

## РАЗДЕЛ II

# ТРАНСПОРТ

УДК 629.424.14.004:621.436

### ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ РАЗНОСОРТНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВОПОДАЧИ

В.Р. Ведрученко, В.В. Крайнов, П.В. Литвинов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), Россия, г. Омск.

**Аннотация.** *Выполнен обзор и анализ существующих имеющихся способов и методов для определения плотности, вязкости и сжимаемости дизельного топлива. Произведён анализ влияния основных физических свойств разных марок топлива для дизелей на процессы топливоподачи в системах высокого давления. Экспериментально (индицированием) показано влияние названных свойств топлив на характер индикаторной диаграммы дизеля. Предложены наиболее эффективные технические решения, позволяющие на дизеле обеспечить стабильные характеристики топливоподачи при использовании топлив с разными свойствами.*

**Ключевые слова:** топливо, топливоподача, сорт, стабилизация, показатели.

#### Введение

Развиваемая двигателем мощность определяется главным образом количеством впрыскиваемого в камеру сгорания (КС) топлива и его теплотворной способностью. Количество подаваемого в КС дизельного двигателя зависит не только от положения дозирующего органа (рейки) топливоподающей аппаратуры (топливного насоса высокого давления (ТНВД)), но и от физических свойств топлив, значения которых учитываются при расчёте и конструировании топливоподающей аппаратуры дизелей, относятся плотность, вязкость и сжимаемость топлив [1,2].

В процессе топливоподачи топливо протекает через элементы топливоподающей системы, где подвергается воздействию высоких переменных давлений и температур. Названные физические свойства не остаются при этом постоянными. Поэтому при расчёте процесса впрыскивания по методикам, разработанным И.В. Астаховым, Ю.Я. Фоминым, А.С. Лышевским и другими исследователями, обычно используют зависимости плотности, вязкости и сжимаемости топлив от давления и температуры. Такие зависимости, полученные путём обработки экспериментальных данных разных авторов, приведены в работах, опубликованных ранее [3,4,5]. Однако в связи с тенденцией расширения диапазона топлив, применяемых в дизелях, изменением их сортов и

значительным увеличением давлений впрыскивания возникает необходимость уточнения зависимости физических свойств топлив от давления и температуры.

В дизелях транспортного назначения, применяемых ранее, максимальные давления впрыскивания обычно были равны 20...50 МПа, а температура топлива в топливоподающей системе составляла 30...50 °С [1].

В выпускаемых в настоящее время фирмами R. Bosch (Германия), Delphi (Великобритания), Caterpillar и Stanadyne (США), Zexel (Япония) топливоподающих системах максимальное давление впрыскивания составляет 80...100 МПа, а в отдельных образцах – 100...150 МПа. Более того, ведущие зарубежные фирмы-производители топливоподающей аппаратуры рекламируют новые разработки систем топливоподачи, обеспечивающих максимальное давление впрыскивания 160...170 МПа и даже до 200 МПа [1,6]. При таких давлениях впрыскивания температура топлива в топливоподающей системе может достигать 80...100 °С. Поэтому с учётом возможности работы дизеля в условиях с широким диапазоном изменения температур окружающего воздуха, влияния давления и температуры топлив на их плотность, вязкость и сжимаемость, диапазон изменения давлений выбран от 0 до 200 МПа, а диапазон изменения температур от 0 до 100 °С [1].

Следует отметить, что строгой функциональной зависимости физических свойств топлив от их температуры и давления не существует, что обусловлено различиями группового углеводородного состава различных топлив. Однако корреляция между свойствами топлив и их температурой и давлением достаточно сильно выражена. Установление такой корреляционной зависимости в предлагаемой работе проведено методами статистической обработки экспериментальных данных с использованием математической программы MathCad V 6.0 Plus [1,6,7].

