

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 537.634:620.263

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

К. В. ЩУРИН, А. П. КАРЛЮК

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

(Поступила в редакцию 27.11.2023)

Проведен анализ эффективности применения внешних малоэнергетических воздействий на улучшение эксплуатационных свойств немагнитных жидкостей. Показаны технико-технологические и экономические преимущества метода магнитной активации жидких сред с использованием постоянных неодимовых магнитов. Разработаны методика реализации рациональных магнетотропных параметров и новые авторские конструкции магнитных активаторов, создающих переменное магнитное поле постоянными магнитами путем комбинирования ориентации их полюсов, что обеспечивает разрушение молекулярных кластеров и дефрагментацию молекул горючего для обеспечения свободного доступа кислорода в процессе сгорания. Рассмотрены методы косвенной оценки эффективности процесса магнитной активации немагнитных жидких сред, и в качестве приоритетного рекомендован метод сравнительной оценки вязкости рабочей жидкости до активации и после неё. Предложен план проведения дальнейших экспериментальных исследований в условиях стендовых и эксплуатационных испытаний дизельных двигателей мобильных транспортно-технологических машин. Планируется поэтапное внедрение магнитных активаторов в топливные системы двигателей в процессе капитального ремонта с дальнейшей подконтрольной эксплуатацией и передачей доработанной документации на заводы-изготовители двигателей. Ожидаемый эффект от внедрения активаторов – снижение расхода топлива на 8–12 % и уменьшение на 10–15 % вредных выбросов, прежде всего, оксидов углерода и азота.

Ключевые слова: тепловые двигатели, углеводородные топлива, теплотворная способность, молекулярные кластеры, неспецифическое физическое воздействие, диамагнетика, энергия связей, малоэнергетические воздействия, неодимовый магнит, магнитная активация, вязкость.

An analysis of the effectiveness of using external low-energy influences to improve the operational properties of non-magnetic fluids was carried out. The technical, technological and economic advantages of the method of magnetic activation of liquid media using permanent neodymium magnets are shown. A method for implementing rational magnetotropic parameters and new proprietary designs of magnetic activators have been developed that create an alternating magnetic field with permanent magnets by combining the orientation of their poles, which ensures the destruction of molecular clusters and defragmentation of fuel molecules to ensure free access of oxygen during the combustion process. Methods for indirectly assessing the effectiveness of the process of magnetic activation of non-magnetic liquid media are considered, and a method of comparative assessment of the viscosity of the working fluid before and after activation is recommended as a priority. A plan has been proposed for further experimental research under conditions of bench and operational testing of diesel engines of mobile transport and technological machines. It is planned to gradually introduce magnetic activators into engine fuel systems during the overhaul process with further controlled operation and transfer of revised documentation to engine manufacturers. The expected effect from the introduction of activators is a reduction in fuel consumption by 8–12 % and a reduction in harmful emissions, primarily carbon and nitrogen oxides, by 10–15 %.

Key words: heat engines, hydrocarbon fuels, calorific value, molecular clusters, nonspecific physical effects, diamagnetic materials, bond energy, low-energy effects, neodymium magnet, magnetic activation, viscosity.

Введение

Необратимое снижение запасов углеводородного сырья, сопровождающееся постоянным повышением стоимости, обуславливает необходимость повышения эффективности его использования, в первую очередь продуктов передела – углеводородных топлив. Следует констатировать, что в этой области достигнуты результаты, близкие к максимально ожидаемым. КПД ДВС за предшествующие 25–30 лет увеличился более чем в 1,5 раза и превысил 50 %, что в первую очередь связано с совершенствованием методов расчета и проектирования, развитием электронных управляющих систем и постоянным ужесточением требований к качеству материалов, технологий изготовления деталей и

процессов сборки. В настоящее время дальнейшие высокие темпы повышения энергетических и экологических показателей тепловых двигателей для их сложившихся рабочих процессов представляются маловероятными [1].

