

4 Применение систем CAD/CAM/CAE в аддитивной технологии 3D-печати / Р.Ш. Узбеков, В.В. Челноков, Ю.М. Аверина // Наука, техника и образование. – 2023. – № 4 (92). – С. 8–11.

5 Аддитивное производство: технология, материалы и достоинства 3D-печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://makerly.eu/ru/aditivne-virobnicztvo-tehnologiya-materiali-ta-perevagi-3d-druku/>. – Дата доступа: 02.05.2025.

6 tebx.ru : [сайт]. – Минск, 2024-2025. – URL : <https://tebx.ru/spravochnik/cadcam.html> (дата обращения 06.05.2025).

7 Топ бесплатных программ для 3D печати в 2021 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/lider-3d/top-besplatnyh-programm-dlya-3d-pesati-v-2021-godu%C2%A0>. Дата доступа: 08.05.2025.

8 Cad cae cam системы что это [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rudesignshop.ru/blog/cad-cae-cam-sistemy-cto-eto/>. Дата доступа: 08.05.2025.

9 3D печать: 3D моделирование в SolidWorks. От модели до готовой детали. Верстака ВОСН [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=6o7fF7MYuQ&t=0s>. Дата доступа: 10.05.2025.

Summary. Additive manufacturing is inextricably linked with CAD/CAM/CAE systems and is based on these systems. Data created in any of the systems is used to implement successive stages in another system using a fast and efficient process of data format conversion. CAD/CAM/CAE systems continue to develop at a tremendous speed and today special attention is paid to the development of hybrid solutions that combine the capabilities of all three types of systems in a single platform. New developments include the introduction of artificial intelligence to optimize design processes, the use of augmented reality technologies to visualize projects and the development of additive manufacturing technologies.

УДК 537.634:620.263

Карлюк А.П., ассистент;

Щурин К.В., доктор технических наук, профессор

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», Минск, Республика Беларусь*

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ДИСКРЕТИЗАЦИИ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КЛАСТЕРОВ В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ

Аннотация. 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. Рассмотрена проблема повышения теплотворной способности углеводородных топлив методом магнитной активации, реализующим разрыв межмолекулярных и внутримолекулярных связей, что обеспечивает высокий уровень доступа молекул окислителя к молекулам горючего, повышая полноту сгора-

ния топлива и снижение вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания. С использованием зависимостей Ван дер Ваальса и уравнения Шредингера предложены методы расчета энергии магнитного поля, необходимой для разрыва межмолекулярных внутримолекулярных связей.

Abstract. The analysis of the efficiency of using external low-energy effects to improve the performance properties of non-magnetic liquids is carried out. The technical, technological and economic advantages of the method of magnetic activation of liquid media using permanent neodymium magnets are shown. The problem of increasing the calorific value of hydrocarbon fuels by the magnetic activation method, implementing the rupture of intermolecular and intramolecular bonds, is considered, which ensures a high level of access of oxidizer molecules to fuel molecules, increasing the completeness of fuel combustion and reducing harmful emissions of internal combustion engines. Using the Van der Waals dependencies and the Schrödinger equation, methods for calculating the magnetic field energy required to rupture intermolecular intramolecular bonds are proposed.

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

Keywords. Heat engines, hydrocarbon fuels, calorific value, molecular clusters, non-specific physical impact, diamagnets, bond energy, low-energy impacts, neodymium magnet, magnetic activation, viscosity.

Введение. 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 нижней 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.

Образованию молекулярных кластеров способствуют многие факторы, например, длительность хранения топлива в емкостях, температура среды, электростатическое взаимодействие с деталями топливной системы и др. При воспламенении топлива в камерах сгорания наличие молекулярных кластеров существенно затрудняет превращение полной химической энергии в тепловую, поскольку значительная часть молекул в момент воспламенения недоступна для кислорода [1–4]. Очевидно, основной задачей повышения энергетической и экологической эффективности является по-

вышение теплотворной способности топлива путем дефрагментации молекулярных кластеров до выделения отдельных молекул.

Методика исследования. Известны несколько прикладных теорий, положенных в основу изучения механизма действия магнитного поля на нефтяные дисперсные системы [5, 8, 9]. Это – «коллоидные» гипотезы, в основе которых лежит действие магнитного поля на коллоидные диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные частицы; «ионные» гипотезы, в которых основная роль отводится находящимся в структуре ионам и «водные» гипотезы, обосновывающее действие магнитного поля на собственно воду.

Механизм действия магнитного поля на водные системы сводится к изменению связей микропримесей с молекулами жидкой среды. «Водные» теории [5, 8, 9] получили достаточно большую известность применительно к действию магнитного поля на физико-химические свойства нефтяных и водонефтяных жидких сред. Они основаны на разрушении в магнитном поле агрегатов железосодержащих частиц.

В то же время не следует априори определять определяющую роль в процессах, протекающих в нефтепродуктах при магнитном воздействии, микропримесям железа, являющегося лишь одной из разновидностей минерального состава механических примесей. Применительно к нефтяным системам по «коллоидной теории» в процессе магнитной обработки нефти и нефтепродуктов САК (смолисто-асфальтеновые компоненты) являются основными микропримесями, несущими свободные поверхностные заряды, взаимодействующие с внешним МП [8, 9].

