризующиеся экономичностью и высокой

удельной мощностью, требуют в свою очередь качественного топлива.

Одним из основных направлений развития нефтеперерабатывающей отрасли России до 2020 г. определен рост производства дизельного топлива, увеличение реализации на внутреннем рынке до 45 млн т/год, при стабилизации объема переработки нефти на текущем уровне [1].

Бесперебойное обеспечение качественным дизельным топливом различных дизельных энергетических установок, а также наземного и водного транспорта, с учётом

разных природно-климатических зон, достигается не только за счет производства топлива на нефтеперерабатывающих заводах с заданными свойствами, но и правильного хранения его в резервуарах, выявления закономерностей изменения качества топлива со временем их хранения в резервуарах и с определением влияния внешних параметров на изменение качества, разработки способов и технологии восстановления его качества до требуемых норм.

На территории Российской Федерации с 2008 г. Постановлением Правительства РФ от 27.02.2008 г. № 118 введен Технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту». В соответствии с этим регламентом основные показатели качества моторных топлив были изменены в сторону ужесточения, по сравнению с ранее действующими стандартами.

На нефтеперерабатывающих заводах при производстве дизельного топлива кроме эксплуатационных свойств особое внимание уделяется повышению экологических показателей.

Для обеспечения возможности экспорта производимого в России моторного топлива в европейские страны показатели качества топлива должны соответствовать европейским нормам EN 590, который за последние десятилетия претерпели существенные изменения.

Так, для дизельного топлива класса 5, соответствующего евростандарту Евро-5, его цетановое число должно быть не менее 51 единицы, содержание серы не выше 10 ppm. При этом нормируется и предельная температура фильтруемости (для холодного климата не выше минус 20 °С), и смазывающая способность (скорректированный диаметр пятна износа) при 60 °С, регламентируемое ГОСТ Р 55475-2013, не выше 460 мкм.

Принятие нового технического регламента и неуклонное повышение требования качества нефтепродуктов настолько велики, что методы переработки дизельного топлива, вполне удовлетворительные в прошлом, в настоящее время уже непригодны. Это и стало основным толчком к началу модернизации российских нефтеперерабатывающих заводов, улучшению промышленного оборудования, усовершенствования старых и внедрения новых технологий, что ведет к дополнительным затратам и увеличению себестоимости дизельного топлива, а значит, и рыночной цены на автозаправочных станциях [2].

Однако решить вопрос лишь реконструкцией не всегда получается за короткий срок. К 2015 г. в России было реконструировано только 47 из более чем 120 запланированных установок по переработке нефти [3, 4].

Известно, что работа дизельных двигателей на топливе, содержащем серу, вызывает интенсивное отложение нагара, образование сернистых соединений, вызывающих коррозию деталей, но с другой стороны, наличие серы в топливе обеспечивает его смазывающие свойства. Но стандарт обязывает производство с ультранизким содержанием серы, что ведет к ухудшению смазывающей способности дизельного топлива.

Цель исследования: изучение влияния длительного хранения дизельного топлива на его эксплуатационные характеристики.

Исследование изменения смазывающих свойств дизельного топлива при длительном хранении в резервуарах и разработка способов восстановления его качества до требуемой нормы является актуальной с научной и практической точки зрения.