Основной характеристикой качества топлива, формирующей показатели его энергетической и экологической эффективности, является теплотворная способность, которая преимущественно зависит от полноты сгорания топлива. Применительно к жидким топливам величина низшей теплотворной способности Q_n (МДж/кг) определяется по эмпирической формуле Д. И. Менделеева:

$$Q_n = 0,339[C] + 1,256[H] + 0,109[S] - 0,109[O] - 0,025[W], \quad (1)$$

где в скобках указано процентное массовое содержание соответствующих химических элементов – углерода, водорода, серы, кислорода и влаги W в составе топлива; 0,339, 1,256, 0,109 – теплоты сгорания, необходимые для сжигания 1 % соответствующего элемента.

Ключевым моментом анализа теплотворной способности топлива является необходимость учета того, что формула Д. И. Менделеева справедлива только при выполнении условия свободного доступа кислорода ко всем молекулам горючего. Это условие практически реализуется с помощью внешних малоэнергетических воздействий, исследованию которых посвящены работы [1–9].

Очевидно, основной задачей повышения энергетической и экологической эффективности является повышение теплотворной способности топлива путем дефрагментации молекулярных кластеров до выделения отдельных молекул.

Малоэнергетические внешние воздействия позволяют без заметных дополнительных энергетических затрат или с использованием внутренних резервов вещества перестраивать его структуру. В результате достигаются эффекты, соответствующие увеличению или, напротив, снижению упорядоченности в надмолекулярной структуре веществ. При этом чаще всего используют введение присадок и внешние физические воздействия – ультразвуковые, электрические, электромагнитные, магнитные и другие [5–9], позволяющие повысить степень упорядоченности внутримолекулярных и надмолекулярных структур.

Это способствует достижению *цели настоящего исследования – повышению КПД двигателя и снижению количества вредных компонентов выхлопных газов за счет увеличения полноты сгорания топлива* посредством его физико-химической активации с выделением дополнительной тепловой энергии и, как следствие, увеличением энтальпии рабочих процессов.

Основная часть

Среди названных малоэнергетических физических воздействий в наибольшей степени апробированы ультразвуковые, электромагнитные и магнитные методы.

В [6, 7] рассмотрены методы и средства внешних ультразвуковых воздействий на дизельное топливо, реализующие кавитационный эффект обработки как эффективный способ безреагентной модификации топлива, позволяющий в значительной степени улучшить его физико-химическую структуру, в первую очередь, фракционный состав, обеспечивающий снижение вязкости и депарафинизации топлива. Это приводит к увеличению цетанового числа, улучшению прокачиваемости и фильтруемости топлива до 20 %, снижению температуры вспышки на 12 %, снижению коксуемости на 10 %, повышению коррозионной стойкости. Кроме этого, кавитация сопровождается и частичным разрушением самих молекул с образованием свободных радикалов, что дополнительно инициирует повышение теплотворной способности в процессе сгорания топлива.

Магнитная обработка (активация) жидкого углеводородного топлива является наиболее предпочтительной по совокупности определяющих технико-экономических показателей. Аккумулированная в постоянных магнитах энергия магнитного поля является одним из самых эффективных, экономичных и доступных видов энергии. Во многих областях человеческой деятельности (в том числе в медицине, сельском хозяйстве, промышленности, теплоэнергетике, коммунальном хозяйстве и т.д.) накоплен большой положительный опыт использования постоянных магнитных полей, создаваемых специальными устройствами – магнитотронами или магнитоактиваторами, которые действуют на неферромагнитные вещества, имеющие различную физико-химическую природу [5, 8–10]. Широкое использование энергии постоянного магнитного поля ограничено недостаточной теоретической проработкой проблемы действия сил магнитного поля из-за сложности структурных и энергетических превращений, протекающих в веществах различного строения на микро- и макроуровне. Поэтому дальнейшее изучение поведения немагнитных жидкостей в постоянном магнитном поле позволяет расширить и углубить наши познания в вопросах, рассматривающих влияние магнитных полей на свойства структурированных неферромагнитных систем.