#### Анализ имеющихся формул и проверка сортов топлива

Одним из основных параметров топлива является его плотность. Она определяет количество вводимой в КС дизеля энергии, поскольку от плотности зависит теплотворная способность топлива. Это объясняется дозированием топлива в современных топливоподающих системах, при котором одна и та же объёмная цикловая подача может иметь различную массу, зависящую от плотности подаваемого топлива. В результате плотность топлива оказывает непосредственное влияние на мощностные показатели дизеля и, косвенное – на показатели его топливной экономичности. Плотность топлива оказывает заметное влияние на токсичность отработавших газов (ОГ). В частности, с ростом плотности топлив в нём возрастает содержание высокомолекулярных углеводородов, что, как правило, приводит к увеличению дымности ОГ.

При увеличении температуры топлива его плотность падает. Зависимость плотности  $\rho_t$  от температуры  $t$  линейна и более выражена у легких топлив. Для определения зависимости плотности или удельного веса нефтепродуктов от температуры имеется ряд формул [1,6,8]. Д.Н. Вырубовым предложена формула для топлив с плотностью  $\rho_t > 840$  кг/м<sup>3</sup> [1].

$$\rho = \rho_{mo} - 0,66(t - t_0), \quad (1)$$

где  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ;  $\rho_{to}$  – плотность топлива при  $20^\circ\text{C}$ , кг/м<sup>3</sup>.

Более универсальна следующая формула, охватывающая все виды автотракторных топлив:

$$\rho = \rho_{mo} - K_\rho(t - t_0), \quad (2)$$

Коэффициент  $K_\rho$  не имеет постоянного значения, а выбирается в соответствии с плотностью топлива.

В.Я. Колупаев рекомендует использовать следующую формулу [3]:

$$\rho = \rho_{mo} - (1,8 - 0,0013\rho_{mo})(t - t_0). \quad (3)$$

Сопоставление расчётных значений плотности с экспериментальными данными показывают, что в рассматриваемом диапазоне температур погрешность определения  $\rho_t$  с использованием выражения (3) не превышает 1,0%, а при применении зависимости (2) – 1,2%. Таким образом, применение формул (2) и (3) для определения  $\rho_t$  топлив, применяемых в настоящее время в дизелях, является вполне обоснованным.

При увеличении давления плотность топлив возрастает, причём, у лёгких топлив более интенсивно. Для описания зависимости плотности топлив от давления И.В. Астахов рекомендует использовать следующую формулу [4]:

$$\rho = \rho_{mo}(1 + \alpha_{cp} \cdot P), \quad (4)$$

где  $\rho_{to}$  – плотность топлива при атмосферном давлении и  $t = 20^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_{cp}$  – средний коэффициент сжимаемости топлива в интервале давлений от атмосферного до текущего  $p$ . Недостатком зависимости (4) является необходимость определения  $\alpha_{cp}$  при вычислении  $\rho_t$ . Поэтому В.Я. Колупаев предложил формулу для диапазона давлений от 0 до 50 МПа [8]:

$$\rho = \rho_{mo} + (4 \cdot 10^8 / \rho_{mo}^3) \cdot p. \quad (5)$$

Анализ точности расчётных результатов при использовании формулы (5) проведён с использованием известных из литературы экспериментальных данных [1].

Важнейшим свойством топлив, оказывающим влияние на процесс топливоподачи, является вязкость. Это обусловлено тем, что вязкость характеризует сопротивление (силу трения)  $F$  перемещению одного слоя топлива относительно другого, определяемое соотношением  $F = \mu_m S \, dc/dx$ , где  $S$  – площадь слоя,  $dc/dx$  – градиент скорости перемещения. Коэффициент пропорциональности  $\mu_t$  называется динамической вязкостью  $\nu_t = \mu_t/\rho_t$ .

