

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-941-950

## TECHNOLOGY OF FUELS MAGNETIC PROCESSING FOR DIESEL ENGINES OF FISHING AND TRANSPORT VESSELS

**N. A. Pivovarova, A. F. Dorokhov, R. Velez Parra**

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

*Priority task when using ship motor fuel is reduction of its consumption and reduction of harmful emissions into the environment. For the fishery fleet the share of fuel costs in the prime cost structure of extracted fish often exceeds 40%. Exhaust fumes contain products of uncomplete combustion of fuel: carbon monoxide, unburned hydrocarbons, soot particles.*

*Along with traditionally used physical and chemical methods of fuel preparation wave influences are also applied. One of the most effective, available and inexpensive methods of wave effects of processing is magnetic processing, i.e. exposure to a moving fluid flow by a constant magnetic field.*

*The purpose of this work is to reduce fuel consumption and carbon monoxide concentrations in exhaust gases by means of constant magnetic field action on the diesel fuel flow in the interval of magnetic field induction of 0.10 - 0.25 T and a linear flow velocity of 0.15-1.1 m/s at triple intersection of active zones by fuel.*

*The results of experimental studies of influencing the magnetic processing of diesel fuel on engine operation indicators carried out on a test bench on the full-size diesel engine are considered. Magnetic processing is carried out in a three-section magnetic tunnel.*

*The method of mathematical planning of experiment according to the scheme of the orthogonal plan of the second order has been applied to determine the optimal parameters of magnetic processing. It has been established that fuel consumption under optimal conditions corresponds to 5% of fuel economy compared with the raw fuel consumption, at the same time the carbon monoxide content in the exhaust gases decreases by 1.7 times. Values of the varied parameters make 0.18 T and 0.7 m/s.*

*Observed effects are explained by the fact that the influence of constant magnetic field on moving fuel flow is resulted by change of its disperse structure that leads to reduction of viscosity, density, superficial tension, flash temperature and other indicators. This, in turn, contributes to the formation a highly dispersed fuel-air mixture and a more complete combustion of hydrocarbons, as a result of which the fuel consumption and the content of carbon monoxide in the exhaust gases are reduced.*

*Keywords: ship fuel, diesel fuel, fuel consumption, exhaust gases, magnetic processing.*

### **For citation:**

Pivovarova, Nadezhda A., Aleksandr F. Dorokhov, and Rikardo Velez Parra. "Technology of fuels magnetic processing for diesel engines of fishing and transport vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): 941–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-941-950.

УДК 665.753.4.004.18:[621.436]

## ТЕХНОЛОГИЯ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ТОПЛИВ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ

**Н. А. Пивоварова, А. Ф. Дорохов, Р. Велес Парра**

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,  
Астрахань, Российская Федерация

*Отмечается, что приоритетной задачей при использовании судового моторного топлива является уменьшение его расхода и снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду. Для рыбопромыслового флота доля затрат на топливо в структуре себестоимости добываемой рыбы зачастую превышает 40 %. Выхлопные газы содержат продукты неполного сгорания топлива: монооксид углерода, несгоревшие углеводороды и сажевые частицы. Наряду с традиционно используемыми физическими и химическими методами подготовки топлива применяют волновые воздействия. Одним из наиболее эффективных,*

доступных и недорогих методов волновых воздействий обработки является магнитная обработка, т. е. воздействие постоянным магнитным полем на поток движущейся жидкости.

Целью настоящей работы является снижение расхода топлива и концентрации монооксида углерода в отработавших газах посредством воздействия постоянного магнитного поля на поток дизельного топлива в интервале индукции магнитного поля 0,10–0,25 Тл и линейной скорости потока 0,15–1,1 м/с при трехкратном пересечении топливом активных зон. Рассмотрены результаты экспериментальных исследований влияния магнитной обработки дизельного топлива на показатели работы двигателя, проведенных на испытательном стенде. Предварительная магнитная обработка была проведена в трехсекционном магнитном туннеле. Для определения оптимальных параметров магнитной обработки был применен метод математического планирования эксперимента по схеме ортогонального плана второго порядка. Установлено, что расход топлива при оптимальных условиях соответствует 5 % экономии топлива по сравнению с расходом необработанного топлива, при этом содержание монооксида углерода в отработавших газах уменьшается в 1,7 раза. Значение варьируемых параметров составляет 0,18 Тл и 0,7 м/с. Доказано, что наблюдаемые эффекты объясняются тем, что в результате воздействия постоянного магнитного поля на движущийся поток топлива происходит изменение его дисперсной структуры, что ведет к уменьшению вязкости, плотности, поверхностного натяжения, температуры вспышки и других показателей, а это, в свою очередь, способствует образованию высокодисперсной топливо-воздушной смеси и более полному горению углеводородов, в результате снижается расход топлива и содержание монооксида углерода в отработавших газах.