Таким образом, основной задачей повышения энергетической эффективности – теплотворной способности топлива – является дробление молекулярных кластеров до выделения отдельных молекул.

Задачей следующего уровня для повышения теплотворной способности топлива является дефрагментация молекул на свободные радикалы и атомы. При воздействии магнитных полей с оптимальными значениями магнитотропных параметров в структуре топлива возникают различные радикалы, жидкая фаза частично преобразуется в газообразную, выделяется свободный водород, из метана образуется метил, из этана – этил, из бутана – бутил и т.д. Свободные радикалы – это сравнительно устойчивые фрагменты органических соединений, в которых отсутствует один атом водорода, т.е. радикалы имеют отрицательный электрический заряд и меньшую химическую устойчивость. Рациональное изменение магнитотропных параметров процесса активации имеет своей целью повышение выделяемой тепловой энергии за счет полноты сгорания.

В нашем случае для разрушения кластеров и внутримолекулярных связей используется энергия магнитного поля (ЭМП).

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

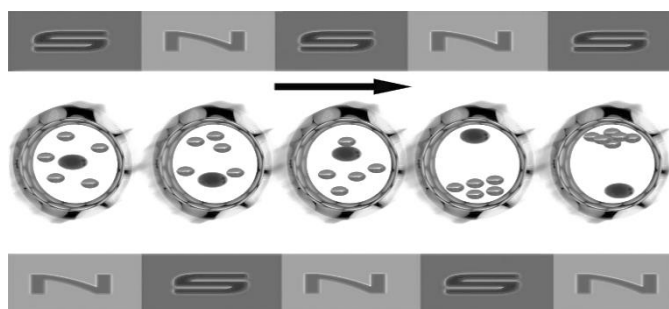


Рис. 1. Движение молекулы в переменном магнитном поле

Во-первых, магнитное поле снимает электростатический заряд с топлива, который оно получило при протекании в топливных магистралях и меняет его структуру. Во-вторых, изменяется вязкость и все параметры, входящие в нее: диэлектрическая проницаемость, поверхностное натяжение жидкости, константы горения, растворимость кислорода в топливе и т.д. В-третьих, при поляризации происходит упорядочение ориентаций спиновых и орбитальных моментов хаотично движущихся молекул. И, в-четвертых, благодаря переменному магнитному полю ассоциаты-кластеры, совершая колебательные движения, разрушаются на отдельные диполи, которые быстрее вступают в реакцию горения. При этом также высвобождаются свободные радикалы и отдельные элементы молекулы, что дополнительно повышает теплотворную способность.

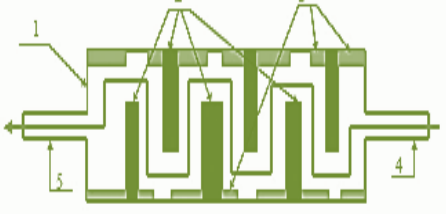
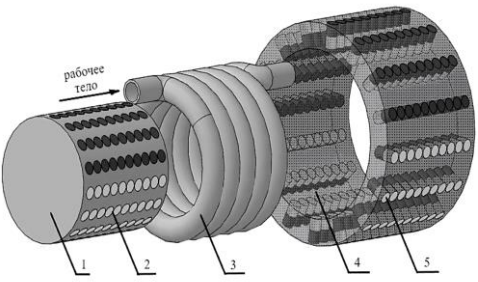
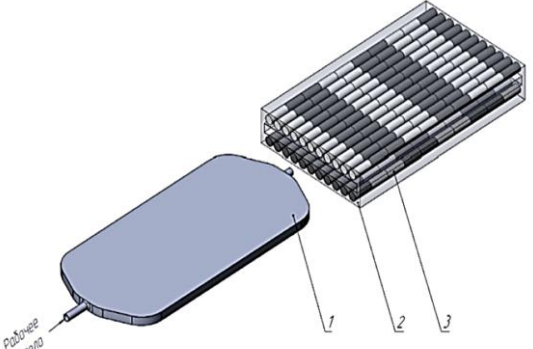
Все вышеперечисленные факторы влияют на достижение поставленной цели – увеличение энергетических и экологических показателей сгорания топлива за счет полноты сгорания его компонентов.