Вязкость топлив в большей степени, чем их плотность зависит от температуры и давления. При увеличении температуры топлива его вязкость уменьшается. Причём,

наиболее интенсивно уменьшение  $v_t$  при увеличении  $t$  наблюдается у высоковязких топлив. Для выражения зависимости вязкости топлив от температуры имеется ряд эмпирических формул [9]. Наиболее известны следующие формулы:

- формула Фульчера-Таманна-Гессе

$$\lg(v_m/v_{m0}) = C/(t - t_0), \quad (6)$$

- формула Дина-Лена

$$v_m = 1/(A + B \cdot t + C \cdot t^2), \quad (7)$$

- формула Слоуна-Виннига

$$\lg v_m = A/(t + 92,8) + B, \quad (8)$$

где  $v_{t0}$  – вязкость топлива при  $t = 20^\circ\text{C}$ . Недостатком выражений (6) и (8) является использование в них коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , значения которых для различных топлив. Наиболее универсальна из имеющихся зависимостей формула, предложенная В.Я. Колупаевым [4]:

$$v_m = v_{m0} + (1,1 \cdot v_{m0} - 0,3) \cdot (1,3 - \lg t). \quad (9)$$

Формула (9) применима для широкого диапазона топлив, включая бензины.

Вязкость топлива имеет ярко выраженную зависимость не только от температуры, но и от давления. С увеличением давления сжатия вязкость топлив увеличивается, причем наиболее интенсивно у высоковязких топлив [1,5].

Для определения зависимости вязкости топлив от давления имеется ряд эмпирических формул. Д.Н. Вырубовым предложена следующая формула для топлив с плотностью  $\rho_{t0} = 860 \dots 940 \text{ кг/м}^3$  [1]:

$$v_m = v_{m0} / (0,9789 - 26 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{m0})^{10p}. \quad (10)$$

где  $\rho_{t0}$  – плотность топлива при  $20^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении. Формула (10) применима лишь для тяжёлых топлив при давлениях до 10 МПа.

Формула, предложенная А.С. Лышевским и И.Н. Пономарёвым охватывает все виды автотракторных топлив [9]:

$$v_m = v_{m0} \exp(10bp), \quad (11)$$

где  $b$  – постоянная для дизельных топлив: по Лышевскому  $b = A + Bv_{m0}$ ;  $A = 1,4 \cdot 10^{-3}$ ;  $B = 1,56 \cdot 10^{-4}$ ; по Пономарёву –  $b = 0,00229$ .

Для описания зависимости вязкости топлив от давления использованы данные, после статистической обработки которых получен полином вида [1]:

$$v_m = v_{m0} + 0,0045 \cdot p \cdot v_{m0}^{-2} + 0,00003 \cdot p^2 \cdot v_{m0}^3 + 0,00024 \cdot p \cdot v_{m0}^4. \quad (12)$$

При использовании выражения (12) максимальная погрешность определения  $v_t$  в диапазоне давлений  $0 \dots 200$  МПа и вязкостей  $v_{t0} = 0,7 \dots 4,1 \text{ мм/с}^2$  для нефтепродуктов составила 10% для топлив и 16% – для индивидуальных углеводородов.

Важным свойством топлив является их сжимаемость, характеризующая коэффициентом  $\alpha_t$  или обратной величиной – модулем упругости  $E_t$ . При этом коэффициент сжимаемости определяется относительным изменением объёма  $\Delta V/V$  при изменении давления  $\Delta p$  и вычисляется в виде:

$$\alpha_m = (1/V) \cdot (\Delta V / \Delta p), \quad (13)$$

где  $V$  – начальный объём топлива. Основным фактором влияния сжимаемости топлива на процесс топливоподачи является зависимость приращения давления  $\Delta p$  при сжатии от  $\alpha_t$ . Наибольшей сжимаемостью (наименьшей упругостью) отличаются лёгкие топлива (бензины), что и предопределяет их более низкие давления при сжатии, по сравнению с дизельными топливами.

При увеличении температуры топлива его сжимаемость увеличивается, а при росте давления – уменьшается. Причём, определение зависимостей коэффициента сжимаемости топлив от температуры и давления представляет наибольшую сложность. Это обусловлено особенностями измерения  $\alpha_t$ .

На величину коэффициента сжимаемости топлив оказывают влияние характер процесса сжатия, количество содержащегося в топливе воздуха и ряд других факторов, что приводит к различным результатам даже при измерении коэффициента сжимаемости одного и того же образца топлива.

