

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ АКТИВАТОРОВ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

А. П. КАРЛЮК, В. Н. ЕДНАЧ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220012, e-mail: karlyuk.aleksej@yandex.ru; val-ed@mail.ru

(Поступила в редакцию 26.03.2024)

В ходе данного исследования мы провели обширный и подробный анализ, чтобы изучить, насколько эффективно использование различных внешних методов с низкой энергетической интенсивностью может улучшить эксплуатационные характеристики дизельного топлива. Мы особо обратили внимание на применение магнитной активации с помощью неодимовых магнитов и провели оценку технико-экономических преимуществ такого подхода. Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой эффективности и перспективности использования магнитной активации для улучшения полноты сгорания и экономических характеристик дизельного топлива.

Наша цель в этом исследовании заключалась в определении оптимальных параметров магнитной активации для повышения энергетической эффективности дизельного топлива. Мы провели анализ воздействия различных факторов, таких как сила магнитного тока, частота и длительность обработки, на процесс магнитной активации. На основе полученных данных мы разработали технологию, которая позволяет определить наилучшие параметры для достижения максимального эффекта от магнитной активации.

Таким образом, в результате исследования была разработана технология для определения оптимальных магнетотропных параметров и предложены новые авторские конструкции магнитных активаторов, которые способствуют увеличению теплотворности дизельного топлива и повышению его эффективности в работе двигателей.

Ключевые слова: тепловые двигатели; дизельное топливо; теплотворная способность; молекулярные кластеры; диамагнетики; сила связи; малоэнергетические воздействия, неодимовый магнит; магнитная активация, вязкость.

In this study, we conducted an extensive and detailed analysis to examine how effectively the use of various low energy intensity external techniques can improve diesel fuel performance. We paid particular attention to the use of magnetic activation using neodymium magnets and assessed the technical and economic advantages of this approach. The results obtained allow us to conclude that the use of magnetic activation is highly effective and promising to improve the completeness of combustion and economic characteristics of diesel fuel.

Our goal in this study was to determine the optimal magnetic activation parameters to improve the energy efficiency of diesel fuel. We analyzed the impact of various factors, such as the strength of the magnetic current, frequency and duration of treatment, on the process of magnetic activation. Based on the data obtained, we have developed a technology that allows us to determine the best parameters to achieve the maximum effect from magnetic activation.

Thus, as a result of the research, a technology was developed to determine optimal magnetotropic parameters, and new proprietary designs of magnetic activators were proposed, which help to increase the calorific value of diesel fuel and increase its efficiency in engine operation.

Key words: heat engines; diesel fuel; calorific value; molecular clusters; diamagnetic materials; connection strength; low-energy effects, neodymium magnet; magnetic activation, viscosity.

Введение

В настоящее время, с развитием использования дизельного топлива в автотранспорте, возникает потребность в поиске новых подходов для повышения энергетической эффективности и снижения экологического воздействия дизельных двигателей. Это особенно важно учитывать в условиях ограниченности мировых запасов нефти [1].

В данном контексте использование магнитных активаторов становится одним из важных аспектов современности. Магнитные активаторы имеют способность воздействовать на молекулярную структуру дизельного топлива, что в итоге приводит к улучшению энергетических и экологических характеристик двигателей. Это особенно важно учитывать в условиях ограниченности мировых запасов нефти и увеличения потребления топливно-энергетических ресурсов.

Использование магнитных активаторов имеет потенциал для оптимизации процесса сгорания дизельного топлива внутри двигателя. Это приводит к увеличению его КПД и сокращению количества вредных веществ в отработанных газах. Магнитная активация обеспечит постоянную молекулярную структуру топлива, делая его более стабильным и эффективным. В результате происходит более полное сжигание топлива и эффективное использование полученной энергии.

С применением магнитных активаторов открываются результаты значительного улучшения состояния и экологических характеристик дизельных двигателей внутреннего сгорания. Этот решающий шаг в достижении топливной эффективности, который предполагает развитие и более эффективное использование ограниченных топливно-энергетических ресурсов.

