УДК 547.541.2. DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.016

ЭФИРНЫЕ ПРИСАДКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОПЛИВ И МАСЕЛ. СООБЩЕНИЕ 2

© Гасанов Ариф Гасан оглу (a), Аюбов Ильгар Гаджи оглу (a), Мамедбейли Эльдар Гусейнгулу оглу (a), Гасанова Камиля Фируддин гызы (a), Салманова Чимназ Кафар гызы (a)

(a) Институт Нефтехимических процессов Министерства Науки и Образования Азербайджана

Аннотация. Представлен обзор научных исследований в области разработки получения и применения эфирных присадок для улучшения эксплуатационных свойств топлив и масел. Показаны основные направления использования эфирных добавок в нефтеперерабатывающей промышленности на современном этапе. Сообщается, что разработка присадок к топливам всегда была следствием решения проблем, возникающих в результате прогресса двигателестроения на фоне ужесточения требований к экологической чистоте топлив и продуктов их сгорания. Авторы отмечают, что жесткие условия эксплуатации современной техники, а также истощение продуктов, обладающих необходимым комплексом физико-химических ресурсов уникальных нефтей, вызывают необходимость разработки новых синтетических продуктов для их использования в качестве компонентов топлив, смазочных масел, гидравлических и смазочно-охлаждающих жидкостей. В связи с этим, поиск и разработка технологии получения новых химических продуктов, обладающих необходимым комплексом физико-химических и эксплуатационных характеристик для создания на их основе эффективных смазочных композиций является актуальной задачей. Авторы отмечают, что одним из перспективных классов химических соединений для использования в качестве основ и компонентов топлив и смазочных материалов является эфирные соединения. Исходя из этого, в статье представлены исследования по применению эфирных добавок к топливам и маслам, в том числе и исследования самих авторов.

***Ключевые слова*:** эфирные добавки, топлива, смазочные масла, присадки.

ETHER ADDITIVES FOR IMPROVING THE PERFORMANCE PROPERTIES OF FUELS AND OILS. PART 2

© Gasanov Arif Gasan (a), Ayyubov Ilqar Hadji (a), Mammadbayli Eldar Huseynqulu (a), Hasanova Kamila Firuddin (a), Salmanova Chimnaz Qafar (a)

(a) Institute of Petrochemical Processes of Ministry of Science and Education of Azerbaijan doctor of chemical sciences

Abstract. The article presents a review of scientific research in the field of development, production and application of ether additives for improving the performance properties of fuels and oils. The main areas of application of ether additives in the oil refining industry at the present stage are shown. It is reported that the development of fuel additives has always been a consequence of solving problems arising as a result of the progress of engine building against the background of tightening requirements for the environmental friendliness of fuels and their combustion products. The authors note that the harsh operating conditions of modern equipment, as well as the depletion of products with the necessary complex of physical and chemical resources of unique oils, necessitate the development of new synthetic products for their use as components of fuels, lubricating oils, hydraulic and cutting fluids. In this regard, the search for and development of technology for obtaining new chemical products with the necessary complex of physical, chemical and performance characteristics for creating effective lubricating compositions on their basis is an urgent task. The authors note that one of the promising classes of chemical compounds for use as bases and components of fuels and lubricants is ether compounds. Based on this, the article presents studies on the use of ether additives to fuels and oils, including the studies of the authors themselves.

Key words: essential additives, fuels, lubricating oils, additives.

В первом сообщении нами были подробно описаны основные направления в области применения эфирных присадок для улучшения качества топлив и масел. Во второй части работы нами продолжено рассмотрение основных результатов исследований, осуществленных в этой области в последние годы.

Об использовании топливных присадок на основе диэтилового эфира также сообщается в работах [1-83]. Так, в работе [84] сообщается, что в настоящее время растительные масла считаются потенциальной альтернативой, которую можно использовать вместо частичной или полной замены дизельного топлива. В этом исследовании авторы использовали диэтиловый эфир в качестве кислородсодержащей добавки, чтобы исследовать возможное использование более высоких процентных содержаний биодизеля в немодифицированном дизельном двигателе. Масло нима было выбрано для производства биодизеля. Испытания проводились в установившемся режиме на одноцилиндровом дизельном двигателе DI с постоянной частотой вращения. Если такие биодизели смешивать, то процесс сгорания в дизельном двигателе будет улучшен, а количество твердых частиц уменьшится. Авторы проводили экспериментальное исследование для установления характеристик выбросов дизельного двигателя с прямым впрыском, использующего диэтиловый эфир в качестве добавки к биодизельному топливу Neat Neem oil.

