

УЛУЧШЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

А. В. ГОРДЕЕНКО¹, канд. техн. наук, доцент

В. А. БЕЛОУСОВ¹, канд. техн. наук, доцент

В. Г. КОСТЕНИЧ², канд. техн. наук, доцент

¹УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
Минск, Республика Беларусь

Введение. Все виды дизельного топлива (ДТ) содержат растворенные парафины. При низких температурах парафины кристаллизуются, выпадают в осадок и закупоривают фильтрующие элементы. Эти изменения значительно снижают пропускную способность фильтров, отрицательно влияя на эксплуатационные показатели транспортных средств. Однако несмотря на то, что *n*-парафины снижают качество топлива в зимний период, они также являются важнейшим смазывающим элементом, обеспечивающим работу топливной системы, в том числе и топливных насосов.

Одна из важнейших эксплуатационных характеристик дизельного топлива – его низкотемпературные свойства, характеризующие его подвижность при отрицательной температуре. Производство дизельного топлива с нужными низкотемпературными показателями в Республике Беларусь осуществляется по ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия».

Основная часть. К основным низкотемпературным свойствам дизельных топлив относятся три показателя:

- температура помутнения (t_m) – при которой из топлива начинают выпадать первые кристаллы парафина;

- предельная температура фильтруемости (t_{Φ}) – характеризует минимальную температуру, при которой заданный объем топлива не способен проходить через стандартный топливный фильтр с ячейкой 45 мкм из-за выделившихся кристаллов парафинов (кристаллы *n*-алканов увеличиваются до размеров, способных забить фильтрующий элемент, хотя топливо не теряет текучести). Предельная температура фильтруемости определяется на приборе ПТФ-ЛАБ-12 по ГОСТ 22254-92, ГОСТ Р 54269-2010 и ASTM D 6371;

– температура застывания (t_3) – при которой топливо теряет подвижность при малых усилиях сдвига, при этой температуре дизельное топливо полностью теряет свою подвижность из-за образования кристаллической сетки, возникающей при сращивании крупных кристаллов парафина при снижении температуры.

Основные низкотемпературные показатели товарного дизельного топлива приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Требования к летнему и межсезонному топливу

Наименование показателя	Значение показателя для сорта					
	A	B	C	D	E	F
Предельная температура фильтруемости, °C, не выше	5	0	минус 5	минус 10	минус 15	минус 20

Таблица 2. Требования к зимнему и арктическому топливу

Наименование показателя	Значение для класса				
	0	1	2	3	4
Предельная температура фильтруемости, °C, не выше	минус 20	минус 26	минус 32	минус 38	минус 44
Температура помутнения, °C, не выше	минус 10	минус 16	минус 22	минус 28	минус 34

Одним из способов улучшения низкотемпературных свойств ДТ в период эксплуатации является добавление депрессорно-диспергирующих присадок.

Предложена система облегчения работы дизеля при низких температурах (рис. 1) [3].

Система работает следующим образом. При температуре дизельного топлива, когда процессы кристаллики не протекают и фильтр не забит парафинами, топливо свободно проходит из топливного бака через фильтр грубой очистки, топливо-подкачивающий насос и фильтр тонкой очистки и далее поступает к Топливному насосу высокого давления и форсункам. При этом пружина 23 удерживает золотник 18 в крайнем правом положении. Сверление 14 крышки 12 перекрыто золотником 18, а сверление 15 через проточку 22 золотника 18 и сверление 16 крышки 12 сообщает надпоршневую полость с всасывающим коллектором. Двухступенчатый поршень 2 под действием пружины 3 находится в крайнем верхнем положении. Депрессорная присадка через открытый обратный клапан 9, радиальное сверление 7, осевое сверление 6 штуцера 4 заполняет подпоршневую полость. Обратный

клапан 8 в результате разности давлений в фильтре и подпоршневой полости устройства закрыт. Депрессорная присадка в фильтр не поступает.