*Ключевые слова:* судовое топливо, дизельное топливо, расход топлива, выхлопные газы, магнитная обработка.

**Для цитирования:**

Пивоварова Н. А. Технология магнитной обработки топлив для дизелей рыбопромысловых и транспортных судов / Н. А. Пивоварова, А. Ф. Дорохов, Р. Велес Парра // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 941–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-941-950.

## Введение (Introduction)

Приоритетной задачей при использовании судового моторного топлива является уменьшение его расхода и снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду. Отработавшие газы содержат несгоревшие углеводороды и продукты поликонденсации ароматических структур, которые обладают канцерогенным действием, сажевые частицы, монооксид углерода и др. Топливо также может содержать механические примеси, загрязняющие его в процессе хранения, транспортировки, слива-налива и в других случаях, способных вызвать эрозию, абразивный износ и нестабильную работу двигателя.

Высокий расход топлива ухудшает экономические показатели работы двигателя, увеличивает транспортные расходы и, соответственно, приводит к удорожанию всех работ, связанных с эксплуатацией транспорта. Для рыбопромыслового флота доля затрат на топливо в структуре себестоимости добываемой рыбы достигает 43 % [1]. Поэтому совершенствование топливосберегающих технологий в судовых энергетических установках имеет значительный экономический и социальный эффект. Для улучшения работы дизельного двигателя используют различные химические и физические методы. Химические методы заключаются во введении в топливо присадок на том или ином этапе производства или эксплуатации. Разработаны присадки с различными функциями, которые снижают испаряемость, улучшают низкотемпературные свойства топлива, интенсифицируют процесс сгорания, а также снижают выбросы экологически опасных веществ. Многие из них вводят на стадии производства топлив, некоторые — непосредственно перед подачей топлива к двигателю, например, антикоррозионные, диспергирующие и др. Наряду с очевидными преимуществами химического метода, обнаружены и его недостатки. Стоимость присадок весьма высока, их взаимодействие с топливом может иметь побочные эффекты, так же, как и образование новых продуктов сгорания.

Физические методы являются безреагентными и заключаются в отстаивании, центрифугировании и фильтровании топлив, которые позволяют избавиться от взвешенных частиц механических примесей и воды. Наряду с традиционно используемыми физическими методами подготовки

топлива применяют волновые воздействия. Одним из наиболее эффективных, доступных и недорогих методов волновых воздействий обработки является *магнитная обработка*, представляющая воздействие постоянным магнитным полем на поток движущейся жидкости. В литературе наряду с термином «магнитная обработка» встречаются также такие, как «омагничивание», «активация», «кондиционирование», «индуцирование» и др. Прибор, создающий магнитное поле, называют магнетизатором, магнитным устройством, магнитным активатором, магнитным кондиционером, магнетоном и даже катализатором, хотя последнее определение, скорее, образное.

Проводятся многочисленные исследования по поиску оптимальных режимов, конструкций, комбинаций воздействия постоянным магнитным полем на топлива, используемые на автотранспорте и судовых дизелях, в частности на дистиллятные дизельные топлива. Так, воздействие постоянным магнитным полем на дизельное топливо привело к уменьшению его расхода на 2–20 % [2]–[17] и увеличению тепловой эффективности двигателя на 5 % [3], [4]. Авторы работы [3] отмечают, что эффект от магнитной обработки увеличивается по мере роста магнитной индукции от 0,8 – 1,1 Тл, причем наибольший эффект достигается при невысоких нагрузках мотора. Интересные результаты получены в источнике [6] при исследовании магнитной обработки смешанного биодизельного топлива: при прочих равных условиях, по мере увеличения доли биодизеля в смеси от 0 до 20 % эффект от обработки возрос в несколько раз.

Плотность отработавших газов уменьшается на 15 % [3]. В многочисленных источниках [2]–[14] отмечается, что в составе отработавших газов содержание монооксида углерода уменьшается на 4–30 %, несгоревших углеводородов — на 27–30 %. В описании эффектов «индукционного катализатора» [15] эти величины еще больше — в 3–4 раза соответственно, а данные по количеству окислов азота расходятся принципиально. Так, результаты исследований [2], [4] показали, что содержание окислов азота в составе отработавших газов возросло на 18–20 %, авторы источника [9] отмечают отсутствие изменений в концентрации  $\text{NO}_x$ , а в работах [5], [6] приведены данные об их уменьшении на 1,5–5 %, в то время как авторами работ [8], [15] обнаружено более резкое снижение окислов азота — на 25–28 %. Как показано в работах [10], [11], в зависимости от нагрузки двигателя и места установки магнитного устройства содержание оксидов азота в топливе может изменяться как в сторону увеличения, так и уменьшения. Такой разброс в эффектах магнитной обработки объясняется тем, что подходы, терминология, методы и критерии оценки зачастую значительно отличаются, а некоторые исследования дублируются из-за недостаточной осведомленности их авторов об уже представленных в научной литературе результатах. Строгое сравнение результатов затруднительно, так как об условиях проведения экспериментов в открытых источниках приводится отрывочная информация.