В патенте [85] предложено изобретение, относящееся к присадкам для дистиллятов минерального масла с низким содержанием серы, имеющим улучшенную хладотекучесть и диспергируемость парафинов. Описанная присадка содержит сложный эфир алкоксилированного полиола и алкилфенол-альдегидной смолу и может быть использована в масляной технологии в качестве присадки к топливным маслам.

Отмечается, что микроэмульсификация – один из новых методов снижения вязкости растительных масел во избежание проблем с долговечностью дизельных двигателей

[86]. Микроэмульсионные биотоплива представляют собой прозрачные, термодинамически стабильные и однофазные смеси растительных масел и этанола в присутствии поверхностно-активных и дополнительных поверхностно-активных веществ. Добавки также были включены в составы биотоплива микроэмульсии для улучшения их стабильности и топливных свойств; однако существует ограниченное количество исследований влияния добавок на характеристики выбросов микроэмульсионных биотоплив. В этом исследовании микроэмульсионные биотоплива были приготовлены из смеси пальмового масла/дизельного топлива (1:1 об.) этанола, поверхностно-активного вещества и дополнительных поверхностно-активных веществ. Пять добавок: бутиловый эфир этиленгликоля (EGBE), этиловый эфир диэтиленгликоля (DEGEE), этиловый эфир пропиленгликоля (PGEE), метиловый эфир дипропиленгликоля (DPGME), и этилацетат (EA), были использованы для изучения влияния добавок на фазовое поведение, свойства топлива и характеристики выбросов. Результаты показали, что исследуемые добавки могут улучшить некоторые топливные свойства микроэмульсионных биотоплив с незначительным влиянием на фазовую стабильность. Кроме того, было обнаружено, что выбросы окиси углерода (CO) из микроэмульсионного биотоплива с DEGEE и EA и выбросы оксида азота (NO_x) из микроэмульсионного биотоплива со всеми добавками были ниже, чем выбросы из дизельного и биодизельного топлива. Под термином «оксид азота понимают группу соединений, включающую несколько оксидов азота, таких как N_2O (закись азота, или веселящий газ), NO (монооксид азота) и NO_2 (диоксид азота). При сжигании топлива преимущественно образуется монооксид азота (NO), который является основным компонентом оксидов азота (NO_x) в выбросах. В процессе сгорания этот относительно безвредный газ очень быстро превращается в более токсичный диоксид азота (NO_2) в атмосфере. Таким образом, авторы отмечают, что предложенные ими DEGEE и EA могут рассматриваться как перспективные добавки для составов микроэмульсионных биотоплив, которые могут улучшить свойства топлива, а также могут значительно снизить выбросы CO и NO_x.

В работах [87-89] показано, что превращение спиртов в простые эфиры, т.е. этанола в этил- *трет*- бутиловый эфир (ETBE) или *трет*- амилэтиловый эфир (TAEE) и метанол в метил- *трет*- бутиловый эфир (MTBE) или *трет.*-амилметиловый эфир (ТАМЭ) производит компоненты бензина с превосходными топливными свойствами. Авторы отмечают, что с точки зрения конечного использования простые эфиры предпочтительнее спиртов в качестве компонентов бензина. Октановое число эфиров высокое, поэтому они используются в качестве ускорителей октанового числа в бензине. Давление паров эфиров низкое, и смешение с бензином предсказуемо. Простые эфиры представляют собой соединения, не содержащие ароматических, олефиновых и сернистых соединений. В прошлом МТБЭ широко использовался в качестве оксигената в реформулированном бензине. Сначала МТБЭ использовался как бустер октанового числа. Тогда широкое использование МТБЭ было основано на его способности снижать выбросы выхлопных газов. Снижение выбросов зависит от типа оксигенатов, соотношения компонентов смеси, условий эксплуатации, характеристик двигателя и многих других параметров. Выбросы CO и HC обычно снижаются, но NO_x выбросы могут увеличиться. Эфиры совместимы с существующей цепочкой распределения автомобилей и топлива. Растворимость простых эфиров в воде низкая, и, следовательно, эфиры не несут риска разделения фаз или других