Экспериментальные данные по определению значений коэффициентов сжимаемости топлив, и без того немногочисленные, получены на различных установках, при различных условиях и диапазонах давления сжатия [1]. Всё это затрудняет использование таких данных для выявления зависимости сжимаемости топлив от их температуры и давления. Кроме того, существенное влияние на сжимаемость топлива может оказывать нерастворённый в топливе воздух. При атмосферном давлении в топливе содержится значительное количество нерастворённого воздуха. Это

может привести к увеличению коэффициента сжимаемости топлива в 2...2,5 раза [1].

Сжимаемость топлив зависит от давления сжатия  $p$ , причём, с увеличением  $p$  сжимаемость (коэффициент сжимаемости  $\alpha_r$ ) уменьшается. Наиболее интенсивное снижение  $\alpha_r$  наблюдается при низких давлениях сжатия, что вызвано, в частности, влиянием на коэффициент сжимаемости нерастворенного в топливе воздуха [1].

Предложено несколько эмпирических формул для определения коэффициента сжимаемости при данном давлении. Д.Н. Вырубов предложил следующую формулу для определения среднего коэффициента сжимаемости тяжёлых моторных топлив [1]:

$$10^{-11} / \alpha_m = a + b \cdot p - c \cdot p^2 + d \cdot p^3. \quad (14)$$

При этом средние коэффициенты сжимаемости могут существенно отличаться от мгновенных коэффициентов сжимаемости топлив с плотностью 800...840 кг/м<sup>3</sup> [4]:

$$10^{-11} / \alpha_m = a + b \cdot p - c \cdot p^2. \quad (15)$$

На рисунке 1 представлены также полученные нами кривые фракционной разгонки ряда топлив для дизелей производства Омского НПЗ, где обозначены: РФС – топливо дизельное расширенного фракционного состава; ДТ ПЛФ – дизельное топливо парафиновых лёгких фракций.

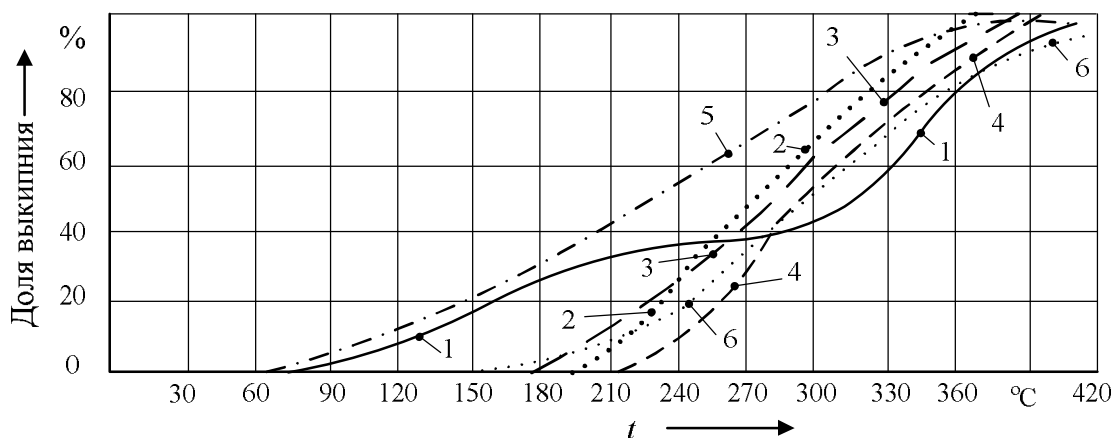


Рис. 1. Кривые фракционной разгонки сравниваемых топлив производства АО «Омский НПЗ»: 1 – топливо РФС; 2 – топливо дизельное марки «Л»; 3 – топливо УФС; 4 – топливо дизельное ДТ ПЛФ; 5 – топливо РФС (образец); 6 – топливо УФС (образец).

В таблице представлены обобщённые нами данные различных марок перспективных и стандартных жидких топлив для дизельных двигателей.

