

УДК 662.756.3

DOI: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-194-202

## ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ БІОПАЛЬНОГО ОБРОБЛЕНОГО В ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ

Кушлик Р. Р., к.т.н., ст. викл.

ORCID: 0000-0003-4251-0239

Кушлик Р. В., к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0002-7560-9406

Постол Ю. О., к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0002-0749-3771

Гулевський В. Б., к.т.н., доцент

ORCID: 0000-0003-1434-9724

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

e-mail: kushlykroman@ukr.net

*Постановка проблеми.* Збільшення частки витрат на традиційне пальне в собівартості сільськогосподарської продукції зумовлює актуальність розробок з використанням альтернативних видів палива. Можливість застосування певного виду альтернативного пального визначається його регіональними ресурсами, співвідношенням цін між альтернативним і традиційними паливами, необхідними витратами на адаптацію двигунів до роботи на альтернативному пальному, на інфраструктуру доставки, зберігання і заправки техніки.

Стосовно до сільськогосподарського виробництва пріоритет належить біологічним моторним паливам на основі рослинних олій. Альтернативні палива дозволяють знизити негативне екологічне навантаження від токсичних викидів з відпрацьованими газами двигунів сільськогосподарської техніки. Тому дослідження, спрямовані на розробку технологій і технічних засобів адаптації автотракторної техніки до роботи на альтернативних видах пального є актуальними.

*Аналіз останніх досліджень.* У вирішенні проблем розробки і використання альтернативних палив значний внесок внесли відомі вчені: Уханов А. П., Ліньков О. Ю., Дідур В. А., Буряков А. С., Лискутіна А. П., Малахов К. С., Шматок О. І., Фокін Р. В., Громаков А. В., Кіресєва Н. С., Артюшин А. А., Бубнов Д. Б., Буклагін Д. С., Васильєв Ю. Н., Вайсблум М. Е., Гайворонский А. І., Голубков Л. Н., Семенова В. Г. та інші дослідники.

Найбільш перспективними з альтернативних палив є палива, одержувані з рослинної сировини [1]. Так в Європі розширюється застосування на транспорті пального з ріпакової олії та продуктів її хімічної переробки [2-4]. Проте найбільше розповсюдження отримав метиловий ефір ріпакової олії [5,6].

Аналіз результатів досліджень роботи [7] показав, що ефективна потужність двигуна при роботі на метиловому ефірі ріпакової олії (МЕРО) на номінальному режимі зменшується на 0,8–3,1 %. Погодинні (л/год) і питомі (г/кВт·год) витрати пального при цьому збільшуються на 1,9–4,2% і на 2,5–7,5% відповідно. Водночас, наявність вуглеводнів у відпрацьованих газах зменшується на 1,8–8,3% по відношенню до роботи на мінеральному дизельному пальному (ДП).

Істотне поліпшення показників дизеля відбувається на сумішевих паливах. Встановлено, що при роботі дизеля на сумішевому пальному відбувається зменшення ефективної потужності дизеля на номінальному режимі до 1%. Зростання годинних витрат не перевищує 2,6 %. Зниження димності доходить до 40% [8].

Виготовлення якісного сумішевого біопального потребує його обробки. Від вибору відповідного обладнання або пристроїв для зазначеної стадії процесу, по суті, залежить ефективність використовуваної технології.

Гідродинамічні змішувачі є ефективними апаратами, які виконують дві функції: обробки і перекачки рідини [9]. Недоліками гідродинамічного змішувача є недостатньо якісне перемішування суміші, неможливість контролю інтенсивності процесу змішування в змішувачі.

Для активації молекул метанолу рослинної олії пропонується використовувати біореактор, реакційний обсяг якого заповнений феромагнітними частинками [8]. Недоліком даної технологічної лінії є те що після сепаратора незначна частина сирого гліцерину залишається в МЕРО, що призводить до розшарування пального.

Для ефективної роботи дизелів розроблені механічні пристрої, які забезпечують підтримку необхідного складу суміші при заправці трактора. Прикладом таких апаратів є роторно–пульсаційні апарати. Недоліком даних апаратів є недотримання заданого відсоткового співвідношення змішуваних рідин [10].

Одним із шляхів підвищення ефективності використання біопального є обробка його ультразвуком безпосередньо в системі живлення двигуна [11]. Недоліком пристрою для ультразвукової обробки біопального є те, що пристрій працює тільки при позитивних температурах повітря.

Змішувачі-фільтри біопального знайшли застосування в системі живлення дизелів автотракторної техніки [12]. Недоліком змішувача-фільтра є недостатньо якісне перемішування ДП і рослинної олії.