*Целью настоящей работы* является снижение расхода дизельного топлива и концентрации монооксида углерода в отработавших газах посредством воздействия постоянного магнитного поля на поток топлива в интервале индукции магнитного поля 0,10–0,25 Тл и линейной скорости потока 0,15–1,1 м/с при трехкратном пересечении топливом активных зон.

### **Методы и материалы (Methods and materials)**

Основными параметрами воздействия постоянного магнитного поля на поток жидкости (магнитной обработки), оказывающими влияние на ее эффективность, являются: магнитная индукция, скорость потока в активной зоне, количество пересечений магнитного поля, величина активного зазора, а также температура среды. На практике значение магнитной индукции изменяют от 0,05 Тл до 1,3 Тл. Величина зазора колеблется от 3 до 20 мм, количество активных зон — от 2 до 4. Скорость пересечения жидкости активного зазора составляет от десятых до сотых доли метра до нескольких метров в секунду. Соответственно время пребывания в активном зазоре может изменяться от долей секунд, до нескольких минут. Важным моментом является условие перпендикулярного пересечения линий магнитного поля и направления потока жидкости.

В настоящее время, ввиду дефицита современных отечественных судовых дизелей, получила распространение практика конвертирования автотракторных дизелей в судовые, в том числе

двигателей КАМАЗ. Конвертирование производится на судоремонтных заводах по технологии, одобренной Российским морским регистром судоходства и Российским речным регистром. Экспериментальные исследования влияния магнитной обработки дизельного топлива на показатели работы двигателя проводили на испытательном стенде КИ-5540 М, оборудованном двигателем КАМАЗ-740 при следующих условиях: скорость вращения коленчатого вала 2200–2300 мин<sup>-1</sup>, нагрузка на двигатель 386,9–369,1 Н·м. Физико-химические свойства дизельного топлива приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Физико-химические свойства дизельного топлива**

№ п. п.	Наименование	Значение
1	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	849
2	Температура воспламенения, °С	72
3	Цетановое число	54
4	Вязкость кинематическая при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,22
5	Фракционный состав, выкипает при, °С:	
	Начало кипения	184
	10 % об.	218
	20 % об.	238
	50 % об.	284
	96 % об.	357
	Конец кипения	362
6	Кислотность, мг/ КОН на 100 см <sup>3</sup> топлива	3,2
7	Коксуемость 10 % остатка, % мас.	0,028
8	Содержание серы, % мас.	0,44
9	Цвет в единицах ЦНТ	2,0

Для магнитной обработки использовали трехсекционный магнетизатор — электромагнитный туннель [18], который был установлен на входе в насос высокого давления. Индукцию магнитного поля изменяли путем регулирования силы тока через обмотку электромагнитного туннеля, линейную скорость потока в активном зазоре — изменением сечения диаметра топливопровода.

Для определения оптимальных параметров магнитной обработки был применен *метод математического планирования эксперимента по схеме ортогонального плана второго порядка*. Основной уровень, интервалы варьирования и границы области исследования приведены в табл. 2, в табл. 3 приведена матрица планирования ортогонального плана второго порядка.

В качестве параметров оптимизации были выбраны расход топлива и содержание монооксида углерода в выхлопных газах. Расход топлива измеряли объемный методом, с точностью до одной сотой дм<sup>3</sup>/ч. Содержание монооксида углерода в отработавших газах определяли с помощью газоанализатора Автотест-02.02.П с погрешностью измерения 3 % отн. Каждое измерение проводили не менее трех раз. Результат определяли как среднее арифметическое трех измерений.

Таблица 2

**Основной уровень, интервалы варьирования и границы области исследования**

Факторы	Индукция магнитного поля, Тл	Скорость потока через магнитное поле, м/с
Обозначение в безразмерной системе координат $X_i$	$X_i$	$X_2$
Нижний уровень (-1)	0,10	0,15
Основной уровень (0)	0,175	0,61
Верхний уровень (+1)	0,25	1,08
Интервал варьирования $\Delta X_i$	0,075	0,465

Таблица 3

**Матрица планирования ортогонального плана второго порядка**

Номер опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$X_1^2-2/3$	$X_2^2-2/3$
1	+1	-1	-1	+1	1/3	1/3
2	+1	+1	-1	-1	1/3	1/3
3	+1	-1	+1	-1	1/3	1/3
4	+1	+1	+1	+1	1/3	1/3
5	+1	+1	0	0	1/3	-2/3
6	+1	-1	0	0	1/3	-2/3
7	+1	0	+1	0	-2/3	1/3
8	+1	0	-1	0	-2/3	1/3
9	+1	0	0	0	-2/3	-2/3