Материалы и методы исследования

Согласно ISO 12156-1, ASTM D6079 смазывающее свойство исследуемого образца дизельного топлива определялось на приборе HFRR «High Frequency Reciprocating Rig». Метод основан на измерении пятна износа на металлическом шарике, образующегося в результате трения металлического шарика к горизонтально установленной металлической пластине. Для испытания используются стандартный шарик диаметром 6 мм и пластина, изготовленные из специальной стали, заданной твердостью и отполированной поверхностью. В ходе испытания шарик прижимается к неподвижной горизонтальной стальной пластине круглой формы под действием приложенной нагрузки 0,20 кг. Испытуемую пробу топлива помещают в емкость объемом 2 см³, в которой поддерживается заданная температура 60 °С, при этом поверхность шарика, вступающая в контакт с неподвижной пластиной, полностью погружена в испытуемое топливо. Для обеспечения возвратно-поступательного движения шарика с заданной частотой и длиной хода в приборе HFRR используется электромагнитный вибровозбудитель. Продолжительность испытания строго регламентирована. Для измерения размера пятна износа на испытуемом шарике используется микроскоп с высокой разрешающей способностью. При расчете точного размера диаметра пятна износа учитывают не только полученные диаметры, параллельные и перпендикулярные осциллирующему движению, но так же температура и относительная влажность воздуха в начале и конце эксперимента, для корректировки пятна износа к стандартному набору условий испытания. Рассчитанный таким образом скорректированный диаметр пятна износа (СДПИ) является показателем смазывающей способности дизельного топлива, допустимое значение которого, регламентируемое ГОСТ Р 55475-2013, составляет 460 мкм [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Используемое топливо в дизельных двигателях служит смазочным материалом для движущихся деталей топливной аппаратуры, пар трения плунжерных топливных насосов, форсунок, запорных игл, штифтов и других деталей. Однако постоянное ужесточение экологических требований к моторным топливам вынуждает производителей проводить глубокое обессеривание дизельного топлива.

Сернистые соединения благоприятно влияют на работу пар трения топливной аппаратуры высокого давления дизельного двигателя, так как они являются природными поверхностно-активными веществами и их удаление снижает смазывающую способность дизельного топлива. Использование дизельного топлива с пониженными смазывающими свойствами приводит к повышенному износу деталей двигателя и значительно снижает ресурс работы двигателя, поэтому для улучшения эксплуатационных, смазывающих свойств к дизельному топливу добавляют противоизносные присадки.

Современные двигатели предъявляют повышенное требование к потребляемому топливу, кроме того, возросшие экологические требования к продукции НПЗ заставляют их выпускать качественный товар, отвечающий условиям Евро-5, поэтому в настоящее время применение присадок является обязательным условием при производстве малосернистого дизельного топлива.

Ассортимент применяемых присадок для дизельного топлива значительно шире, чем для автомобильного бензина. Это, прежде всего, связано с тяжелыми условиями работы дизельного двигателя, сложным химическим составом и свойствами дизельного топлива, полученного смешением различных фракций нефтепереработки, которые могут сильно отличаться и по-разному реагировать на условия эксплуатации и хранения.

В качестве присадок для дизельного топлива сегодня используются в основном продукты нефтехимии, позволяющие улучшить эксплуатационные свойства дизельных топлив в соответствии с современными требованиями.

Применяются на практике как однокомпонентные присадки в чистом виде, так и комплексные, в предварительно подготовленном растворе. Из всего многообразия ассортимента присадок самые востребованные при производстве современных дизельных топлив класса Евро-5 на не-

фтеперерабатывающих заводах являются: противоизносные (смазывающие), цетаноповышающие и депрессорно-диспергирующие присадки.

Применение противоизносной присадки для восстановления смазывающих свойств является обязательным условием на нефтеперерабатывающих заводах, выпускающих дизельное топливо, подвергшихся глубокой гидроочистке, соответствующее современным экологическим требованиям.

Рабочие концентрации противоизносных присадок в дизельных топливах составляют сотые доли процента. На практике величина дозировки связана с составом средних дистиллятов нефти – фракционного состава, от степени обессеривания топлива, температуры помутнения, количества и типа парафинов, наличия в нем других присадок и т.д. [6–8].

В то же время с применением присадок возникает дополнительная проблема: при длительном хранении топлива в резервуарах происходит частичное, а в некоторых случаях возможно и полное осаждение присадок под действием силы тяжести их собственного веса. Данный процесс ведет к расслоению используемых присадок и дизтоплива, а значит, ухудшению качества [9].