Для улучшения технических характеристик двигателей, в том числе отремонтированных планируется использовать магнитные активаторы топлива.

Теплотворная способность является одним из основных показателей качества топлива. Она напрямую связана с полнотой сгорания топлива, что влияет на энергетическую и экологическую эффективность двигателей внутреннего сгорания.

Целью данного исследования является изучение эффективности активации топлива путем его физико-химической обработки с целью выделения дополнительной тепловой энергии. Это позволит повысить полноту сгорания топлива и снизить количество вредных компонентов в выхлопных газах.

Основная часть

Использование магнитной обработки или повышение эффективности жидких углеводородных топлив является наиболее надежным методом с точки зрения технико-экономических показателей. В различных областях деятельности, таких как медицина, экономическое хозяйство, промышленность, теплоэнергетика, коммунальное хозяйство и другие, уже имеется резерв опыта применения постоянных магнитных полей, созданных специальными устройствами, такими как магнетроны или магнитоактиваторы, которые работают на ферромагнитных элементах с различной физико-химической природой. [3, 4–7].

Применение магнитной обработки в нефтяных средах, основанное на «коллоидной теории», направлено на воздействие смолисто-асфальтеновых компонентов (САК) в нефти и нефтепродуктах. Такие компоненты представляют собой дополнительные микропримеси, которые обладают свободными поверхностными зарядами и могут взаимодействовать с внешним магнитным полем [6, 7].

Следовательно, основной целью повышения энергетической эффективности теплотворной способности топлива является дезагрегация молекулярных кластеров с целью извлечения малых молекул.

Следующим этапом в улучшении теплотворной способности топлива является диссоциация молекул на свободные радикалы и атомы. При воздействии оптимальных магнитных полей с учетом параметров, структура топлива меняется, что приводит к образованию различных радикалов. Жидкая фаза частично переходит в газообразную, водород высвобождается, метан превращается в метил, этан – в этил, бутан – в бутил и так далее. Целенаправленная настройка параметров магнитного процесса направлена на увеличение распространенной тепловой энергии путем обеспечения полного сгорания. Наша задача состоит в разделении кластеров на молекулы молекул и последующем разделении молекул на их части, что значительно улучшит теплотворные характеристики топлива. Разумное регулирование магнитных параметров срабатывание направлено на увеличение выделяемой тепловой энергии путем обеспечения полного сгорания [3]. В данном методе исследований мы применяем мощность магнитного поля (ЭМП) для разрушения кластеров и внутримолекулярных связей.

Основными экономическими химическими связями, которые дают информацию о геометрической протяженности и стабильности молекул, являются связи по длине, валентному углу и энергии связи. Измерение результатов процессов, исследование спектров и другие методы позволяют определить эти характеристики. [2]

На рис. 1 показаны этапы воздействия магнитного поля на единичный диполь.

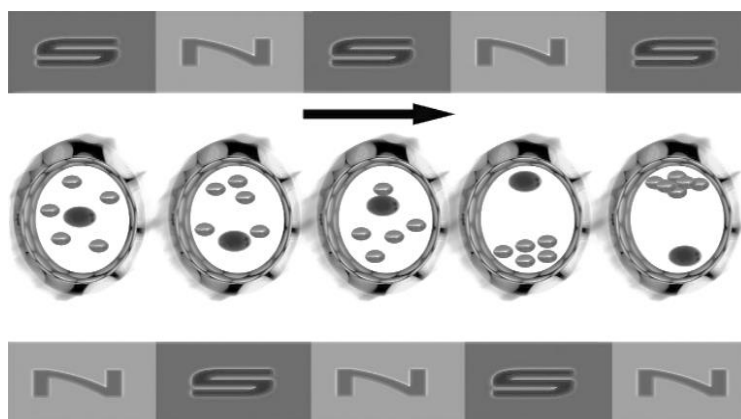


Рис. 1. Движение молекулы в переменном магнитном поле

Во-первых, магнитное поле эффективно нейтрализует электростатический заряд, который может накапливаться в топливных элементах, и изменяет его структуру.