**Результаты (Results)**

Экспериментальные исследования влияния параметров магнитной обработки (магнитной индукции и линейной скорости потока через активный зазор) в соответствии с планом (см. табл. 3) показали результаты, приведенные в табл. 4. После отсева незначимых коэффициентов по критерию Стьюдента получили уравнение регрессии второго порядка:

$$Y_p = 26,56 - 0,15X_2 - 0,14X_1X_2 + 0,28X_1^2 + 0,53X_2^2. \quad (1)$$

Для определения условий минимального значения расхода топлива ( $Y_{\min}$ ) был найден центр поверхности отклика. Координаты центра  $S$  следующие:

$$\partial Y_p / \partial X_1 = -0,14X_2 + 0,56X_1 = 0; \quad (2)$$

$$\partial Y_p / \partial X_2 = -0,15 - 0,14X_1 + 1,06X_2 = 0. \quad (3)$$

Таким образом,  $X_{1S} = 0,037$  и  $X_{2S} = 0,146$ .

Таблица 4

**Результаты экспериментов по оптимизации режима магнитной обработки по критерию расхода топлива**

Номер опыта	$Y_{i1}$	$Y_{i2}$	$Y_{i3}$	$Y_{icp}$	$Y_{ip}$	$(Y_{icp} - Y_{ip})^2$
1	27,3	27,1	27,3	27,2	27,4	0,023
2	27,8	27,8	28,0	27,9	27,5	0,044
3	27,1	27,1	27,3	27,2	27,4	0,032
4	27,2	27,3	27,3	27,3	27,1	0,032
5	26,6	26,7	26,7	26,7	26,8	0,036
6	26,8	27,0	27,2	27,0	26,8	0,023
7	26,9	27,0	26,9	27,0	26,9	0,000
8	26,9	27,1	27,5	27,2	27,2	0,003
9	26,7	26,5	26,7	26,6	26,6	0,004

$Y_{i1}-Y_{i3}$  — результаты параллельных определений расхода топлива,  $dm^3/ч$ ;

$Y_{icp}$  — среднее арифметические значения расхода топлива,  $dm^3/ч$ ;

$Y_{ip}$  — расчетные значения расхода топлива,  $dm^3/ч$ .

Поверхность отклика — это эллиптический параболоид с минимумом в точке  $S$ . В сечениях поверхности плоскостями  $Y = const$  наблюдаются эллипсы (изолинии расхода топлива) с поворотом осей координат вследствие наличия эффекта взаимодействия  $X_1X_2$  (рис. 1).

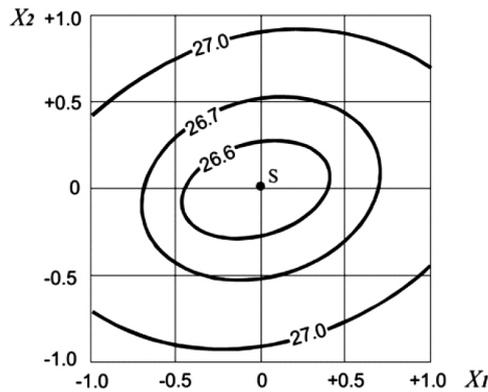


Рис. 1. Изолинии расхода дизельного топлива:  
 $X_1$  — фактор магнитной индукции;  
 $X_2$  — фактор скорости потока через магнитное поле

Расход топлива при оптимальных условиях ( $Y_{pS} = 26,6$  дм<sup>3</sup>/ч) соответствует 5 % экономии топлива по сравнению с расходом необработанного топлива. Значение исследуемых факторов в натуральном масштабе составляет 0,18 Тл и 0,7 м/с. Аналогичным образом изучено влияние указанных факторов магнитной обработки на содержание СО в отработавших газах (параметр оптимизации). В табл. 2, 3 и 5 приведены, соответственно, основной уровень, интервалы варьирования и границы области исследования, матрица планирования ортогонального плана второго порядка и результаты экспериментов. Содержание монооксида углерода в отработавших газах необработанного дизельного топлива составило 1,71 % об.