Данный вопрос является особенно актуальным для территориальных нефтебаз хранения топлива и обширных, но малонаселенных и труднодоступных территорий Крайнего Севера с суровыми климатическими условиями. Отопительный сезон в этих регионах длится иногда 9–11 месяцев в году, а доставка грузов, включая топливо, возможна только в непродолжительный период летней навигации из-за отсутствия постоянного наземного сообщения. По программам «северного завоза» ежегодно завозятся значительные объемы жидкого топлива: в Иркутскую область – 15 тыс. т, в Якутию – 740 тыс. т; в ЯНАО – 89 тыс. т; в ХМАО – 11 тыс. т; в НАО – 10 тыс. т, в Хабаровский край – 24 тыс. т; в Камчатский край – 30 тыс. т; в Чукотский АО – 140–148 тыс. т; в Красноярский край – 62 тыс. т [10].

Значительное количество жидкого углеводородного топлива в этих регионах хранится в резервуарах до следующей навигации, следовательно, из-за расслоения продукта снижается смазывающее свойство дизельного топлива, теряется его качество.

Использование в дизельных двигателях такого топлива с низкими смазывающими свойствами приводит к повышенному износу плунжерных пар насоса высокого давления и игл форсунок, следовательно, снижает надежность работы дизельного двигателя.

Литературных данных по изучению влияния смазывающей способности сернистых соединений, роли противоизносных присадок для дизельного топлива с ультранизким содержанием серы достаточно много, однако отсутствуют исследования по изменению смазывающей способности дизельного топлива при длительном хранении вследствие расслоения присадок. На наш взгляд, исследование изменения качества дизельного топлива при длительном хранении из-за расслоения продукта и разработка способа восстановления качества до требуемых норм является актуальным как с научной, так и с практической точки зрения.

Для исследования влияния длительного хранения дизельного топлива на его эксплуатационные характеристики был взят один из основных показателей качества дизельного топлива – смазывающая способность (скорректированный диаметр пятна износа).

Был проведен ряд опытов для подтверждения расслоения дизельного топлива. В качестве базового топлива взято гидроочищенное дизельное топливо без присадок с установки гидроочистки.

На приборе HFRR «High Frequency Reciprocating Rig» была определена смазывающая способность базового гидроочищенного дизельного топлива без добавления присадки. Измеренный показатель СДПИ составил 598 единиц, что значительно превышает требуемую норму, регламентируемую ГОСТ Р 55475-2013, составляющую 460 мкм.

Основные характеристики базового гидроочищенного дизельного топлива представлены в табл. 1.

Далее в базовое топливо была введена смазывающая присадка Dodilube 4940 (Clariant) из расчета 0,30 кг/т. Введение смазывающей присадки повысило смазывающую способность данного дизельного топлива на 49% (табл. 2).

Таблица 1
Физико-химические свойства гидроочищенного дизельного топлива

Наименование показателя	Значение показателя
Фракционный состав, °С	
н.к.	170
10%	196
20%	214
30%	231
40%	246
50%	263
60%	278
70%	294
80%	313
90%	340
к.к.	351
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм	598
Вязкость, мм ² /с	2,3488
Содержание серы, % мас.	0,0006

Таблица 2

Показатели качества дизельного топлива

Дата отбора	Наименование	Значение СДПИ, мкм	Место отбора пробы
1-й день	Гидроочищенное дизельное топливо с установки гидроочистки без присадки	598	Середина резервуара
1-й день	Гидроочищенное дизельное топливо с установки гидроочистки с добавлением смазывающей присадки Dodilube 4940 (Clariant)	303	Середина резервуара
Через 60 дней	Гидроочищенное дизельное топливо с установки гидроочистки с добавлением смазывающей присадки Dodilube 4940 (Clariant)	294	Верх резервуара
Через 60 дней	Гидроочищенное дизельное топливо с установки гидроочистки с добавлением смазывающей присадки Dodilube 4940 (Clariant)	325	Середина резервуара
Через 60 дней	Гидроочищенное дизельное топливо с установки гидроочистки с добавлением смазывающей присадки Dodilube 4940 (Clariant)	390	Низ резервуара
Через 60 дней	Гидроочищенное дизельное топливо с установки гидроочистки с добавлением смазывающей присадки Dodilube 4940 (Clariant)	304	Середина резервуара (после перемешивания)

Изменение смазывающей способности дизельного топлива при длительном хранении в резервуаре оценивалось путем измерения СДПИ. Для этого дизельное топливо с введенной присадкой было оставлено на хранение. По истечению двух месяцев были взяты пробы с верха, середины и низа резервуара для повторного проведения анализа СДПИ. Анализы показали, что через 60 дней значение СДПИ пробы с верха, середины и низа резервуара отличались от первоначальной на 3, 7 и 29%. Изменение СДПИ по высоте резервуара показывает, что при хранении происходит расслоение дизельного топлива, следовательно, изменение смазывающей способности.