Во-вторых, магнитное поле влияет на вязкость и другие связанные с ней параметры, такие как диэлектрическая проницаемость, поверхностное натяжение жидкости, константы горения и растворимость кислорода в топливе. Эти изменения в свойствах топлива могут существенно повлиять на его характеристики и процессы сгорания.

В-третьих, магнитное поле обеспечивает упорядочивание ориентаций спиновых и орбитальных моментов молекул, которые ранее находились в хаотическом состоянии.

В-четвертых, переменное магнитное поле вызывает переменные движения ассоциатов-кластеров, что приводит к их разрушению диполи. Эти диполи более эффективно участвуют в процессе горения. В результате таких процессов высвобождаются свободные радикалы и производятся компоненты молекул, что дополнительно обеспечивает теплотворную способность.

При разработке устройств для магнитного воздействия и в других исследованиях особое внимание уделяют следующим параметрам: индекс магнитного поля (ИМП); градиент распространения ИМП; время воздействия в ИМП; количество пересечений магнитных полей рассматриваемой жидкостью, вызывающей воздействие; скорость движения жидкости в магнитном поле [2].

В соответствии с теорией близкодействия, энергия магнитного поля (ЭМП) распределена по всему объему пространства V , в котором присутствует магнитное поле. ЭМП, содержащаяся в единичном объеме этого поля, называется объемной плотностью энергии магнитного поля w [7]:

$$w = \frac{W}{V} \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2}, \quad (1)$$

где B – магнитная индукция; Тл; μ_0 – магнитная постоянная; Гн/м; H – напряженность магнитного поля; А/м; μ – относительная магнитная проницаемость.

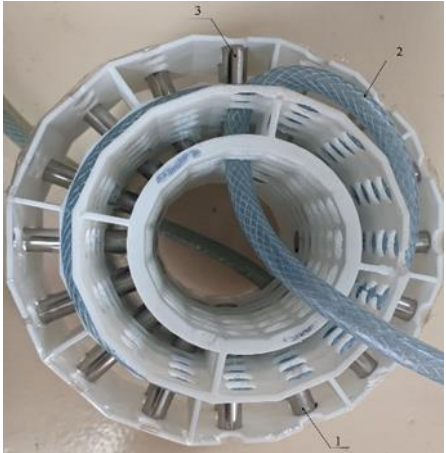
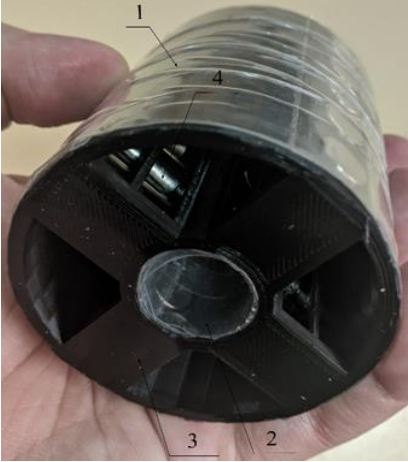
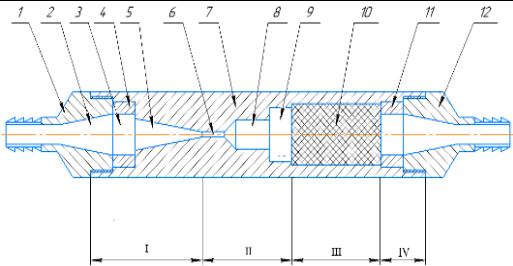
Молекулярные цепочки органического топлива, обрабатываемые переменным магнитным полем, подвергаются переменным движением и разрываются. Это приводит к увеличению количества активных участков молекулы, которые одновременно участвуют в окислительных процессах.