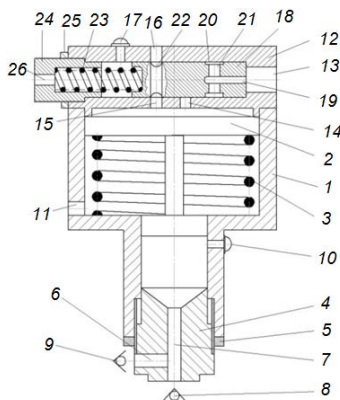


Рис. 1. Устройство для автоматического ввода депрессорной присадки:

- 1 – корпус; 2 – двухступенчатый поршень;
- 3 – пружина; 4 – штуцер; 5 – контргайка;
- 6 и 7 – осевое и радиальное сверления; 8 и 9 – обратные клапаны; 10 – винт для удаления воздуха; 11 – сверление, сообщающее межпоршневую полость с всасывающим коллектором; 12 – крышка; 13 – осевое сверление; 14, 15 и 16 – радиальные сверления; 17 – винт для удаления воздуха; 18 – золотник; 19 и 20 – осевое и радиальное сверления; 21 и 22 – проточки; 23 – пружина; 24 – штуцер; 25 – контргайка; 26 – осевое сверление, сообщающее с выходом из фильтра тонкой очистки

При температуре дизельного топлива ниже температуры помутнения протекают процессы кристаллизации высокоплавких углеводородов. Парафины, выпадающие в виде кристаллов, забивают фильтрующий элемент, увеличивая его гидравлическое сопротивление. При этом возникает перепад давлений на фильтре, независящий от режима работы двигателя. За счет разности давлений на входе и выходе из фильтра золотник 18, установленный в крышке 12, начинает перемещаться влево, сжимая пружину 23. В результате чего перекрывается сверление 15 крышки 12, а сверление 14 через проточку 21, сверление 20 и 19 золотника 18, сверление 13 крышки 12 сообщается с входом в фильтр. Топливо начинает поступать в надпоршневую полость. Поршень 2 перемещается вниз, сжимая пружину 3. За счет разности площадей двухступенчатого поршня 2 давление в подпоршневой полости, где находится депрессорная присадка, намного выше, чем давление в надпоршневой полости и в фильтре. Под действием этого давления обратный клапан 9 закрыт и открывается обратный клапан 8. Депрессорная Присадка по каналу 6 штуцера 4 через обратный клапан 8 и трубопровод подается в фильтр. После впрыска присадки, когда поршень 2 упирается в своем крайнем нижнем положении в штуцер 4, обратный клапан 8 закрывается. Объем вводимой присадки регулируется штуцером 4 и контргайкой 5. Под действием депрессора кристаллы разрушаются, улучшаются условия фильтруемости и прокачивае-

мости дизельного топлива, тем самым снижается перепад давлений на фильтре. Золотник 18 под действием пружины 23 перемещается в первоначальное положение, перекрывается сверление 14, а сверление 15 через проточку 22 золотника 18 и сверление 16 крышки 12 соединяет надпоршневую полость с всасывающим коллектором. Поршень 2 под действием пружины 3 перемещается вверх, вытесняя топливо из надпоршневой полости. При этом открывается обратный клапан 9 и по сверлениям 7 и 6 штуцера 4 в подпоршневую полость поступает новая порция депрессорной присадки. Перепад давлений, при котором срабатывает устройство, зависит от положения штуцера 24 с контрогайкой 25.

Исследования показали, что при добавлении в межсезонное дизельное топливо присадки позволяют добиться улучшения низкотемпературных свойств по ГОСТ 32511-2013 с сорта Е до сорта F (0 класс).

Однако, согласно последним требованиям, депрессорные присадки должны не только понижать температуру застывания и предельную температуру фильтруемости, но и содействовать в удержании мелких кристаллов во взвешенном состоянии, а также способствовать равномерному распределению их по всему объему топлива. Это объясняется тем, что топливо с присадкой при хранении при минусовых температурах склонно к расслаиванию и накоплению кристаллов твердой фазы в нижней части емкости.

Требуемые низкотемпературные показатели ДТ могут достигаться путём снижения высокомолекулярных *H*-парафинов C_{18+} при оптимальном соотношении с *H*-парафинами $C_9 - C_{15}$, углеводородами изостроения и моноциклическими аренами, которые представляют собой растворители высококипящих алканов, т. е. изменением фракционного состава ДТ (табл. 3) [1, 4].