Таблица 5

**Результаты экспериментов по оптимизации режима магнитной обработки по критерию содержания монооксида углерода в отработавших газах**

Номер опыта	$Z_{i1}$	$Z_{i2}$	$Z_{i3}$	$Z_{cpi}$	$Z_{pi}$	$(Z_{cpi} - Z_{pi})^2$
1	1,62	1,54	1,42	1,53	1,61	0,0068
2	1,81	1,98	1,77	1,85	1,76	0,0091
3	1,64	1,43	1,49	1,52	1,60	0,0067
4	1,44	1,69	1,52	1,55	1,45	0,0093
5	1,25	1,04	1,15	1,15	1,24	0,0094
6	1,21	1,30	1,43	1,31	1,24	0,0049
7	1,38	1,17	1,25	1,27	1,28	0,0002
8	1,53	1,31	1,43	1,42	1,44	0,0002
9	1,01	0,92	1,13	1,02	1,00	0,0007

После отсева незначимых коэффициентов по критерию Стьюдента получили уравнение регрессии второго порядка:

$$Z_{cp} = 0,998 - 0,078X_2 - 0,074X_1X_2 + 0,247X_1^2 + 0,362X_2^2. \quad (4)$$

Для определения условия минимального значения расхода топлива ( $Z_{мин}$ ) был найден центр поверхности отклика (рис. 2). Координаты центра  $S$  следующие:

$$\partial Z_p / \partial X_1 = -0,074X_2 + 0,494X_1 = 0; \quad (5)$$

$$\partial Z_p / \partial X_2 = -0,078 - 0,074X_1 + 0,724X_2 = 0. \quad (6)$$

Таким образом,  $X_{1S} = 0,026$  и  $X_{2S} = 0,174$ .

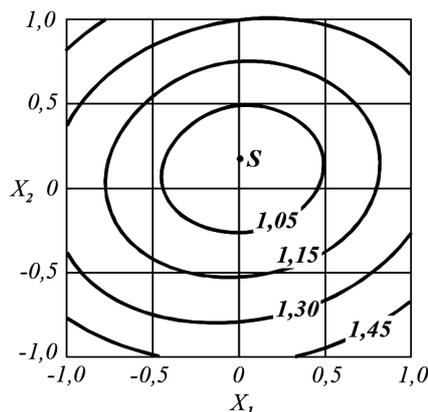


Рис. 2. Изолинии содержания монооксида углерода в выхлопных газах:

$X_1$  — фактор магнитной индукции;  
 $X_2$  — фактор скорости потока через магнитное поле

Как и в предыдущем случае, поверхность отклика является эллиптическим параболоидом с минимумом в точке  $S$  с поворотом осей координат вследствие наличия эффекта взаимодействия  $X_1X_2$  (см. рис. 2). При оптимальных условиях магнитной обработки ( $Z_{pS} = 1,00$  % об.) содержание монооксида углерода снижается в 1,7 раза по сравнению с тем же показателем для необработанного топлива. Значение исследуемых факторов в натуральном масштабе составляет 0,18 Тл и 0,7 м/с.

### Обсуждение (Discussion)

Для объяснения влияния постоянного магнитного поля на нефтяные системы и, в частности, на топливо, существует практически единая точка зрения: магнитная обработка снижает плотность, вязкость, поверхностное натяжение и увеличивает степень дисперсности дизельного топлива. Так, например, авторы публикации [2] наблюдали снижение плотности топлива после магнитной обработки с 826,44 до 824,67 кг/м<sup>3</sup>, а теплота сгорания увеличивалась с 42223,52 до 42408,55 кДж/кг. Уменьшение поверхностного натяжения достигает 10 % [15], что, в свою очередь, приводит к образованию более мелких капель в топливовоздушной смеси, облегчает процессы распада топливных струй, испарения капель топлива, их смесеобразование с горячей и движущейся газовой средой, способствуя более полному горению топливно-воздушной смеси. В результате снижаются расход топлива и выброс продуктов неполного сжигания: монооксида углерода и несгоревших углеводородов.

При рассмотрении механизма действия постоянного магнитного поля основное противоречие заключается в том, что в одних работах нефтепродукты рассматриваются как зарядовые коллоидные системы, в других — как нефтяные дисперсные системы (НДС), где межмолекулярные взаимодействия (ММВ) определяются обменными взаимодействиями между нейтральными частицами-радикалами или радикалполяризованными частицами. Так, например, полярно-зарядовый подход использован в работе, авторы которой [16] считают, что в дизельном топливе имеются полярные компоненты, подверженные при движении в постоянном магнитном поле силе Лоренца. Действие этой силы, как известно, направлено перпендикулярно вектору движения заряженной частицы по правилу Ленца. В результате плотные группы молекул (кластеры) разделяются на более мелкие и упорядоченные фрагменты. Явлением ионизации топлива объясняют в работах [3], [17] повышение эффективности сжигания топлива, его экономию и снижение выбросов в окружающую среду. Однако известно, что нефтепродукты, в частности дизельные топлива, состоят из углеводородных молекул, преимущественно содержащих длинные алифатические цепи. Эти молекулы нейтральны, а связи в них являются ковалентными, а не ионными, т. е. не имеющими зарядов. Отсутствие ионов или зарядово-полярных молекул в нефтяных системах доказано прямыми измерениями диэлектрической проницаемости и опытам по электрофорезу [19]. Таким

образом, постоянное магнитное поле в интервале применяемых магнитных индукций не влияет на молекулы топлива через силу Лоренца и не разрывает их на ионы.