Більшість дослідників, використовуючи суміші дизельного пального і метилового ефіру, експериментально встановили, що для інтенсифікації процесу отримання якісного біопального тільки

механічної, кавітаційної або термічної обробки недостатньо. Потрібен подальший пошук ресурсозберігаючих технологій отримання такого пального. Безсумнівний інтерес у цьому напрямку представляють технічні рішення, спрямовані на створення електротехнологічних комплексів з одночасним кавітаційним і надвисокочастотним (НВЧ) електромагнітним впливом на його фізико-хімічні властивості.

*Формулювання цілей статті.* Підвищення ефективності функціонування сільськогосподарських підприємств шляхом забезпечення часткової їх енергоавтономності по ДП на основі розробки технології і технічних засобів адаптації дизелів для ефективної роботи на сумішах МЕРО з ДП без істотних змін в конструкції двигуна внутрішнього згорання.

*Основна частина.* В 2015 році в Україні введено стандарт «Паливо дизельне ЄВРО». Технічні умови. ДСТУ 7688:2015. Стандарт передбачає сертифікацію дизельного пального з добавкою об'ємної частки метилових/етилових естерів жирних кислот (МЕЖК): В0—у разі їх відсутності; В5—не більше ніж 5%; В7 – понад 5% та не більше ніж 7%.

Як показує практика, при зростанні частки МЕРО у ДП більше 7%, в'язкість біопального підвищується. Внаслідок цього відбувається коксування паливної апаратури, зниження потужності дизельного двигуна і зростання витрат ним пального. Такий стан речей створює народногосподарську проблему, яка полягає в економії енергоресурсів в сільськогосподарському виробництві. Враховуючи те, що Україна споживає для потреб аграрно–промислового комплексу близько двох мільйонів тон «світлих» нафтопродуктів, то одним із шляхів вирішення даної проблеми є впровадження біопального з високим вмістом МЕРО в дизельне пальне.

На основі експериментальних досліджень [13-16] на кафедрі електротехнології і теплові процеси було розроблено і виготовлено електротехнологічний комплекс для обробки біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем [17,18].

Лабораторні дослідження біопального в електротехнологічному комплексі проводились на сумішах товарного мінерального дизельного пального Л–0,2–62 і метиловому ефірі ріпакової олії, який було вироблено на підприємстві ТОВ "Біонафта України" (м. Павлоград, Україна).

Після виміру в'язкості контрольних необроблених проб і відбору контрольних зразків в бак об'ємом 100 літрів заливали суміш 1 – В10 (90%ДП+10%МЕРО), відкривали вентиль бака і заповнювали ємність магнітостриктора, включали електротехнологічний комплекс і на протязі 5 хвилин проходила обробка біопального. Далі відкривали вентиль ємності магнітостриктора і оброблене біопальне поступово

витікало, а на його місце поступало із бака свіже необроблене біопальне. Вентиль ємності магніостриктора відрегульований таким чином, щоб свіже біопальне яке поступило в камеру магніостриктора знаходилось там під дією ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля 5 хвилин.

Після обробки 100 літрів біопального суміші 1 в електротехнологічному комплексі згідно з ДСТУ 4488:2005 «Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб» були відібрані проби в 3 різних точках. Потім визначалась в'язкість обробленої проби по методиці, яка описана в [13,14]. По аналогічній методиці були оброблені суміші 2- В20 і 3- В30 і визначена їх в'язкість.

В табл. 1 приведені результати вимірювання в'язкості біопального сумішей В10, В20 і В30 оброблених в електротехнологічному комплексі.

Таблиця 1 - Визначення в'язкості суміші дизельного пального і МЕРО після обробки в електротехнологічному комплексі при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}$$