САК являются веществами параэлектрического, парамагнитного и диамагнитного типа. Нефтяные углеводороды в зависимости от молекулярной массы имеют различную магнитную восприимчивость, которая возрастает при увеличении числа атомов углеводородов в молекуле. Наличие в нефтепродуктах ферромагнетиков (железа, ванадия, никеля и др.) так же дополняет сложные пространственные взаимодействия диамагнитных и парамагнитных компонентов нефти в магнитном поле. В топливном потоке большое влияние оказывают газовые пузырьки, диспергированные капельки воды и механические примеси, которые становятся дополнительными центрами образования зародыша новой фазы в микрообъеме жидкости. При формулировании представления о механизме действия магнитного поля на многокомпонентные нефтяные системы, следует учитывать особенности нефтепродуктов как объекта исследования НФВ с оценкой содержания смол, асфальтенов, парафиновых углеводородов, наличия водной, газовой фаз и микропримесей, в том числе обладающих ферромагнитными свойствами.

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.

Молекулярное взаимодействие основано на электрическом взаимодействии – силе Ван-дер-Ваальса, которая является вариантом Кулоновских сил. К основным характеристикам химической связи, дающим информацию о геометрическом строении (структуре) молекулы и ее прочности, относятся длина связи, валентный угол и энергия связи [7–9]. Ориентация молекулярных диполей происходит таким образом, чтобы их полюсы ориентировались между собой противоположными зарядами, и тогда между ними возникает притяжение.

Для диполь-дипольного межмолекулярного взаимодействия расчет сил производится с использованием зависимостей Ван дер Ваальса [8, 9]. Результирующая сила взаимодействия складывается из четырех компонентов – двух сил отталкивания между одноименными зарядами и двух сил притяжения – между разноименными зарядами. Суперпозиция сил определяет равнодействующую

$$F = \frac{(-q)(-q)}{4\pi\epsilon_0 r^2} + \frac{qq}{4\pi\epsilon_0 r^2} + \frac{(-q)(-q)}{4\pi\epsilon_0 (r-l)^2} + \frac{(-q)(-q)}{4\pi\epsilon_0 (r+l)^2} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{2}{r^2} - \frac{1}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2} \right]. \quad (2)$$

Осуществив преобразования, получим

$$F = \frac{6q^2 l^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{r^2 - \left(\frac{l^2}{3}\right)}{r^2(r^2 - l^2)^2}. \quad (3)$$

Энергия связи в молекуле равна работе, которую необходимо затратить, чтобы разделить молекулу на части (атомы, группы атомов) и удалить их друг от друга на «бесконечное» расстояние. В нашем случае «бесконечными» являются расстояния между элементами, при которых становится не возможным их синтетическое взаимодействие – восстановление

связи. Для молекул, состоящих из двух атомов, энергия связи равна энергии диссоциации молекулы. Для многоатомных молекул с одним типом связи, например, молекул вида A_mB_n , средняя энергия связи равна $1/n$ части энергии распада молекулы на атомы (энергии атомизации). В квантовой химии применяют метод наложения валентных схем (теории резонанса) [8, 9] и используют приближенные решения уравнения Шредингера в волновые функции вида

$$\psi = \sum c_i \psi_i, \quad (4)$$

где ψ – приближение к результатам точного решения уравнения Шредингера для многоатомных молекул, ψ_i – отвечает определенному расположению связей в молекуле, c_i – коэффициенты.

Энергия межмолекулярного взаимодействия на один-два порядка меньше энергии химической связи. Например, энергия химической связи С–Н (в углеводородах) составляет 415 кДж/моль, С–С-связи – 332 кДж/моль, а энергия взаимодействия между молекулами углеводов – приблизительно 4,18 кДж на группу CH_2 [14, 15]. При увеличении молекулярной массы вещества суммарный эффект межмолекулярных сил резко возрастает.

В общем случае энергия взаимодействия определяется по формуле (5) [3]

$$E_K = -2\mu_1\mu_2 / 4\pi\epsilon_0 r^3, \quad (5)$$

где μ_1, μ_2 – дипольные моменты; r – расстояние между молекулами; ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума.

В случае одинаковых молекул ($\mu_1 = \mu_2$) формулу (6) можно записать в виде

$$E_K = -\mu^2 / 4\pi\epsilon_0 r^3. \quad (6)$$

В равновесной среде устанавливается некоторое распределение кластеров по числу содержащихся в них частиц. Это число в общем случае может быть любым и является случайной величиной. Функция распределения кластеров должна учитывать особенности строения кластера. Исследование свойств различных статистических распределений позволило авторам [3] выделить из их множества наиболее общее – гамма-распределение, плотность вероятностей которого в применении к количеству содержащихся в кластере частиц определяется по формуле (7) [8]

$$f(Z) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} Z^{\alpha-1} e^{-\lambda Z}, \quad (7)$$

где $\lambda > 0$ – параметр масштаба, $\alpha > 0$ – порядок распределения, $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция (интеграл Эйлера второго рода).