проблем, связанных с водой. Таким образом, авторы подводят заключение о преимуществах применения эфирных присадок к топливам:

- высокое октановое число
- отсутсвие азеотропа с бензином
- низкая летучесть
- более низкие выбросы вредных отходов
- не агрессивны по отношению к обычным материалам
- низкая растворимость в воде
- совместимость с современными автомобилями и инфраструктурой

Однако по заключению авторов эфирные добавки также имеют и недостатки: более высокие выбросы альдегидов по сравнению с не кислородсодержащим бензином, а также более высокие выбросы NO_x.

Сообщается изобретение [90], относящееся к углеводородным жидким топливным маслам, в частности к углеводородным жидким топливным маслам, имеющим улучшенную стойкость к образованию отложений. Авторы патента отмечают, что различные марки печных масел и дизельных масел, и в частности те, которые получены с помощью процессов термо- или каталитического крекинга, очень чувствительны к образованию осадка полимерного материала, обычно называемого шламом. Образование шлама в жидком топливе крайне нежелательно, так как он забивает масляные линии, форсунки горелок, насосы и фильтры. Многие присадки к смазочным маслам, такие как используемые в картерах бензиновых двигателей для предотвращения образования вредных отложений в таких двигателях, оказались относительно неэффективными противозадирными средствами для жидкого топлива. В связи с этим, авторы поставили целью создание новых и улучшенных материалов для стабилизации углеводородного жидкого топлива против образования шлама. Это достигается путем включения в углеводородное топливо относительно небольших количеств определенных сложных эфиров сахарозы. Добавки на основе сложного эфира сахарозы включают сахарозу, имеющую одну или две гидроксильные группы, этерифицированные алифатической карбоновой кислотой, имеющей по меньшей мере 8 атомов углерода, и предпочтительно алкил- или алкенилкарбоновые кислоты ряда C_{14}-C_{18}. Добавки сложного эфира сахарозы по изобретению представляют собой сложные моноэфиры или диэфиры или их смеси. Более полно этерифицированные сложные эфиры сахарозы менее эффективны в качестве ингибиторов образования отложений в жидком топливе.

В работе [91] авторы сообщают, что в предыдущих исследованиях одноцилиндрового дизельного двигателя IDI и турбодизельного двигателя V-8 DI наблюдалось значительное сокращение выбросов твердых частиц при использовании смеси эфиров гликоля в дизельном топливе. В этом исследовании эксперименты по влиянию кислородсодержащего топлива на выбросы и сгорание проводились в 4-цилиндровом дизельном двигателе TDI. Смесь 20 мас. % моноглима и 80 мас. % диглима была исследована в качестве агента для реформинга дизельного топлива. Считалось, что соотношение в смеси обеспечивает приблизительно 2, 4 и 6 мас. % кислорода для дизельного топлива с низким содержанием серы. Измерения выбросов газообразных и твердых частиц, а также анализ скорости тепловыделения использовались для определения масштабов выбросов и сгорания при увеличении массового процента кислорода в топливе,

особенно при высокой нагрузке. Этот эффект насыщенного кислородом топлива может быть результатом повышенной концентрации атомов кислорода в чрезмерно богатой смеси, тем самым способствуя подавлению образования сажи и термическому образованию NO за счет перехода на более бедную смесь. Результаты с низкой нагрузкой означают, что комбинированный эффект относительно высокой степени рециркуляции выхлопных газов и добавления кислорода способствуетснижениюкак NO, так и сажи за счет комбинации снижения температуры пламени и подавления предшественников сажи. Таким образом, авторы пришли к выводу о том, что сложные эфиры гликоля оказывают благоприятное влияние на качество топлива при работе на 4-цилиндровом двигателе.