| Кількіс-ть діб спостере-рігання | Час обробки 5 хв           |                                |                            |                                |                            |                                |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
|                                 | Концентрація 10%МЕРО (В10) |                                | Концентрація 20%МЕРО (В20) |                                | Концентрація 30%МЕРО (В30) |                                |
|                                 | Час вимі-рювання, хв.      | В'язкіс-ть, мм <sup>2</sup> /с | Час ви-мірюванн-я хв.      | В'язкіс-ть, мм <sup>2</sup> /с | Час ви-мірюва-ння, хв.     | В'язкіс-ть, мм <sup>2</sup> /с |
| 0,1                             | 7,20                       | 4,628                          | 7,51                       | 4,955                          | 8,48                       | 5,554                          |
| 1                               | 6,40                       | 4,208                          | 6,49                       | 4,802                          | 7,13                       | 5,002                          |
| 2                               | 6,24                       | 4,039                          | 6,39                       | 4,47                           | 7,13                       | 4,8                            |
| 3                               | 6,10                       | 3,892                          | 6,23                       | 4,2                            | 7,03                       | 4,45                           |
| 4                               | 5,56                       | 3,745                          | 6,25                       | 4,05                           | 6,57                       | 4,323                          |
| 5                               | 5,59                       | 3,777                          | 6,23                       | 4,029                          | 6,51                       | 4,323                          |
| 6                               | 5,55                       | 3,734                          | 6,21                       | 4,008                          | 6,49                       | 4,281                          |
| 7                               | 5,45                       | 3,629                          | 6,18                       | 3,976                          | 6,47                       | 4,281                          |
| 8                               | 5,40                       | 3,580                          | 6,21                       | 4,008                          | 6,51                       | 4,323                          |
| 9                               | 5,45                       | 3,629                          | 6,10                       | 3,892                          | 6,47                       | 4,281                          |
| 30                              | 5,40                       | 3,580                          | 6,15                       | 3,945                          | 6,45                       | 4,25                           |
| 60                              | 5,40                       | 3,580                          | 6,10                       | 3,945                          | 6,46                       | 4,281                          |

На основі отриманих даних були побудовані залежності в'язкості від часу спостереження для сумішей В10, В20 і В30, які представлені на рис. 1. Слід звернути увагу на те, що при обробці сумішевого біопального в електротехнологічному комплексі ультразвуком і надвисокочастотним електромагнітним полем його

в'язкість зменшилась і має приблизно ті ж значення, що і у варіанті сумісної обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем на експериментальній установці протягом 5 хв. [13]. Тобто, з плином часу спостереження в'язкість усіх сумішок пального спочатку зменшується, а потім установлюється практично на одному рівні.

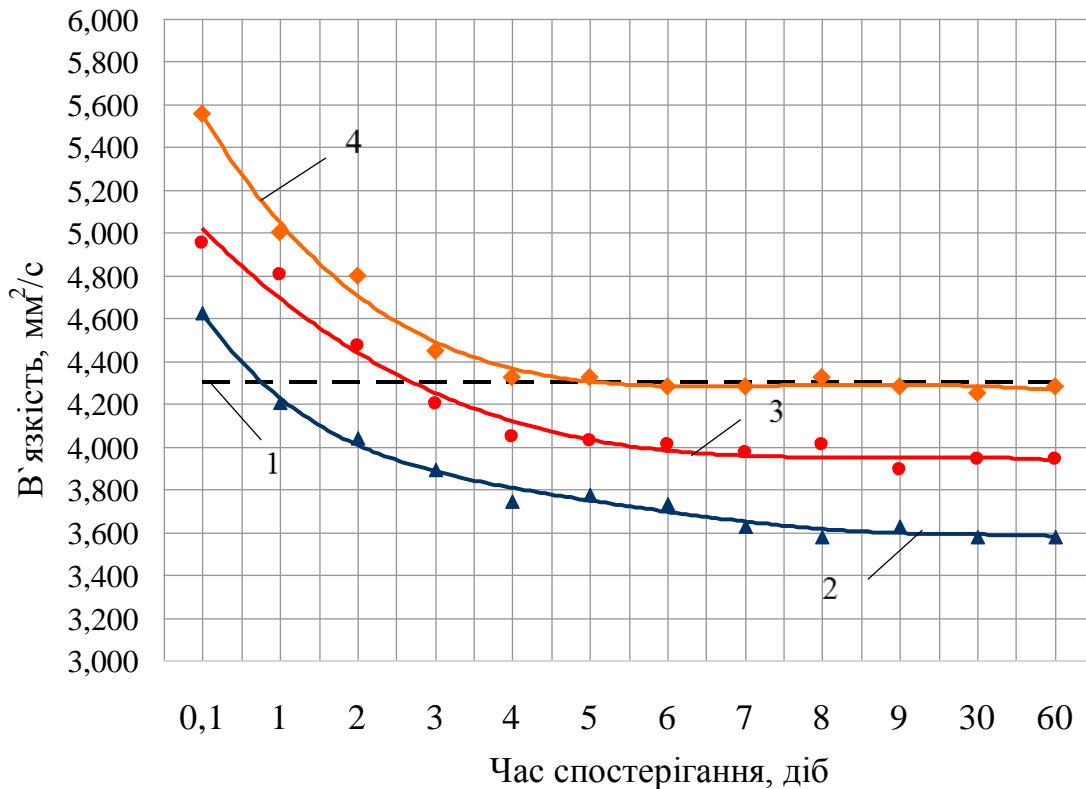


Рис. 1 Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки в електротехнологічному комплексі протягом 5 хв: 1 – ДП; 2, 3 і 4 – суміші В10, В20, В30 відповідно

Причому, зі зменшенням частки МЕРО період постійної в'язкості суміші настає пізніше. Так, наприклад, у суміші 3 (крива 4, рис. 1) період стабільної в'язкості настає після шостої доби. Для суміші 1 (крива 2, рис. 1) такий період має місце не пізніше восьмої доби спостереження.