Существующие способы активации с помощью неодимовых магнитов основаны на принципе пропускания жидкости через магнитное поле таким образом, чтобы угол между направлением движения жидкости и направлением магнитной индукции был отличен от нуля. Если угол около 90 градусов, то достигается наибольший эффект омагничивания.

Всем известно, что чем более сложным является устройство, тем больше вариантов его конструкции возможно. В настоящее время существует более ста различных устройств для магнитной обработки жидкостей, что затрудняет их классификацию и сравнение. Для того чтобы классифицировать такие устройства, можно использовать различные признаки. Например, можно учитывать источник магнитного поля, каким может быть постоянные магниты или переменные. Также можно учитывать форму потока жидкости, например, прямолинейный, спиральный или какой-либо другой. Еще одним важным признаком может быть характер изменения магнитного поля, например, постоянное, пульсирующее, звуковые частоты, высокие частоты и т. д.

В настоящее время созданы многочисленные конструкции аппаратов магнитной активации топлив, функционирующие как на электромагнитном принципе, так и на создании МП постоянными магнитами с периодической сменой полярности. Известные конструкции аппаратов для магнитной активации жидкостей (АМАЖ) имеют низкий коэффициент использования рабочего объема (КИРО), равный отношению длины зон, в которых происходит активация, к общей длине рабочей части аппарата, и не превышающий 0,75–0,8. При скорости протекания топлива 0,5–1,0 м/с время экспозиции в магнитном зазоре – не более 0,2 с. Для увеличения времени экспозиции конструктивно реализуют либо увеличение длины рабочей зоны АМАЖ, либо снижение скорости движения жидкости путем локального увеличения сечения трубопровода. На основе данной концепции нами реализованы и запатентованы конструкции АМАЖ [1], во многом свободные от перечисленных недостатков (табл. 1).

Таблица 1. Улучшенные конструкции аппаратов для магнитной активации жидкостей

Конструкция	Преимущества и недостатки	Примечания
<p>1 – внутренняя обойма с магнитами; 2 – трубопровод; 3 – внешняя обойма с магнитами;</p> 	<p><i>Преимущества:</i> КИРО более 2,5; время экспозиции в МП – более 2 с.</p>	<p>Рабочая жидкость движется в зигзагообразном потоке через оптимально сформированные магнитные поля, пересекая магнитные силовые линии под углом, близким к 90 градусам. В результате она находится под воздействием магнитного поля в течение продолжительного времени, что способствует эффективной магнитной активации</p>
 <p>1 – внешняя обойма; 2 – внутренняя обойма; 3 – магнитный активатор; 4 – неодимовые магниты</p>	<p><i>Преимущества:</i> ламинарное движение потока жидкости под углом 90° к силовым линиям магнитного потока; КИРО свыше 20</p>	<p>Для создания переменного магнитного поля происходит изменение полярности магнитов на противоположную через определенные угловые промежутки, которые называются секторами. Каждый сектор содержит определенное количество магнитов, что обеспечивает требуемую смену полярности и создание переменного магнитного поля</p>
 <p>1 – корпус; I – зона подачи топлива; 2 – обратно усеченный конус; 3 – цилиндрическая часть; 4 – кольцевой магнит; 5 – коническая часть; II – зона кавитации; 6 – канал; III – зона смешения; IV – зона отвода; 6 – канал; 7 – ступенчатая часть; 8, 9 – зоны переменного диаметра; 10 – смесительный элемент лабиринтного типа; 12 – кольцевой магнит; 13 – коническая часть</p>	<p><i>Преимущества:</i> ламинарное движение потока жидкости под углом 90° к силовым линиям магнитного потока; увеличение времени экспозиции жидкости в магнитном поле в 20–25 раз</p>	<p>Для создания переменного магнитного поля происходит изменение полярности магнитов на противоположную через определенные промежутки, которые равны длине магнита. Это позволяет создать периодическое изменение магнитного поля, которое может быть использовано для различных целей, таких как магнитная обработка или активация жидкостей</p>