Таблица 1 – Свойства перспективных, стандартных и опытных топлив для дизелей

| № п/п | Марка топлива                                                    | Вязкость $\nu_{20}$ , мм <sup>2</sup> /с | Плотность $\rho_{4^{20}}$ , г/см <sup>3</sup> | Парафиновые (П), % | Нафтенные (Н), % | Ароматики (А), % | Фракционный состав, °C |                  |                  |
|-------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------|
|       |                                                                  |                                          |                                               |                    |                  |                  | t <sub>10%</sub>       | t <sub>50%</sub> | t <sub>90%</sub> |
| 1     | 2                                                                | 3                                        | 4                                             | 5                  | 6                | 7                | 8                      | 9                | 10               |
| 1     | Топливо расширенного фракционного состава ТУ 38.401500-84        | 6,0                                      | 0,811                                         | 46,0               | 40,0             | 14,0             | 100                    | 290              | 370              |
| 2     | Топливо утяжеленного фракционного состава (УФС), ТУ 38.001355-86 | 6,5                                      | 0,840                                         | 40,0               | 42,0             | 18,0             | 190                    | 290              | 380              |
| 3     | Топливо широкого фракционного состава (ШФС)                      | 5,5                                      | 0,790                                         | 39,2               | 42,8             | 18,0             | ПО                     | 250              | 340              |
| 4     | Топливо моторное марки ДТ, ГОСТ 1667-68                          | 4,4                                      | 0,930                                         | 38,0               | 36,0             | 26,0             | 255                    | 355              | 460              |
| 5     | Топливо газотурбинное (ТГВК), ГОСТ 10433-82                      | 3,6                                      | 0,860                                         | 39,0               | 39,0             | 32,0             | 210                    | 290              | 360              |
| 6     | Топливо дизельное марки «З», ГОСТ 305-82                         | 4,5                                      | 0,820                                         | 43,4               | 35,3             | 21,3             | 190                    | 280              | 340              |

Продолжение таблицы 1

|    |                                                       |      |       |      |      |      |     |     |     |
|----|-------------------------------------------------------|------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|
| 7  | Топливо дизельное марки «Л», ГОСТ 305-82              | 6,0  | 0,835 | 41,0 | 40,0 | 19,0 | 180 | 250 | 360 |
| 8  | Синтетическое жидкое дизельное топливо (СЖТ) из углей | 6,2  | 0,842 | 33,4 | 26,4 | 40,2 | 196 | 252 | 315 |
| 9  | Топливо судовое маловязкое (СМТ), ТУ 38.101567-87     | 11,4 | 0,890 | 32,4 | 38,8 | 28,8 | 240 | 345 | 400 |
| 10 | Опытное №1 СМТ (БашНИИ НП)                            | 4,8  | 0,845 | 32,4 | 30,5 | 28,9 | 205 | 285 | 355 |
| 11 | Опытное №2 СМТ (БашНИИ НП)                            | 2,8  | 0,812 | 48,2 | 30,5 | 11,3 | ПО  | 295 | 360 |
| 12 | Опытное №3 СМТ (БашНИИ НП)                            | 9,2  | 0,880 | 22,8 | 27,1 | 50,1 | 255 | 350 | 380 |
| 13 | Опытное №4 СМТ (БашНИИ НП)                            | 5,5  | 0,838 | 34,8 | 24,0 | 41,2 | 120 | 245 | 335 |
| 14 | Газовый конденсат (ГК) (Вултыкское месторождение)     | 1,7  | 0,730 | 70   | 18   | 12   | 70  | 147 | 350 |
| 15 | Газовый конденсат (ГК) (Оренбургское месторождение)   | 1,2  | 0,740 | 70   | 20   | 10   | 40  | 85  | 200 |

Показатели этих топлив влияют на процессы топливоподачи (величины цикловой подачи), а углеводородный и фракционный составы – на характер индикаторного процесса (скорость нарастания давления газов в цилиндре, «жесткость» цикла – динамику процесса сгорания).

Названные марки топлива отличаются себестоимостью производства и рекомендуются для применения в дизелях различного назначения (тепловозных, автотракторных, судовых и др.). Здесь следует заметить, что влияние фракционного состава топлива на рабочий процесс отдельного рассмотрения. Показатели ряда топлив и их фракционный состав определялись нами в топливной лаборатории Омского НПЗ.