Досить цікавим є і той факт, що у сумішок з меншою часткою МЕРО інтенсивність зменшення її в'язкості є вищою. Так, в'язкість сумішок 1 (криві 2 на рис. 1) уже через 1,0 добу спостереження стає нижчою за в'язкість чистого дизельного пального (лінія 1, рис. 1).

**Висновок.** Розроблений і виготовлений електротехнологічний комплекс дозволяє проводити обробку сумішевого біопального ультразвуком і надвисокочастотним електромагнітним полем з метою покращення функціональних властивостей біопального. Встановлено, що сумісна обробка сумішевого біопального В10 і В20 в

електротехнологічному комплексі ультразвуком і надвисокочастотним електромагнітним полем в електротехнологічному комплексі дозволила зменшити його в'язкість на 22,8% і 22,69% відповідно по відношенню до необробленого біопального.

Встановлено, що стабілізація в'язкості біопального відбувається через 7 діб після обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем. Це обумовлює необхідність відповідної витримки часу перед використанням біопального.

### Список використаних джерел:

1. Шкаликова В. Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях. Москва: Изд-во РУДН, 1993. 64 с.
2. Georgianni K. G. Alkaline conventional and in situ transesterification of cottonseed oil for the production of biodiesel. *Energy and Fuels*. 2008. Vol. 22. P. 2110–2115.
3. Georgianni K. G. Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89. P. 503–509.
4. Candeia R. A. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends. *Fuel*. 2009. Vol. 88. P. 738–743.
5. Lin B. F. Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on diesel engine performance characteristics and pollutant Emissions. *Fuel*. 2009. Vol. 88, № 9. P. 1779–85.
6. Марков В. А. Работа дизелей на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2009. № 4. С. 33–37.
7. Нагорнов С. А. Результаты моторных испытаний работы дизеля на биотопливе. *Актуальные вопросы аграрной науки и образования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (20-22 мая 2008 г.)*. Т. VI. Инженерно-техническое обеспечение АПК. Ульяновск: ГСХА, 2008. С. 123-128.
8. Малахов К. С. Моторные исследования работы дизеля на смесевом топливе. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*. 2009. № 4. С. 122.
9. Громаков А. В. Повышение эффективности функционирования машино-тракторных агрегатов за счет применения биотоплива: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Ростов-на-Дону, 2012. 21 с.
10. Фокин Р. В. Разработка комплексной технологии получения смесового топлива с улучшенными свойствами для дизельных двигателей: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03. Мичуринск, 2008. 24 с.

11. Фадеев С. А. Улучшение показателей тракторных двигателей при работе на биотопливе обработанном ультразвуком: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03. Саратов, 2011. 14 с.

12. Пат. 2486949 РФ, МПК В01F5/06. Смеситель-фильтр минерального топлива и растительного масла / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, В. В. Крюков, Е. А. Сидоров, Е. Д. Година. № 2012113657/05; заявл. 06.04.2012, опубл. 10.07.2013, Бюл. № 11.

13. Назаренко І. П. Покращення якості сумішевого біодизеля шляхом обробки його акустичним полем. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, ТДАТУ, 2016. Вип. 6, т 1. С. 164-171.

14. Назаренко І. П. Експериментальні дослідження впливу ультразвукових і СВЧ хвиль на в'язкість і густину сумішевого біодизеля. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Сер. Технічні науки*. Харків, 2016. Вип. 175: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 66-68

15. Назаренко І. П. Ультразвукова обробка сумішевого біодизеля. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Суми, 2016. Вип. 10/1 (29). С. 174-178.

16. Research into effect of ultrasonic, electromagnetic and mechanical treatment of blended biodiesel fuel on viscosity / R. Kushlyk, I. Nazarenko, R. Kushlyk, V. Nadykto. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2017. № 2/1 (86). С. 34-41. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.95985.

17. Кушлик Р. Р. Розробка електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-24.

18. Кушлик Р. Р. Електротехнологічний комплекс для обробки сумішевого біопального: конструкція і параметри. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 9, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-36.