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

На рисунке показаны этапы воздействия магнитного поля на единичный диполь.

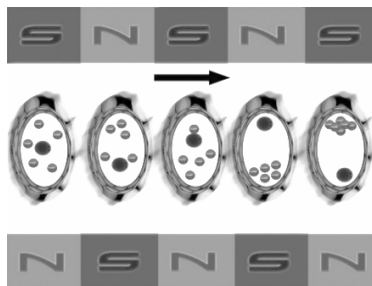


Рисунок – Движение молекулы в переменном магнитном поле

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

Зная вышеперечисленные параметры, определяется энергия магнитного поля (максимальное энергетическое произведение, объемная плотность энергии) w (кДж/м³), которая зависит от магнитной индукции (B) и напряженности магнитного поля (H) [3, 5]

Согласно теории близкого действия, ЭМП распределена по всему объему V пространства, в котором существует МП. ЭМП, заключенная в единичном объеме этого поля, называется объемной плотностью энергии магнитного поля w :

$$w = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2}, \quad (8)$$

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

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 устройствах, для активации немагнитных жидких сред применяют неодимовые магниты из сплава *Nd-Fe-B* (неодим-железо-бор), которые имеют существенно лучшие магнитные свойства.

Кроме того, неодимовые магниты обладают следующими отличительными свойствами: за 10 лет теряют лишь 1 % намагниченности; доступны любые размеры и формы; низкая температура Кюри; высокая устойчивость к коррозии; максимальная остаточная намагниченность; максимальная коэрцитивная сила; максимальная удельная магнитная энергия

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 этапы решения задачи являются:

- 1) констатация химической формулы основной активируемой жидкости;
- 2) качественный и количественный анализ допускаемых примесей по ГОСТ на жидкость;
- 3) определение видов межмолекулярных и внутримолекулярных связей;
- 4) расчет энергетических характеристик связей;
- 5) определение основных показателей потока активируемой жидкости – удельный расход, скорость потока, ориентация относительно силовых линий МП;
- 6) подбор магнитов с необходимой плотностью энергии магнитного поля;
- 7) выбор конструктивной схемы магнитного активатора, характеристики которого обеспечат разрыв межмолекулярных и внутримолекулярных связей;
- 8) определение способа косвенной оценки эффективности активации;
- 9) проведение лабораторных и эксплуатационных испытаний активатора с корректированием его расчетных магнитотропных параметров.

Список использованной литературы

1. Мельников, Г. А. Структурные свойства конденсированных сред в рамках кластерной модели / Г. А. Мельников [и др.] // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2011. – № 4 (20). – С. 1–6.
2. Щурин, К. В. Изменение свойств немагнитных жидкостей в переменном магнитном поле / К. В. Щурин, И. Г. Панин // «Информационно-технологический вестник» – 2017. – № 1. – С. 103–114.
3. Карлюк, А. П. Ультразвуковой метод повышения теплотворной способности топлив для дизельных двигателей внутреннего сгорания /

А. П. Карлюк, И. П. Карлюк, К. В. Щурин // Сборник научных статей 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении». – Курск. – № 7. – 2022. – С. 78–93.

4. Помазкин, В. А. Неспецифические воздействия физических факторов на объекты биотехносферы : Монография / В. А. Помазкин. – 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. 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. – Москва, 2005. – 361 с.

7. Классен, В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

8. Клочков, А. В. Параметры магнитного поля в устройствах омагничивания воды / А. В. Клочков, О. Б. Соломко, А. А. Емельяненко // «Агропанорама» – № 5. – 2020. – С. 23–28.

9. Лидин, Р. А. Справочник по неорганической химии. Константы неорганических веществ. Справочное пособие / Р. А. Лидин, Л. Л. Андреева, В. А. Молочко. – М.: Химия, 1987. – 320 с.

Summary. The main task of ensuring the process of magnetic activation of non-magnetic liquids, including hydrocarbon fuels, is the selection and implementation of magnetotropic parameters of the activator, adequate to the set goal – improving the operational (consumer) properties of substances.

УДК621.385.6

Тихонов А.А.¹, кандидат технических наук, доцент;
Романюк Н.Н.², кандидат технических наук, доцент,
Михайлова О.В.³, доктор технических наук, профессор;
Просвирякова М.В.⁴, доктор технических наук, доцент;
Федоров М.Е.¹, аспирант, **Коршиков Д.Д.¹**, аспирант

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Российская Федерация;

²Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

³ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Российская Федерация;

⁴Цивильский АТТ, г. Цивильск, Российская Федерация

РАДИОГЕРМЕТИЧНЫЙ ПЛАВИТЕЛЬ ЖИРОВОГО СЫРЬЯ НЕПРЕРЫВНО-ПОТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ С СВЧ ЭНЕРГОПОДВОДОМ

Аннотация. В статье приведены данные расчетов электродинамических параметров резонатора для создания сборочных чертежей радиогерметичного