Экспериментальное подтверждение влияния проанализированных свойств жидких топлив для дизелей было получено нами индицированием быстроходного дизеля 3Д6, установленного на стенде [6]. Двигатели этой размерности (96Ч15/18) используются на путевых машинах железнодорожного транспорта в комплектации под маркой 7Д6.

Совмещенные индикаторные диаграммы при оговоренных условиях представлены на рисунке 2. Индикаторные диаграммы фотографировались зеркальным фотоаппаратом на пленку с экрана низкочастотного осциллографа С1-19 с последующей обработкой. Методика и аппаратное обеспечение описаны ранее [6].

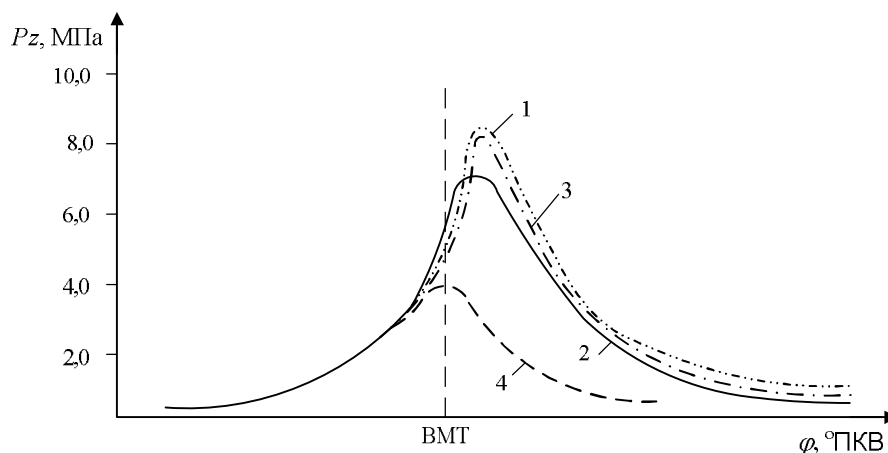


Рис. 2. Индикаторные диаграммы дизеля 6Ч 15/18 (7Д6) при работе на топливах с разными свойствами: вязкостью, плотностью, сжимаемостью при оптимальных углах опережения впрыска для каждой марки топлива, отличающегося фракционным составом:

1 – бензин; 2 – дизельное топливо; 3 – лигроин; 4 – диаграмма «чистого» сжатия

### Заключение

Таким образом, при разработке инженерных решений по переводу дизеля на другой сорт топлива необходимо расчётом [2,9] оценить влияние свойств топлива на мощностные и экономические показатели двигателя и выбрать технические решения по стабилизации процессов топливоподачи и сгорания применением эффективных устройств, корректирующих вязкость, плотность и сжимаемость топлива, например, вязкостного корректора ЦНИТА [1], серийного корректора (компенсатора) изменения максимальной мощности двигателя в зависимости от плотности топлива фирмы American BOSCH [1,10,11]; корректора конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумана; автоматического корректора ЧТЗ; двух- и трёхпозиционных муфт [1]; а также использовании смесей топлив [3,11,12] с целью приближения названных параметров топлива к таковым для топлива по ГОСТ 305-82.