Эффективность конструктивных решений АМАЖ и степень активации могут быть оценены косвенными методами путем анализа изменений физических свойств жидкости. Некоторые из таких свойств включают диэлектрическую проницаемость, электропроводность, магнитную восприимчивость, коэффициент преломления, плотность, вязкость, поверхностное натяжение, скорость испарения и другие. Измерение этих параметров позволяет сделать выводы о степени воздействия магнитного поля на жидкость и оценить эффективность применяемых конструктивных решений АМАЖ. [1, 5].

Таблица 2. К применению косвенных методов оценки эффективности активации

Показатель	Расчетная зависимость	Примечание
Плотность	<p>1. С учетом температурного расширения:</p> $\rho = \frac{\rho_{ст}}{1 + \beta_t(T - T_{ст})};$ <p>2. Для неассоциированных растворов:</p> $\rho_{см} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{x_k}{\rho_k}}$	<p>T – текущее значение температуры; $T_{ст}$ – стандартная температура; β_t – коэффициент объемного температурного расширения; x_i – массовая доля i-го компонента в смеси, кг/кг; ρ_i – плотность i-го компонента</p>
Вязкость	<p>1. Касательные силы по формуле Ньютона:</p> $\tau = \mu \cdot \frac{dV}{dn}.$ <p>2. Для смеси неассоциированных жидкостей:</p> <p>3.</p> $\ell g \mu_{см} = x_1 \ell g \mu_1 + x_2 \ell g \mu_2 + \dots + x_n \ell g \mu_n$	<p>μ – динамический коэффициент вязкости; V – скорость потока жидкости; n – единица длины изменения скорости по нормали к направлению движения; $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ – динамические коэффициенты вязкости компонентов смеси жидкостей, Па · с; $\mu_{см}$ – динамический коэффициент вязкости смеси жидкостей, Па · с; x_1, x_2, \dots, x_n – мольные доли компонентов смеси</p>
Поверхностное натяжение	<p>Поверхностное натяжение определяют как энергию, которую необходимо затратить для создания единицы площади новой поверхности раздела фаз. Величина поверхностной энергии тем больше, чем больше площадь свободной поверхности. Пусть площадь свободной поверхности изменилась на ΔS, при этом поверхностная энергия изменилась на $\Delta W_p = \sigma \cdot \Delta S$, где σ – коэффициент поверхностного натяжения. Так как для этого изменения необходимо совершить работу $A = \Delta W_p$, или $A = \sigma \cdot \Delta S$. Отсюда величина коэффициента поверхностного натяжения</p> $\sigma = A \Delta S$	<p>В инженерной практике для системы жидкость–газ поверхностное натяжение можно считать зависящим только от природы жидкости. Для системы жидкость–жидкость поверхностное натяжение можно приближенно рассчитать как разность поверхностных натяжений этих жидкостей на границе раздела с газом. Размерностью коэффициента поверхностного натяжения в СИ является Дж/м². Равнозначной ему величиной является Н/м (1 Дж/м² = 1 Н/м)</p>
Теплоемкость	<p>Массовая теплоемкость смеси жидкостей пропорциональна массовой доле компонента смеси и рассчитывается по уравнению</p> $c_{см} = c_1 \bar{x}_1 + c_2 \bar{x}_2 + \dots + c_n \bar{x}_n$	<p>$c_{см}$ – массовая теплоемкость смеси жидкостей или газов, Дж/(кг · К); c_1, c_2, c_n – теплоемкости компонентов смеси, Дж/(кг · К); x_1, x_2, x_n – массовые доли компонентов смеси</p>
Теплопроводность	<p>Коэффициент теплопроводности жидкостей пропорционален изобарной теплоемкости (c_p), плотности (ρ) и вязкости (μ):</p> $\lambda_{30} = A \cdot c_p \sqrt[3]{\frac{\rho}{\mu}}.$ <p>Зависимость теплопроводности от температуры описывается уравнением:</p> $\lambda_t = \lambda_{30} [1 - \beta(t - 30 \text{ } ^\circ\text{C})]$ $Pr = c \cdot \mu / \lambda$ $v = \frac{2(\rho - \rho') g r^2}{9\eta}$	<p>λ_{30} – коэффициент теплопроводности при 30 °С, Вт/(м · К); μ – динамический коэффициент вязкости, Па · с; ρ – плотность, кг/м³; β – коэффициент объемного расширения, 1/К; t – температура, °С; A – коэффициент, зависящий от степени ассоциации жидкости. Для ассоциированных жидкостей (вода) $A = 3,5840^{-3}$, для неассоциированных (бензол) $A = 4,2240^{-8}$</p>
Интегральный показатель	<p>Формула Прандтля обобщенно характеризует теплофизические свойства жидкостей. Рассчитывается по уравнению:</p> $Pr = c \cdot \mu / \lambda$	<p>c – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг · К); μ – динамический коэффициент вязкости, Па · с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)</p>