Более обоснован механизм, согласно которому нефтяные топлива представляют собой сложную многокомпонентную нефтяную систему, проявляющую коллоидно-дисперсные свойства. Дисперсная фаза такой системы состоит из ядра, содержащего высокомолекулярные парафины и парамагнитные молекулы смол, адсорбированные на их поверхности. Парамагнетизм молекул обусловлен нескомпенсированными спинами электронов, что, в свою очередь, делает эти молекулы «чувствительными» к внешнему магнитному полю. Для средних нефтяных дистиллятов число парамагнитных центров оценивается в интервале  $10^{15}$ – $10^{16}$  спин/г, наличие гетероатомов и микроэлементов усиливает квантово-механические эффекты, так как большинство из них имеют значительное количество неспаренных электронов. Ядро дисперсной фазы окружено оболочкой, слои которой, по мере удаления от ядра, становятся менее парамагнитными, а силы межмолекулярного взаимодействия с ядром дисперсной частицы ослабевают. Дисперсионная среда образована из диамагнитных молекул [19].

Парамагнитные молекулы (их неспаренные спины) ориентируются во внешнем магнитном поле в направлении вектора поля. В постоянном магнитном поле это приводит к изменению взаимного расположения молекул из-за поворотов, деформации ассоциатов дисперсной фазы с потерей части внешних слоев и перехода их в дисперсионную среду. В результате такой перестройки возникает более упорядоченная сильно коррелированная организация дисперсной структуры с меньшими размерами частиц дисперсной фазы. Воздействие постоянного магнитного поля «фиксирует» новую структуру НДС, характеризующуюся большей гомогенностью и парамагнитной активностью, меньшей вязкостью и поверхностным натяжением.

### Заключение (Conclusion)

На основе экспериментальных исследований воздействия постоянным магнитным полем на поток дизельного топлива (0,1–0,25 Тл и 0,5–1,08 м/с) на стандартном стендовом двигателе с целью уменьшения расхода топлива и содержания монооксида углерода в отработавших газах получены следующие результаты:

1. Установлены оптимальные параметры магнитной обработки топлива перед подачей в дизельный двигатель по критериям минимального расхода топлива и содержания монооксида углерода в отработавших газах: индукция магнитного поля — 0,18 Тл, скорость потока в активном зазоре — 0,7 м/с.
2. Показано, что в результате магнитной обработки дизельного топлива при оптимальных условиях расход топлива уменьшается на 5 %, концентрация монооксида углерода в отработавших газах — в 1,7 раза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каленченко М. М. Экономическая эффективность использования российского рыбопромыслового флота в Баренцевом море / М. М. Каленченко, А. Н. Козловский, В. В. Шевченко; под ред. Е. Д. Красновой, В. А. Спиридонова и К. А. Згуровского. — М., 2007. — 53 с.
2. Ugare V. Performance of internal combustion (CI) engine under the influence of strong permanent magnetic field / V. Ugare, A. Dhoble, S. Lutade, K. Mudafale // Journal of Mechanical and Civil Engineering. — 2014. — Vol. 3. — Pp. 11–17.
3. Srinivas P. S. L. D. Performance and emission analysis of VCR diesel engine through fuel ionization under the influence of magnetic field / P. S.L.D Srinivas, A. R. Krishna, N. B. Dunna, A. S. V. Prasad // International journal of research. — 2018. — Vol. 7. — Is. VI. — Pp. 106–114.
4. Bhurat S. S. Magnetization of Diesel fuel for Compression Ignition Engine to Enhance Efficiency and Emissions / S. S. Bhurat, H. Sharma, A. K. Jha, K. K., Dixit, P. Shukla, R. Kunwer // International Journal of Applied Engineering Research. — 2018. — Vol. 13. — № 6. — Pp. 341–347.
5. Kurji H. J. Magnetic field effect on compression ignition engine performance / H. J. Kurji, M. S. Imran // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2018. — Vol. 13. — No. 12. — Pp. 3943–3949.
6. Gad M. S. Influence of magnetized waste cooking oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine / M. S. Gad // International Journal of ChemTech Research. — 2018. — Vol. 11. — No. 11. — Pp. 255–267.