При расчетах аппаратов для магнитной активации в [1, 5] и других работах наиболее существенными полагают следующие магнитотропные параметры: напряженность магнитного поля (МП); градиент напряженности МП; время экспозиции в МП; количество пересечений разнонаправленного МП активируемой жидкостью; скорость протекания жидкости в МП.

Полимерные цепочки органического топлива, проходя через магнитное поле переменной полярности, совершают колебательные движения и разрываются, увеличивая количество активных сторон молекул, одновременно вступающих в процесс окисления.

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, патент	Преимущества и недостатки	Примечания
 <p>1 – неферромагнитный корпус; 2 – магниты; 3 – неферромагнитные крепежные пластины; 4 – входной патрубок; 5 – выходной патрубок (патент 2411190 РФ, МПК G 02 F 1/48 «Магнитный активатор жидких сред», авторы – В. А. Помазкин, К. В. Щурин, Е. В. Цветкова)</p>	<p><i>Преимущества:</i> КИРО более 2,5; время экспозиции в МП – более 2 с.</p> <p><i>Недостаток</i> – турбулентность потока с кавитационными явлениями</p>	<p>Поток рабочей жидкости зигзагообразно движется в оптимальных по напряженности магнитных полях, пересекая магнитные силовые линии под углом, близким к 90°, и находится под воздействием магнитного поля большой промежуток времени</p>
 <p>1 – внутренняя обойма с магнитами 2; 3 – спиральный трубопровод; 4 – внешняя обойма с магнитами 5 (патент № 2693158 РФ «Аппарат магнитной активации жидкостей», авторы – К. В. Щурин, И. Г. Панин, А. А. Фокин)</p>	<p><i>Преимущества:</i> ламинарное движение потока жидкости под углом 90° к силовым линиям магнитного потока; КИРО свыше 20</p>	<p>Переменное магнитное поле создается изменением полярности магнитов на противоположную через определенные угловые промежутки – секторы, содержащие заданное количество магнитов</p>
 <p>1 – расширительная емкость с патрубками; 2 – кассета с магнитами 3 (патент № 2703837 РФ «Магнитный активатор», авторы – К. В. Щурин, И. Г. Панин, А. А. Фокин)</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>Переменное магнитное поле создается изменением полярности магнитов на противоположную через определенные промежутки, равные длине магнита</p>

В [8] приведены результаты исследований по изменению свойств бензина в результате его магнитной активации. При этом зафиксировано снижение расхода топлива около 10 % и снижение в выхлопных газах количества окислов углерода и азота – более 12 %.

На рис. 2 [2, 9] показаны результаты расчета по приведенной здесь методике, связанные с изменением теплотворной способности бензина АИ-92 в зависимости от глубины активации. Мы полагаем, что рациональная глубина активации должна обеспечивать повышение теплоты сгорания в диапазоне 7–15 %, поскольку при большей дефрагментации исходной молекулы возникает опасность ухудшения тепловых и трибологических режимов ДВС.