Отмечается, что сжигание обычных видов топлива в транспортном секторе является решающим фактором глобального потепления и вызывает ряд вредных выбросов [92]. Для уменьшения этих неблагоприятных факторов, разрабатываются и внедряются новые топливные добавки. Авторы отмечают, что в последние годы использование полиоксиметилендиметиловых эфиров в качестве топливных добавок привлекает все большее внимание из-за снижения воздействия на окружающую среду. Конкретной целью данной статьи является систематический обзор области применения таких добавок к топливам для двигателей внутреннего сгорания. Также обсуждаются предыстория и основные моменты текущего и будущего применения полиоксиметилендиметиловых эфиров (ПОДЭ), а также кратко рассматриваются проблемы, связанные с использованием этой добавки. Ряд исследований показал, что использование топливных смесей с содержанием от 3-4 до 10% может оказать значительное влияние на снижение выбросов двигателя. Было показано, что ПОДЭ снижает выбросы сажи, твердых частиц, CO при различных параметрах и условиях работы, хотя было обнаружено, что выбросы NO и удельный расхода топлива при этом увеличиваются.

В работе [93] сообщается о синтезе двух видов фенол- и N-содержащих боратных эфиров, BTEB и BMEB, обладающих хорошей устойчивостью к гидролизу благодаря координационной связи B-N. Значение P_B улучшилось на 60,7% и 67,6% соответственно при 0,5 мас. % BTEB и BMEB в рапсовом масле. Их противоизносный эффект увеличивается с увеличением количества добавляемого содержимого, причем для BMEB лучше, чем для BTEB. Авторы отмечают, что эффект снижения трения у BTEB лучше, чем у BMEB. Все добавки образовывали защитную пленку, содержащую BOx, FeOx и другие органические соединения азота. Лучшая производительность BMEB может быть связана со сложной пограничной смазочной пленкой, которая содержит сульфат железа, сульфид железа. Обе эфирные добавки обладали хорошим антиоксидантным действием, увеличивая энергию активации окисления на 51,15% и 78,82% соответственно при 0,25% масс. по сравнению с рапсовым маслом.

Отмечается, что масло нима, являющееся непищевым маслом, имеет очень ограниченное применение, и его метиловый эфир представляет собой биодизельное топливо, полученное путем этерификации масла нима [94]. Авторы статьи использовали диэтиловый эфир для смешивания с маслом с таким биотопливом и дизельным топливом. Различные пропорции дизельного топлива, биодизеля и эфира были исследованы в четырехцилиндровом дизельном двигателе DI. Более высокая скрытая теплота испарения эфира дает охлаждающий эффект в цилиндре двигателя. Высокое содержание кислорода в своем химическом составе наряду с очень низким цетановым

числом. Приводит к уменьшению концентрации дыма, окиси углерода (CO) и окиси азота (NOx) при его добавлении. Однако выбросы несгоревших углеводородов увеличились. Было обнаружено, что дизельное топливо с добавкой эфира отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики из-за большой разницы в их температурах вспышки и неправильного сгорания, однако биодизельное топливо с добавкой эфира является хорошим перспективным топливом, поскольку оно дает очень хорошие характеристики и характеристики выбросов.

В патенте [95] предложена эфирная добавка для улучшения текучести на холоде и диспергируемости парафинов жидкого топлива. Подобную присадку получают путем прививки сложного эфира, спирта C8-C22 и акриловой кислоты на сополимер, содержащий, помимо этилена, винилацетат (3,5-21 мол. %) и производное винилового эфира (0,5-16 мол.%).

В работе [96] в качестве биодизельного топлива предложено использование метилового эфира кокосового масла с добавками диэтилового эфира. Авторы использовали различные концентрации эфира и выявили влияние последнего на качества топлива и характеристики выброса двигателя.

Моно- и диэфиры гликоля были использованы в качестве оксигенатной присадки в статье [97], а в другой работе [98] предложен трис [4- (хлорфенокси)фенил] фосфат в качестве эффективной смазывающей присадки к высокотемпературным смазочным материалам [99,100].

Таким образом, анализ исследований представленных работ позволяет сделать вывод о широком ассортименте эфирных присадок к топливам и маслам и благоприятных перспективах их применения в нефтяной и машиностроительной промышленности.