Примечание: для определения показателей 1–5 используют стандартные номограммы.

В ноябре 2023 г. марте 2024 г. мы провели серию экспериментов, чтобы оценить изменение вязкости дизельного топлива после прохождения через магнитный активатор. Для этого мы использовали вискозиметр ВПЖ-3 и засекали время, которое дизельное топливо затрачивало на прохождение через контрольный отрезок. Результаты этих опытов приведены ниже.

Количество проходов жидкости через активатор определялось исходя из геометрической прогрессии: 1,2,4,8,16,32,64, 128... раз.

Технические характеристики вискозиметра ВПЖ-3:

Диаметр капилляра – 0,43 мм.

V (кинематическая вязкость) – дизельного топлива (зимнего) – 4,5 мм²/с

Постоянная вискозиметра К – 0,01632 мм²/с².

Вязкость жидкости измеряется по формуле: $V (м^2/с) = K \cdot t \cdot d$, где

K – постоянная вискозиметра, мм²/с;

V – кинематическая вязкость жидкости, мм²/с;

t – время истечения жидкости, с.

В этом опыте магниты из внешней и внутренне кассеты были расположены разноименными полюсами по отношению к топливопроводу.

Таблица 3. Результаты проведения опытов по изменению вязкости дизельного топлива (разноименные полюсы)

№ п/п	Количество активаций	Время прохождения жидкости через контрольный отрезок вискозиметра	Вязкость дизельного топлива: V- мм ² /с
1	1	27,14 сек	$0,01632 \cdot 27,14 \cdot 4,5 = 1,99 \text{ мм}^2/\text{с}$.
2	2	26,52 сек.	$0,01632 \cdot 26,52 \cdot 4,5 = 1,95 \text{ мм}^2/\text{с}$.
3	4	26,25 сек	$0,01632 \cdot 26,25 \cdot 4,5 = 1,94 \text{ мм}^2/\text{с}$.
4	8	24,88 сек.	$0,01632 \cdot 24,88 \cdot 4,5 = 1,82 \text{ мм}^2/\text{с}$.
5	16	23,61 сек.	$0,01632 \cdot 23,61 \cdot 4,5 = 1,73 \text{ мм}^2/\text{с}$.
6	32	22,78 сек.	$0,01632 \cdot 22,78 \cdot 4,5 = 1,67 \text{ мм}^2/\text{с}$.
7	64	21,86 сек.	$0,01632 \cdot 21,86 \cdot 4,5 = 1,60 \text{ мм}^2/\text{с}$.
8	128	20,91 сек.	$0,01632 \cdot 20,91 \cdot 4,5 = 1,53 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Во втором опыте магниты из внешней и внутренне кассеты были расположены одноименными полюсами по отношению к топливопроводу.