Данные табл. 3 показывают, что для обеспечения требуемых температур помутнения и застывания зимние топлива получают облегчением фракционного состава. Так, для получения дизельного топлива с $t_{п} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{з} = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$ требуется понизить температуру конца кипения топлива с 360 до 320 $^{\circ}\text{C}$, а для топлива с $t_{п} = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{з} = -45\text{ }^{\circ}\text{C}$ – до 280 $^{\circ}\text{C}$, что приводит к снижению отбора дизельного топлива от нефти с 42 до 30,5 и 22,4 % соответственно [1, 4].

В летних дизельных топливах содержатся *H*-алканы углеродного ряда $C_9 - C_{25}$, причем максимум приходится на углеводороды $C_{11} - C_{19}$. В зимних и арктических дизельных топливах в основном содержатся *H*-алкановые углеводороды с числом углеродных атомов $C_8 - C_{18}$, а максимум приходится на $C_{11} - C_{12}$.

**Таблица 3. Влияние фракционного состава ДТ
на их низкотемпературные свойства**

Показатели	Фракции, °С						
	160– 280	160– 320	160– 350	160– 370	160– 390	180– 350	180– 370
Выход на нефть, %масс.	22,4	30,5	35,9	39,2	42,0	32,2	35,5
Фракционный состав: начало кипения, °С	188	190	192	194	197	210	211
перегоняется при темпе- ратуре, °С:							
10% об.	198	201	203	205	211	228	227
50 % об.	226	245	258	265	274	272	275
90 % об.	260	295	320	336	354	327	340
98 % об.	273	306	332	347	362	338	347
Температура, °С:							
помутнения	–38	–28	–17	–11	–6	–13	–5
застывания	–47	–35	–30	–19	–13	–22	–14

Таким образом, низкотемпературные свойства дизельных топлив изменяются в широком диапазоне, определяемом, прежде всего, содержанием в них *H*-алкановых углеводородов и их температурами плавления. Доказано, что при увеличении содержания суммарных твердых углеводородов в летних ДТ с 5 до 30 % масс. их температура застывания повышается на 13 °С – с –15 до –2 °С. Наибольшее влияние на низкотемпературные свойства ДТ оказывают высокоплавкие *H*-алкановые углеводороды $C_{22} - C_{24}$. Товарные образцы летних ДТ могут иметь $t_{п} -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, если содержание в них *H*-алкановых углеводородов $C_{19} - C_{25}$ не превышает 4,0 % масс. Чтобы $t_{ф}$ не превысила –10 °С, концентрация *H*-алкановых углеводородов не должна быть более 2 % масс.

Наиболее распространенный способ улучшения низкотемпературной прокачиваемости дизельных топлив – утепление топливных баков, трубопроводов, топливных фильтров, установка последних в подкапотном пространстве двигателя как можно ближе к выпускному коллектору [1]. Преимущество этого способа в том, что не требуется дополнительных устройств, однако он имеет и существенный недостаток, такой как, низкая степень нагрева и невозможность разрушения кристаллов в период пуска и прогрева двигателя [1].

Повышенную степень нагрева получают применением специальных нагревательных устройств, таких как: теплообменники отработавших газов, охлаждающей жидкости, излишков топлива или электронагревательные устройства.

Теплообменники, основанные на использовании отработавших газов, расположены в основном внизу топливного бака [1], либо в специальном корпусе, внутри которого расположены пучки труб. Суть этой конструкции в том, что выхлопные газы проходят по трубкам, которые обтекает дизельное топливо [2]. Существенные недостатки таких теплообменников – сильная зависимость температуры теплоносителя от режима работы двигателя и низкий потенциал тепла газов при работе двигателя на холостом ходу.

Теплообменники с использованием тепла излишков топлива могут быть выполнены по всей длине всасывающего трубопровода по типу «труба в трубе» [1, 2]. В литературе встречается описание подогревателей с использованием тепла излишков топлива от форсунок, выполненных в виде смесителей, расположенных в топливном баке недалеко от заборного штуцера. Кроме того, имеется описание теплообменников, использующих теплое топливо из головки топливного насоса высокого давления, которое поступает через редукционный клапан во всасывающую полость подкачивающего насоса.