7. Jain S. Experimental investigation of magnetic fuel conditioner (MFC) in IC engine / S. Jain, S. Deshmukh // IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). — 2012. — Vol. 2. — Is. 7. — Pp. 27–31.
8. Asthana A. Performance Evaluation of Sustainable Flow Motor stems Magnets on Fuel Consumption and Engine Emissions in IC Engines / A. Asthana. — Sheffield Hallam University, 2017. — 13 p.
9. Patel P. M. Effect of magnetic field on performance and emission of single cylinder four stroke diesel engine / P. M. Patel, G. P. Rathod, T. M. Patel // IOSR Journal of Engineering. — 2014. — Vol. 4. — Is. 5. — Pp. 28–34.
10. Arias Gilart R. Disminución de las emisiones de monóxido de carbono con el tratamiento magnético del combustible / R. Arias Gilart, M. Berenguer Ungaro, V. Nigorenko, A. José, Y. Silveira Font, C. E. Alfaro Rodríguez // Centro Azúcar. — 2018. — Vol. 45. — No. 1. — Pp. 21–31.
11. Arias Gilart R. Effect of different treatments with static magnetic fields on diésel fuel combustion / R. Arias Gilart, U. M. Berenguer, R. C. Alfaro, H. J. Falcón, S. M. Campos // 63-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвященная 25-летию Астраханского государственного технического университета; 22–26 апреля 2019 года [Электронный ресурс] № ГР 0321902695 Секции: «Химия и химическая технология» astu.org>Content/Page/5833.
12. Пивоварова Н. А. Магнитные технологии добычи и переработки углеводородного сырья / Н. А. Пивоварова. — М.: ООО «Газпромэкспо», 2009. — 120 с.
13. Пивоварова Н. А. Эффективные магнитные технологии для промышленной подготовки и транспортировки нефти и газа / Н. А. Пивоварова // Нефть. Газ, Новации. — 2018. — № 5. — С. 13–18.
14. Ciobanu R. System with permanent magnets used for magnetic treatment of fuel fluids / R. Ciobanu, O. Dontu, G. Gheorghe, Iu. Avarvarei, D. Besnea // Proceedings of International Conference On Innovations, Recent Trends And Challenges In Mechatronics, Mechanical Engineering And New High-Tech Products Development – MECANITECH'11. — 2011. — Vol. 3. — Pp. 211–214.
15. Магнитная обработка углеводородного топлива. Индукционный катализатор [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://wl-tech.ru/?page\\_id=10](http://wl-tech.ru/?page_id=10) (дата обращения: 01.09.2019).
16. Погорлецкий Д. С. Перспективы магнитной обработки углеводородных топлив на автотранспорте / Д. С. Погорлецкий, А. Б. Малыгин, А. В. Котыло // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. — 2013. — № 3. — С. 58–65.
17. Pat. 5271369 US, IPC F02B51/04; F02B77/04; F02M27/04. Fuel conditioning system for internal combustion engines / J.V. Melendrez. — № US19920820410; appl. 26.07.1990; publ. 21.12.1993.
18. Пат. 2167824 Российская Федерация, МПК C02F1/48. Магнитный туннель / Р. Велес Парра, Н. А. Пивоварова; заяв. и патентообл. Астраханский государственный технический университет. — № 98104229/12; завл. 05.03.1998; опубл. 27.05.2001, Бюл. №15.
19. Унгер Ф. Г. Фундаментальные и прикладные результаты исследования нефтяных дисперсных систем / Ф. Г. Унгер. — Уфа: Изд-во ГУП ИНХП РБ, 2011. — 264 с.

## REFERENCES

1. Kalenchenko, M. M., A. N. Kozlovskiy, and V. V. Shevchenko. *Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya rossiyskogo rybopro-myslovogo flota v Barentsevom more*. Edited by Ye.D. Krasnovoy, V.A. Spiridonova, and K.A. Zgurovskogo. M., 2007.
2. Ugare, Vivek, Ashwin Dhoble, Sandeep Lutade, and Krunal Mudafale. “Performance of internal combustion (CI) engine under the influence of strong permanent magnetic field.” *Journal of Mechanical and Civil Engineering* 3 (2014): 11–17.
3. Srinivas, Pitchuka SLD, A. Rama Krishna, Narendra Babu Dunna, and Adina S V Prasad. “Performance and emission analysis of VCR diesel engine through fuel ionization under the influence of magnetic field.” *International journal of research* 7.VI (2018): 106–114.
4. Bhurat, Swapnil Sureshchandra, Himanshu Sharma, Amrit Kumar Jha, Krishna Kant Dixit, Prashant Shukla, and Ram Kunwer. “Magnetization of Diesel fuel for Compression Ignition Engine to Enhance Efficiency and Emissions.” *International Journal of Applied Engineering Research* 13.6 (2018): 341–347.
5. Kurji, Hayder J., and Murtdha S. Imran. “Magnetic field effect on compression ignition engine performance.” *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 13.12 (2018): 3943–3949.
6. Gad, M. S. “Influence of magnetized waste cooking oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine.” *International Journal of ChemTech Research* 11.11 (2018): 255–267.