Исходная молекула Теплота сгорания ΔQ (кДж/моль)	Состав фракций после активации	Суммарная теплота сгорания преобразованного топлива ΔQ (кДж/моль)
C_8H_{18} $\Delta Q = 5470$	$C_4H_8 + 2C_2H_4$ C_2H_4	$\Delta Q = 5607$ $\Delta = 7 \%$
	C_2H_2 $2C_2H_4$ $2CH_4$	$\Delta Q = 5900$ $\Delta = 15 \%$
	C_3H_6 $0,5C_2H_4$ $2C_2H_2$ $3CH_4$	$\Delta Q = 5975$ $\Delta = 18 \%$
	$2C_2H_2$ $2C_2H_4$ $2H_2$ $0,5C_2H_4$ $0,5C_2H_2$ $0,5H_2$ $3CH_4$ $3H_2$	$\Delta Q = 8387$ $\Delta = 28 \%$

Рис. 2. Основные преобразования молекул бензина АИ-92 в магнитном поле при изменении магнитотропных параметров

Заключение

Основной задачей обеспечения процесса магнитной активации немагнитных жидкостей, в том числе углеводородных топлив, является подбор и реализация магнитотропных параметров активатора, адекватных поставленной цели, – улучшению эксплуатационных (потребительских) свойств веществ. В соответствии с изложенной методикой этапами решения задачи являются:

- 1) определение основных показателей потока активированной жидкости – удельный расход, скорость потока, ориентация относительно силовых линий МП;
- 2) подбор магнитов с необходимой плотностью энергии магнитного поля;
- 3) выбор конструктивной схемы магнитного активатора, характеристики которого обеспечат разрыв межмолекулярных и внутримолекулярных связей;
- 4) определение способа косвенной оценки эффективности активации;
- 5) проведение лабораторных и эксплуатационных испытаний активатора с корректированием его расчетных магнитотропных параметров.

В настоящее время в БГАТУ проводится целевая инициативная НИОКР, реализующая перечисленные этапы и направленная на повышение энергетических и экологических показателей дизельных ДВС. По предварительной оценке, повышение топливной экономичности ожидается не менее 10 %, а снижение выбросов CO_x и NO_x – не менее, чем на 15 %.

По завершении программы лабораторных испытаний планируется необходимая доработка конструкции магнитного активатора и его введение в топливные системы ДВС транспортно-технологических машин в процессе их капитального ремонта с проведением эксплуатационных испытаний и последующей передачей документации на заводы-изготовители ДВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щурин, К. В., Жданко Д. А. Магнитная активация топлива как эффективный способ повышения энергетических и экологических показателей ДВС // Агропанорама. – 2021. – №3 (145). – С. 28–33.
2. Щурин, К. В., Панин И. Г. Изменение свойств немагнитных жидкостей в переменном магнитном поле // «Информационно-технологический вестник» – 2017. – № 1. – С. 103–114.
3. Манаков, Н. А., Щурин К. В., Цветкова Е. В. Улучшение эксплуатационных показателей автомобильных двигателей в результате магнитной активации топлива // «Естественные и технические науки» – № 2. – 2012. – С. 484–486.
4. Помазкин, В. А. Неспецифические воздействия физических факторов на объекты биотехносферы: Монография. – Оренбург, ОГУ, 2001. – 340 с.
5. Егоров, И. Н. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив в условиях сельскохозяйственного производства: дис. ... канд. техн. наук: Великолукский СХИ. – Великие Луки, 1983. – 292 с.
6. Василевский, А. В. Способ улучшения пусковых качеств дизельных двигателей в условиях низких температур посредством ультразвуковой кавитационной обработки дизельного топлива: автореф. дис. ... канд. техн. наук: Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище имени В. Ф. Маргелова (военный институт). – Рязань, 2012. – 18 с.
7. Лоскутова, Ю. В. Влияние магнитного поля на реологические свойства нефтей: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.13. – Томск, 2003. – 138 с. – РГБ ОД, 61:04-2/441.
8. 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» – № 7. – 2022. – С. 78–3. г.Курск.
9. Щурин, К. В., Карлюк А. П., Паныш Ю. Н. Прикладные методы магнитной активации жидких диамагнетиков // Сборник научных статей 12-й Международной научно-практической конференции // Современные материалы, техника и технология – 2022. – С. 427–433.