## **ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ БІОПАЛЬНОГО ОБРОБЛЕНОГО В ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ**

**Кушлик Р. Р., Кушлик Р. В., Постол Ю. О., Гулевський В. Б.**

### *Анотація*

В роботі приведено результати вимірювання в'язкості біопального після одночасної обробки його ультразвуком і надвисокочастотним електромагнітним полем в електротехнологічному комплексі. На підставі експерименту було отримано залежності в'язкості від часу спостереження для сумішей В10, В20 і В30.

Встановлено, що сумісна обробка біопального В10 і В20 дозволила зменшити його в'язкість на 22,8% і 22,69% відповідно по відношенню до необробленого біопального.

**Ключеві слова :** дизельне пальне, біопальне, метиловий ефір ріпакової олії, ультразвук, надвисокочастотне електромагнітне поле.

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ БИОТОПЛИВА ОБРАБОТАННОГО В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Кушлык Р. Р., Кушлык Р. В., Постол Ю. А., Гулевский В. Б.

### *Аннотация*

Разработан электротехнологический комплекс, который предназначен для обработки смесового биотоплива В10, В20 и В30 ультразвуком и надвисокочастотным электромагнитным полем с целью улучшения его функциональных свойств. На основании проведенных исследований разработаны технические требования к электротехническому комплексу.

В статье приведены результаты измерения вязкости биотоплива после одновременной обработки его ультразвуком и сверхвисокочастотным электромагнитным полем в электротехнологическом комплексе.

Лабораторные исследования проводились на смесях товарного минерального дизельного топлива Л–0,2–62 и метиловом эфире рапсового масла (МЭРМ), который был произведен на предприятии ООО "Бионефть Украины" (г. Павлоград, Украина).

Экспериментальные образцы смесей готовили из дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла в процентном соотношении: 90% ДТ + 10% МЭРМ (смесь 1 - В10), 80% ДТ + 20% МЭРМ (смесь 2 - В20), 70% ДТ. + 30% МЭРМ (смесь 3 - В30) в количестве 100 литров на каждый образец. На основании полученных данных построены зависимости вязкости от времени наблюдения для смесей В10, В20 и В30.

Установлено, что комбинированная обработка биотоплива В10 и В20 ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты в электротехнологическом комплексе снизила его вязкость на 22,8% и 22,69% соответственно, по сравнению с необработанным биотопливом.

Было обнаружено, что стабилизация вязкости биотоплива происходит через 7 дней после обработки ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Это требует соответственной выдержки перед использованием биотоплива.

**Ключевые слова :** дизельное топливо, биотопливо, метиловый эфир рапсового масла, ультразвук, сверхвисокочастотное электромагнитное поле.

## MEASUREMENT OF THE VISCOSITY OF BIOFUELS TREATED IN AN ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX

R. Kushlyk, R. Kushlyk, Y. Postol, V. Hulevskyi

### **Summary**

An electro-technological complex that is intended for treatment of blenderized biofuel an ultrasound and mikrowate elektromagnetik by the electromagnetic field В10, В20, В30 with the purpose of improvement of his functional properties. On the



basis of undertaken studies technical requirements are worked out to the electro-technological complex.

The article presents the results of measuring the viscosity of biofuel after simultaneous treatment with ultrasound and ultrahigh-frequency electromagnetic field in the electrotechnological complex.

Laboratory tests were performed on mixtures of commercial mineral diesel fuel L-0.2-62 and methyl ether of rapeseed oil (MERO), which was produced at the enterprise LLC "Bionafta of Ukraine" (Pavlograd, Ukraine).

Experimental samples of mixtures were prepared from diesel fuel and rapeseed oil methyl ether in the percentage ratio: 90% DF + 10% MERO (mixture 1 – B10), 80% DF + 20% MERO (mixture 2 – B20), 70% DF + 30% MERO (mixture 3 – B30) in the amount of 100 liters for each sample. Based on the obtained data, the dependences of viscosity on the observation time for mixtures B10, B20 and B30 were constructed.

It was found that the combined treatment of biofuel B10 and B20 with ultrasound and ultra-high frequency electromagnetic field in the electrotechnological complex has reduced its viscosity by 22.8% and 22.69%, respectively, relative to untreated biofuel.

It was found that the stabilization of the viscosity of biofuels occurs 7 days after sonication and ultrahigh-frequency electromagnetic field. This necessitates appropriate forbearance before using biofuel.

**Keywords** : diesel fuel, biofuel, rapeseed oil methyl ester, ultrasound, ultrahigh-frequency electromagnetic field.