7. Jain, Shweta, and Suhas Deshmukh. "Experimental investigation of magnetic fuel conditioner (MFC) in IC engine." *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)* 2.7 (2012): 27–31.
8. Abhishek, Asthana. *Performance Evaluation of Sustainable Flow Motor stems Magnets on Fuel Consumption and Engine Emissions in IC Engines*. Sheffield Hallam University, 2017.
9. Patel, Piyush M., Gaurav P. Rathod, and Tushar M. Patel. "Effect of magnetic field on performance and emission of single cylinder four stroke diesel engine." *IOSR Journal of Engineering* 4.5 (2014): 28–34.
10. Arias Gilart, Ramón, Mónica Berenguer Ungaro, José A. Vázquez Nigorenko, Yadira Silveira Font, and Carlos E. Alfaro Rodríguez. "Disminución de las emisiones de monóxido de carbono con el tratamiento magnético del combustible." *Centro Azúcar* 45.1 (2018): 21–31.
11. Arias Gilart, R., U. M. Berenguer, R. C. Alfaro, H. J. Falcón, and S. M. Campos. "Effect of different treatments with static magnetic fields on diesel fuel combustion." *63-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, posvyashchennaya 25-letiyu Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. Astrakhan', 2019.
12. Pivovarova, N. A. *Magnetic technologies of extraction and processing of hydrocarbon raw materials*. M.: OOO Gazpromexpo, 2009.
13. Pivovarova, N. A. "Effective Magnetic Procedures for In-field Oil and Gas Treatment and Transportation." *OIL. GAZ. Novation* 5 (2018): 13–18.
14. Ciobanu, Robert, Octavin Dontu, Gheorghe Gheorghe, Iulian Avarvarei, and Daniel Besnea. "System with permanent magnets used for magnetic treatment of fuel fluids." *Proceedings of International Conference On Innovations, Recent Trends And Challenges In Mechatronics, Mechanical Engineering And New High-Tech Products Development – МЕСАHITECH'II*. Vol 3. 2011. 211–214.
15. Russian New Innovative Company, Ltd. Web. 1 Sept. 2019 <[http://wl-tech.ru/?page\\_id=10](http://wl-tech.ru/?page_id=10)>.
16. Pogorletskiy, D. S., A. B. Malygin, and A. V. Kotylo. "Perspektivy magnitnoy obrabotki uglevodorodnykh topliv na avtotransporte." *Visnik Donets'koї akademii avtomobil'nogo transportu* 3 (2013): 58–65.
17. Melendrez, Julian B. US5271369, IPC F02B51/04; F02B77/04; F02M27/04. Fuel conditioning system for internal combustion engines. US, assignee. Publ. 21 December 1993.
18. Veles Parra, R., and N.A. Pivovarova. RU 2 167 824 C02, IPC C02F1/48. Magnitnyy tunnel. Russian Federation, assignee. Publ. 27 May 2001.
19. Unger, F. G. *Fundamental'nye i prikladnye rezul'taty issledovaniya neftyanykh dispersnykh sistem*. Ufa: Izd-vo GUP INKHP RB, 2011.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Пивоварова Надежда Анатольевна** —  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный  
технический университет»  
414056, Российская Федерация, Астрахань,  
ул. Татищева, 16  
e-mail: [nadpivov@live.ru](mailto:nadpivov@live.ru)

**Дорохов Александр Фёдорович** —  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный  
технический университет»  
414056, Российская Федерация, Астрахань,  
ул. Татищева, 16  
e-mail: [dorokhovaf@rambler.ru](mailto:dorokhovaf@rambler.ru)

**Велес Парра Рикардо** —  
кандидат технических наук  
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный  
технический университет»  
414056, Российская Федерация, Астрахань,  
ул. Татищева, 16  
e-mail: [ric\\_velez@hotmail.com](mailto:ric_velez@hotmail.com)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Pivovarova, Nadezhda A.** —  
Dr. of Technical Sciences, professor  
Astrakhan State  
Technical University  
16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414025,  
Russian Federation  
e-mail: [nadpivov@live.ru](mailto:nadpivov@live.ru)

**Dorokhov, Aleksandr F.** —  
Dr. of Technical Sciences, professor  
Astrakhan State  
Technical University  
16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414025,  
Russian Federation  
e-mail: [dorokhovaf@rambler.ru](mailto:dorokhovaf@rambler.ru)

**Velez Parra, Rikardo** —  
PhD  
Astrakhan State  
Technical University  
16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414025,  
Russian Federation  
e-mail: [ric\\_velez@hotmail.com](mailto:ric_velez@hotmail.com)

Статья поступила в редакцию 3 сентября 2019 г.  
Received: September 3, 2019.