Далее для проверки факта изменения смазывающих характеристик при перемешивании расслоившееся дизельное топливо было тщательно перемешено и определено его СДПИ. Полученные результаты исследований представлены в табл. 2.

Выводы

Результаты полученных данных в ходе исследования показывают, что после двух месяцев хранения значение СДПИ принятого образца дизельного топлива находится в допустимых пределах требования ГОСТ Р 55475-2013, однако наблюдается значительное расслоение топлива и изменение его смазывающей способности по высоте резервуара.

Также можно сделать вывод, что при интенсивном перемешивании расслоившегося топлива можно восстановить смазывающую способность практически до исходного значения.

Предотвратить расслоение и восстановить смазывающую способность дизельного топлива при длительном хранении возможно за счет оборудования резервуара струйным гидравлическим смесителем (СГС) [9, 11], позволяющим интенсивно перемешивать нефтепродукты за счет эффективного использования потенциальной энергии струи в трубопроводе в процессе заполнения резервуара или за счет цирку-

ляции продукта. Смеситель такой конструкции не требует подвода электроэнергии, не имеет подвижных и вращающихся деталей, вызывающих вибрацию стенок резервуара, тем самым позволяет увеличить безопасность и межремонтный срок эксплуатации резервуара. К тому же, СГС может устанавливаться на потоках любой производительности и в резервуарах любой емкости.

Таким образом, установка СГС в резервуарах для хранения товарного дизельного топлива обеспечит однородность топлива по всему объему резервуара и значительно улучшит эксплуатационные характеристики.

Список литературы

1. Зуйков А.В., Чернышева Е.А., Сидоров Ю.В. Особенности производства малосернистого дизельного топлива с низким содержанием полициклических ароматических углеводородов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2013. № 1. С. 11.
2. Митусова Т.Н., Калинина М.В. Дизельные и биодизельные топлива // Нефтепереработка и нефтехимия. 2004. № 10. С. 11–14.
3. Нефтепереработка в России: курс на модернизацию. Ernst&Young. 2014. 28 с. URL: <https://www.supplyfinder.com/downloads/pdfs/4373.pdf> (дата обращения: 27.05.2018).
4. Андрианов В. Рынки дизельного топлива. Все лучшее – на экспорт, себе – бодрягу? // Нефтегазовая вертикаль. 2015. № 9. С. 60–65.
5. ГОСТ ISO 2156-1-212. Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200047521> (дата обращения: 15.07.2018).
6. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. 3-е изд., доп. СПб.: Химиздат, 2010. 368 с.
7. Данилов А.М. Присадки к топливам как решение химмотологических проблем // Химия и технология топлив и масел. 2014. № 5 (585). С. 31–35.
8. Романцова С.В., Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А. Получение присадок для дизельного топлива, используемого в сельском хозяйстве // Наука в центральной России. 2017. № 1 (25). С. 5–62.
9. Сидоров Г.М., Яхин Б.А., Рябова В.И., Филатов А.К., Зайцев Ю.Н. Снижение качества дизельного топлива в процессе хранения и способ его восстановления // Мир нефтепродуктов. 2017. № 6. С. 32–35.
10. Анализ нынешнего положения изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию [Электронный ресурс]. URL: http://www.cenef.ru/file/Discussion_paper1.pdf (дата обращения: 27.05.2018).
11. Галиакбаров В.Ф., Зубаиров С.Г., Сидоров Г.М. и др. Установка для перемешивания жидкостей в резервуарах. Патент России 156526. 2015. Бюл. № 31.