В наших исследованиях запланирован синтез эфиров норборненового ряда, в частности простых алкилнорборнениловых эфиров и исследование их свойств с целью дальнейшего применения в качестве добавок к топливам и маслам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jawre S., Bhagat A., Moghe S. Diethyl ether as additive and its effect on diesel engine performance – a review // Glob. Res. Develop. Journal Eng., 2016, N 1, pp. 27-31
2. Krishnamoorthi M., Malayalamurthi R. A review on effect of diethyl ether additive on combustion performance and emission characterictics of a diesel and biodiesel/vegetable oil fuelled engine // Adv. Nat. Appl. Sci., 2016, Vol. 10, pp 8-17
3. Bailey B, Eberhardt J, Goguen S. Diethyl ether (DEE) as a renewable diesel fuel. Society of Automotive Engineers Transactions // J of Fuels and Lubricants, 1997; Vol.106, pp. 1–10
4. Sezer I. Thermodynamic, performance and emission investigation of a diesel engine running on dimethyl ether and diethyl ether // Int. J. Therm Sci., 2011, Vol. 50, pp.1594–1603.
5. Mohan B, Yang W, Yu W. Numerical analysis of spray characteristics of dimethyl ether and diethyl ether fuel // Appl. Energy, 2017, Vol.185, pp.1403–1410.
6. Rakopoulos D.C., Rakopoulos C., Giakoumis E.G. Characteristics of performance and emissions in high-speed direct injection diesel engine fueled with diethyl ether/diesel fuel blends // Energy, 2012, Vol.43, pp. 214–224

7. Rakopoulos D., Rakopoulos C., Giakoumis E. Studying combustion and cyclic irregularity of diethyl ether as supplement fuel in diesel engine // Fuel, 2013, Vol. 109, pp. 325-335
8. Patil K.R., Thipse S.S. The effect of injection timing on the performance and emission of direct injection CI engine running on diethyl ether-diesel blends // Int. J. Automot. Mech. Eng., 2016, Vol. 13, pp. 3773–3787
9. Rathod P.H., Darunde D.S. Experimental investigation and performance analysis of diethyl ether (DEE) and tert-amyl ethyl ether (TAEE) blend with diesel in C.I.D.I. engine: a review // Int. J. Res. Sci. Eng., 2015, N 2, pp. 137–142
10. Karthik, AV, Kumar, SP. Experimental study of 4-stroke diesel engine blending with alternate fuel diethyl ether (DEE) and exhaust gas recirculation (EGR) system. Int J Eng Sci Comput 2016; 6: 7054–7058.
11. Banapurmath, NR, Khandal, SV, Ranganatha, SL, et al. Alcohol (ethanol and diethyl ethyl ether)-diesel blended fuels for diesel engine applications-a feasible solution. Adv Automob Eng 2015; 4: 1–8.
12. Lee, S, Kim, TY. Performance and emission characteristics of a DI diesel engine operated with diesel/DEE blended fuel. Appl Therm Eng 2017; 121: 454–461.
13. Saravanan, D, Vijayakumar, T, Thamaraikannan, M. Experimental analysis of combustion and emissions characteristics of CI engine powered with diethyl ether blended diesel as fuel. Res J Eng Sci 2012; 1: 41–47
14. Ibrahim, A. Investigating the effect of using diethyl ether as a fuel additive on diesel engine performance and combustion. Appl Therm Eng 2016; 107: 853–862.
15. Likhitha, SSS, Prasad, BD, Kumar, RV. Investigation on the effect of diethyl ether additive on the performance of variable compression ratio diesel engine. Int J Eng Res 2014; 3: 11–15.
16. Kumar, RS., Nagaprasad, KS. Investigation on diesel engine performance by injecting diethyl ether as an additive with exhaust gas recirculation using diesel particulate filter. IJIRSET 2014; 3: 15192–15200.
17. Madhu, S, Chaitanya, AVK, Bridjesh, P. Effects of diethyl ether on performance and emission characteristics of a diesel engine using toroidal profile bowl piston by varying injection pressure. Int J Mech Eng Technol 2017; 8: 96–106.
18. Danesha, D, Manjunath, H. Production and characterization of biodiesel from Simarouba Glauca seed oil with diethyl ether as an additive and its performance and emission evaluation on single cylinder, four stroke C.I engine. Int J Res Eng Technol 2016; 5: 64–68
19. Prasadarao, BVV, Haribabu, N, Ramana, MV. The role of oxygenated fuel additive (DEE) along with palm methyl ester and diesel to estimate performance and emission analysis of DI-diesel engine. Int J Eng Res Technol 2014; 3: 1–9.
20. Cinar, C, Can, Ö, Sahin, F, et al. Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine. Appl Therm Eng 2010; 30: 360–365.
21. Sudhakar, S, Sivaprakasam, S. Experimental investigation on combustion characteristics in DI diesel engine using diethyl ether fumigation with ethanol blended diesel. Int J Renew Energy Res 2014; 4: 872–878.
22. Sudhakar, S, Sivaprakasam, S. Effects of diethyl ether fumigation in DI diesel engine using bio ethanol blended diesel. Int J Innovat Scient Res 2014; 11: 65–71.