К недостаткам этого способа можно отнести то, что разрушение кристаллов парафинов будет происходить лишь при запущенном и хорошо прогревом двигателе, однако это не исключает возможности забивания пробками парафинов в двойном штуцере. Кроме того, в данной конструкции не предусмотрен фильтр грубой очистки, и продукты износа прецизионных пар поступают опять к топливному насосу высокого давления, т. е. нет очистки топлива в ФГО.

На рис. 2 представлена схема фильтра тонкой очистки с электронагревательным устройством, выполненным из углеродных тканей [1].

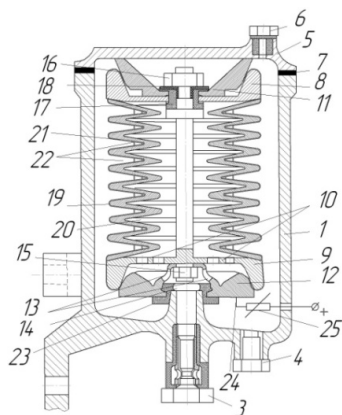


Рис. 2. Фильтр тонкой очистки с электронагревательным элементом:

- 1 – корпус ФГО; 2 – ось; 4 – сливная пробка;
- 5 – крышка корпуса; 6 – пробка для стравливания воздуха; 7 – прокладка;
- 8 и 9 – основания фильтрующего элемента;
- 10, 11, 12 и 24 – зажимы; 13 и 14 – отверстия;
- 15 и 16 – гайки; 17, 18 и 23 – диэлектрические втулки; 19, 21 и 22 – пружины; 20 – углеродная ткань; 25 – позистор

Подогреватель работает следующим образом. Перед пуском двигателя выключателем массы замыкается цепь, и электрический ток проходит через зажим 10, углеродную ткань 20, зажим 11, позистор 25. В результате этого нагревается углеродная ткань, что приводит к разрушению кристаллов парафинов, находящихся на ее поверхности, за счет чего обеспечивается улучшение условий фильтруемости дизельного топлива. Позистор 25 предотвращает перегрев и разрушение углеродной ткани.

Заключение. Установка нагревательных элементов в корпусе топливных фильтров неизбежно приводит к изменению конструкции этих узлов и их эксплуатационных параметров. Этот недостаток присущ всем рассмотренным выше способам подогрева топлива с нагревательными элементами, встроенными в какой-либо агрегат системы питания двигателя. Поэтому для разрушения кристаллов *Н*-алканов в топливе в условиях зимней эксплуатации должны быть использованы индивидуальные способы, которые не вносят конструктивных изменений в агрегаты системы питания принятой схемы топливоподачи [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации / А. Н. Карташевич, Г. М. Кухаренок, А. В. Гордеенко, Д. С. Разинкевич. – Горки: БГСХА, 2005. – 172 с.
2. Патент BY № 1766 U F 02M 31/00, F02N 17/00. Система облегчения дизеля при низких температурах. / А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, Д. С. Разинкевич; заявл. 18.03.2002; опубл. 22.03.2004; Бюл. № 2. – 23 с.
3. Патент BU № 1767 U F 02B 77/00. Система защиты топливной аппаратуры дизеля А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, Д. С. Разинкевич; заявл. 18.03.2002; опубл. 22.03.2004; Бюл. № 2. – 23 с.
4. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – Минск: Новое знание, 2015 – 420 с.
5. Митусова, Т. Н. Снижение температуры помутнения дизельного топлива за счет применения специальной присадки / Т. Н. Митусова, М. В. Калинина, Е. В. Полина // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2005. – № 2. – С. 18–20.

Аннотация. Приведено описание процесса застывания дизельного топлива в зависимости от содержания в нем *Н*-алканов, рассмотрено влияние фракционного состава дизельного топлива на его низкотемпературные свойства, предложены устройства для Устройства для разрушения кристаллов *Н*-алканов в дизельном топливе.

Ключевые слова. дизельное топливо, низкотемпературные свойства, кристаллы парафинов, фракционный состав, подогреватель топлива.