Таблица 4. Результаты проведения опытов по изменению вязкости дизельного топлива (одноименные полюсы)

№ п/п	Количество раз активаций	Время прохождения жидкости через контрольный отрезок вискозиметра	Вязкость дизельного топлива: V- мм ² /с
1	1	27,10 сек.	$0,017 \cdot 27,10 \cdot 4,5 = 2,07 \text{ мм}^2/\text{с}$.
2	2	26,52 сек.	$0,017 \cdot 26,52 \cdot 4,5 = 2,028 \text{ мм}^2/\text{с}$.
3	4	25,14 сек.	$0,017 \cdot 25,14 \cdot 4,5 = 1,92 \text{ мм}^2/\text{с}$.
4	8	24,88 сек.	$0,017 \cdot 24,88 \cdot 4,5 = 1,90 \text{ мм}^2/\text{с}$.
5	16	23,28 сек.	$0,017 \cdot 23,28 \cdot 4,5 = 1,78 \text{ мм}^2/\text{с}$.
6	32	22,78 сек.	$0,017 \cdot 22,78 \cdot 4,5 = 1,74 \text{ мм}^2/\text{с}$.
7	64	21,62 сек.	$0,017 \cdot 21,62 \cdot 4,5 = 1,65 \text{ мм}^2/\text{с}$.
8	128	20,41 сек.	$0,017 \cdot 20,41 \cdot 4,5 = 1,56 \text{ мм}^2/\text{с}$.



Рис. 2. Схема установки магнитной активации топлива

По результатам проведенных исследований установлено, что использование магнитного активатора способствует снижению вязкости дизельного топлива при увеличении числа проходов через активатор. Это наблюдаемое снижение вязкости является одним из косвенных показателей эффективности магнитной активации топлива.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что наиболее эффективное снижение вязкости дизельного топлива наблюдается при использовании магнитного активатора с одноименной полярностью. При этом, при использовании активатора с разноименной полярностью, наблюдается обратная динамика: вязкость сначала незначительно снижается на начальных этапах, а затем постепенно возрастает. Также стоит отметить, что при выключении магнитного поля наблюдается снижение вязкости в течение первых 1–10 активаций, причем это снижение более заметное, чем при использовании разноименной полярности. Однако, с дальнейшим увеличением количества активаций, вязкость практически не изменяется.

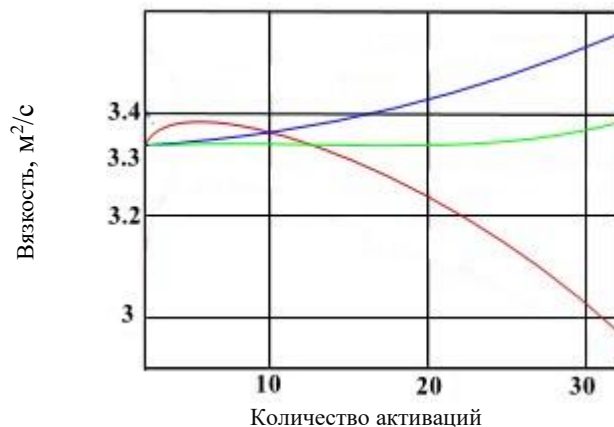


Рис. 3. Зависимость вязкости дизельного топлива от количества циклов активации при различной полярности магнитных наконечников (сплошная красная линия – одноименные, сплошная синяя линия – разноименные, сплошная зеленая линия – выключены)