### Библиографический список

1. Марков, В.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах [Текст] / В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко. – М.: Легион-Авто дата, 2008. – 464 с.
2. Ведрученко, В.Р. Особенности развития процессов воспламенения и сгорания дистиллятных и тяжёлых топлив в тепловозных и судовых дизелях [Текст] / В.Р. Ведрученко // Двигателестроение. – 1998. – №2. – С. 24-26.
3. Колупаев, В.Я. Анализ влияния температуры на физические характеристики автотракторного дизельного топлива / В.Я. Колупаев // Труды ЦНИТА. – 1963. – Вып. 19. – С. 59-67.
4. Астахов, В.И. Подача и распыливание топлива в дизелях / В.И. Астахов, В.И. Трусов, А.С. Хачинян и др. – М.: Машиностроение, 1971. – 359 с.
5. Фомин, Ю.Я. Гидродинамический расчёт топливных систем дизелей с использованием ЭЦВМ / Ю.Я. Фомин. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
6. Ведрученко, В.Р. Методика индирования среднеоборотного судового дизеля / В.Р. Ведрученко // Передовой опыт и новая техника. – М.: ЦБНТИ МРФ, 1981. – вып. 4. – С. 37-41.
7. Прокопенко, Н.И. Экспериментальные исследования двигателей внутреннего сгорания / Н.И. Прокопенко. – СПб: Лань, 2010. – 592 с.
8. Ведрученко, В.Р. Расчёт процесса топливоподачи тепловозного дизеля на маловязких топливах [Текст] / В.Р. Ведрученко, В.В. Крайнов, Н.В. Жданов / Известия Транссиба // Омский государственный университет путей сообщения. Омск. – 2015. – №2 (22). – С. 68-72.
9. Колупаев, В.Я. Взаимосвязь основных физических свойств автотракторных топлив и зависимость их от давления и температуры / В.Я. Колупаев // Труды ЦНИТА. – 1966. – Вып. 30 – С. 7-18.

10. Ведрученко, В.Р. Особенности эксплуатации судовых дизелей на топливах разного состава / В.Р. Ведрученко // Химия и технология топлив и масел. – 1992. – №11. – С. 14-15.

11. Лышевский, А.С. Зависимость вязкости дизельного топлива от давления / А.С. Лышевский // Труды Новочеркасского политехнического института. – 1955. – Вып. 30(44). – С. 225-228.

12. Володин, А.И. Топливная экономичность силовых установок тепловозов [Текст] / А.И. Володин, Г.А. Фофанов. – М.: Транспорт, 1979. – 126 с.

### THE INFLUENCE OF PROPERTIES OF DIFFERENT BRANDS OF FUEL FOR DIESEL ENGINE ON CHARACTERISTICS OF FUEL FEEDING

V.R. Vedruchenko, V.V. Krainov, P.V. Litvinov

**Abstract.** The analysis of the influence of the basic physical properties of the different brands of fuels for diesel engine for fuel feed processing in high pressure systems. It shows the effect of fuel properties on the indicator chart by indexing experiment. We offer the most effective solutions, allowing diesel fuel to ensure stable performance when using fuels with different properties.

**Keywords:** fuel, fuel feed, brand, stabilization, indexes.

### References

1. Markov V.A., Gaivoronsky A.I., Grehov L.V., Ivaschenko N.A. *Rabota dizelei na netrditsionnih toplivah* [Work of diesel engines on unconventional fuels]. Moscow, Legion-Avto data, 2008. 464 p.
2. Vedruchenko V.R. *Osobennosti razvitiya processov vosplameneniya i sgoraniya distillyatnih i tyazhelyih* [Features of development of processes of ignition and combustion of distillate and heavy fuel in the locomotive and marine diesels]. *Dvigatelistroenie*, 1998, no 2. pp. 24-26.
3. Kolupaev V.Y. *Analiz vliyaniya temperatury na fizicheskie harakteristiki avtotraktornogo dizelnogo topliva* [Analysis of the effect of temperature on the physical characteristics of autotractor diesel fuel]. *Trud CNITA*, 1963. Rel. 19. pp. 59-67.
4. Astakhov V.I., Trusov V.I., Khachinian A.S. *Podacha i raspylivanie topliva v dizelyah* [Supply and atomization of the fuel in diesel engines]. Moscow, Mashinostroenie, 1971. 359 p.
5. Fomin Y.Y. *Gidrodinamicheskii raschet toplivnykh system dizelei s ispolzovaniem ECVM* [The Hydrodynamic calculation of diesel fuel systems with the use of computers]. Moscow, Mashinostroenie, 1973. 144 p.
6. Vedruchenko V.R. *Metodika indicirovaniya sredneoborotnogo sudovogo dizelya* [Methods of indexing medium-speed marine diesel engine]. *Peredovoi opyt i novaya tehnika*. Moscow, CBNTI, 1981. Rel. 4. pp. 37-41.
7. Prokopenko N.I. *Ekspereimetalnie issledovaniya dvigatelei vnutrennego sgoraniya* [The experimental researches of internal combustion engines]. St. Petersburg, Lan, 2010. 592 p.