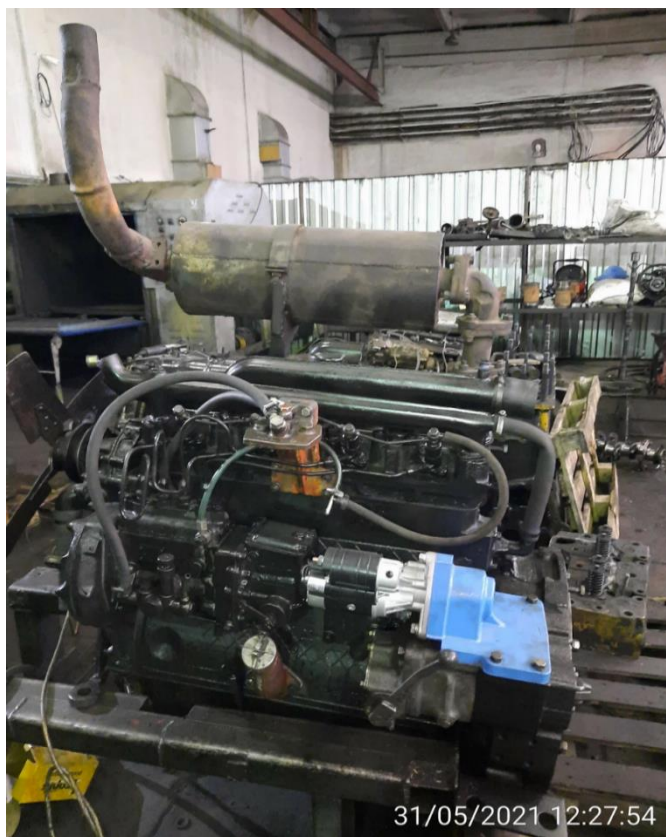


Рис. 4. Стендовые испытания магнитного активатора топлива

При проведении стендовых испытаний активированного дизельного топлива на двигателе ММЗ Д-240 зафиксировано снижение расхода топлива около 7 %, а снижение выбросов более 15 % по дымности отработавших газов. [5, 8].

Заключение

Правильный выбор и использование магнитотропных параметров активатора способствуют улучшению экономических и потребительских характеристик углеводородных топлив. Это открывает новые возможности для оптимизации процессов сгорания и повышения энергетической эффективности топлива.

Таким образом, наша главная задача заключается в успешной разработке и внедрении магнитного активатора в системы топлива для двигателей внутреннего сгорания. Мы также стремимся предоставить производственным заводам соответствующую документацию, которая поможет им оптимизировать процессы и повысить эффективность работы двигателей. Наша команда полностью нацелена на достижение этих целей и постоянно работает над совершенствованием технологий и инноваций в области магнитной активации топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пивоварова Н. А. Интенсификация процессов переработки углеводородного сырья воздействием постоянного магнитного поля: дис. ... докт. техн. наук: 05.17.07 / Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. — М., 2005. — 361 с
2. Помазкин В. А. Неспецифические воздействия физических факторов на объекты биотехносферы: монография. — Оренбург, ОГУ, 2001. — 340 с.
3. Лоскутова Ю. В. Влияние магнитного поля на реологические свойства нефти: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.13. — Томск, 2003. — 138 с. — РГБ ОД, 61:04-2/441.
4. Постников В. В. Фазовые и структурные превращения в диамагнитных материалах после воздействия слабых магнитных полей: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. — Воронеж, 2004. — 45 с
5. Карлюк А. П., Щурин К. В., Паныш Ю. Н. Прикладные методы магнитной активации жидких диамагнетиков // Сборник научных статей 12-й Международной научно-практической конференции / Современные материалы, техника и технология — Курск -2022. — С. 427–433
6. Карлюк А. П., Карлюк И. П., Щурин К. В. Ультразвуковой метод повышения теплотворной способности топлив для дизельных двигателей внутреннего сгорания // Сборник научных статей 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / «Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» — Курск. — 2022. — № 7. — С. 78–93.
7. Влияние электромагнитного воздействия на показатели топлива и характеристики автомобильных двигателей внутреннего сгорания / Ю. В. Галышев и др. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — № 2 (171). — 2013. — С. 61–67.
8. Щурин, К. В., Цветкова Е. В. Использование магнитного активатора топлива для улучшения энергетических и экологических показателей ДВС // «Грузовик. Транспортный комплекс. Спецтехника» — № 9. — 2011. — С. 27–32.