8. Vedruchenko V.R., Krainov V.V., Zhdanov N.V. Raschet processa toplivopodachi teplovoznogo dizelya na malovyazkih toplivakh [The calculation process of fuel diesel locomotives fuels to low-viscosity]. *Izvestia Transsiba*, 2015, no 2(22). pp. 68-72.

9. Kolupaev V.Y. Vzaimosvyaz osnovnih fizicheskikh svoystv avtotraktorov topliv I zavisimost ih ot davleniya I temperature [Interconnection of the basic physical properties of automotive fuels and their dependence on pressure and temperature]. *Trudi CNITA*, 1966, Rel. 30. pp. 7-18.

10. Vedruchenko V.R. Osobennosti ekspluatatsii sudovyyih dizelei na toplivah raznogo sostava [Features of operation of marine diesel engines on fuels of different composition]. *Chemistry and technology of fuels and oils*, 1992, no11. pp. 14-15.

11. Lyishevsky A.S. Zavisimost vyazkosti dizelnogo topliva ot davleniya [The dependence of the viscosity of diesel fuel from the pressure]. *Trudi Novocherkasskogo Politehnicheskogo Instituta*, 1955, Rel. 30(44). pp. 225-228.

12. Volodin A.I., Fofanov G.A. *Toplivnaya ekonomichnost silovyyih ustanovok teplovoznov* [The fuel efficiency of diesel power plants]. Moscow, Transport, 1979. 126 p.

Ведрученко Виктор Родионович (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика» ФГБОУ

ВО ОмГУПС (644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, e-mail: vedruchenko@mail.ru).

Крайнов Василий Васильевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика» ФГБОУ ВО ОмГУПС (644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, e-mail: krainovVV@omgups.ru).

Литвинов Павел Васильевич (Омск, Россия) – аспирант очной формы обучения кафедры «Теплоэнергетика» ФГБОУ ВО ОмГУПС (644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, e-mail: meduator-lpv1992@mail.ru).

Victor R. Vedruchenko (Omsk, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, department of Heat Energy, Omsk State Transport University (644046, Marks avenue, 35, Omsk, e-mail: vedruchenko@mail.ru).

Vasily V. Krainov (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, associate professor, department of Heat Energy, Omsk State Transport University (644046, Marks avenue, 35, Omsk, e-mail: krainovVV@omgups.ru).

Pavel V. Litvinov (Omsk, Russian Federation) – post graduate student of the Heat Energy Department of the Omsk State Transport University (644046, Marks avenue, 35, Omsk, e-mail: meduator-lpv1992@mail.ru).

УДК 330.1 (470)

## СОЦИОПРИРОДОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА ДОСТАВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

В.А. Корчагин<sup>1</sup>, Е.В. Сливинский<sup>2</sup>, Ю.Н. Ризаева<sup>1</sup>, С.Н. Сухатерина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк;

<sup>2</sup>Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Россия, г. Елец.

**Аннотация.** Рассмотрены методология, принципы формирования и функционирования в социоэкологокультурном ключе открытых социоприродоэкономических транспортных систем (СПЭТС) доставки сельскохозяйственной продукции. В качестве научной базы предлагается использовать структурный и функциональный аспекты, системный анализ и логистический подход для планирования доставки сельскохозяйственной продукции в динамично изменяющихся условиях с учетом интересов окружающей природной среды до принятия управленческих решений по повышению эффективности перевозок на основе целостности производственного процесса и единства транспортной системы.

**Ключевые слова:** природа, человек, транспортная система, продукция, целостность.

### Введение

Проблема обеспечения эффективного управления системой транспортировки сельскохозяйственной продукции является актуальной и важной, требует своего научного осмысления и практического решения.

В настоящее время нет научного инструментария управления доставкой сельскохозяйственной продукции на основе биосферно-совместимого критерия [1], отсутствует научно-практическая методика управления процессом доставки продукции. Для решения указанных задач требуются