23. Sudhakar, S, Sivaprakasam, S. The effect of exhaust gas recirculation on diethyl ether fumigation in DI diesel engine with ethanol blended diesel. Int J Eng Res Technol 2014; 3: 538–548.
24. Paul, A, Bose, PK, Panua, RS, et al. Study of performance and emission characteristics of a single cylinder CI engine using diethyl ether and ethanol blends. J Energy Inst 2015; 88: 1–10.
25. Paul, A, Panua, RS, Debroy, D, et al. Effect of diethyl ether and ethanol on performance, combustion, and emission of single cylinder compression ignition engine. Int J Amb Energy 2017; 38: 2–13
26. Lukhman, MM, Sadees, P, Pradeep, V, et al. Experimental investigation on diethyl ether as an ignition improver in diesel- ethanol emulsified fuel for C.I. engine. In: *International conference on systems, science, control, communication, engineering and technology* 2016; 2: 554–560.
27. Kumar, MM, Reddy, SSK. Performance characteristics of single cylinder DI diesel engine by using di-ethyl ether as an additive with diesel ethanol blend. Int J Sci Eng Technol Res 2015; 4: 3272–3275.
28. Patnaik, PP, Jena, SP, Acharya, SK, et al. Effect of $FeCl_3$ and diethyl ether as additives on compression ignition engine emissions. Sustain Environ Res 2017; 27: 154–161.
29. Patil, KR, Thipse, SS. Experimental investigation of CI engine combustion, performance and emissions in DEE-kerosene-diesel blends of high DEE concentration. Energy Convers Manag 2015; 89: 396–408.
30. Mahla, SK, Kumar, S, Shergill, H, et al. Study the performance characteristics of acetylene gas in dual fuel engine with diethyl ether blends. Int J Emerg Technol 2012; 3: 80–83.
31. Sudheesh, K, Mallikarjuna, JM. Diethyl ether as an ignition improver for biogas homogeneous charge compression ignition (HCCI) operation-an experimental investigation. Energy 2010; 35: 3614–3622
32. Jothi, NKM, Nagarajan, G, Renganarayanan, S. Experimental studies on homogeneous charge CI engine fueled with LPG using DEE as an ignition enhancer. Renew Energy 2007; 32: 1581–1593.
33. Karabektas, M, Ergen, G, Hosoz, M. The effects of using diethylether as additive on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with CNG. Fuel 2014; 115: 855–860.
34. Polat, S. An experimental study on combustion, engine performance and exhaust emissions in a HCCI engine fuelled with diethyl ether-ethanol fuel blends. Fuel Process Technol 2016; 143: 140–150.
35. Mack, JH, Buchholz, BA, Flowers, DL, et al. The effect of the di-tertiary butyl peroxide (DTBP) additive on HCCI combustion of fuel blends of ethanol and diethyl ether. Society of Automotive Engineers Transactions. *J of Fuels and Lubricants* 2015; 114: 1–8.
36. ranesh, G, Samuel, PM, Thankachan, B, et al. Performance and emission characteristics of blending diethyl ether in cotton seed oil methyl ester using a direct injection diesel engine. Int J Appl Mech Prod Eng 2015; 1: 14–16.
37. Rakopoulos, DC. Combustion and emissions of cottonseed oil and its bio-diesel in blends with either n-butanol or diethyl ether in HSDI diesel engine. Fuel 2013; 105: 603–613.

38. Rakopoulos, DC, Rakopoulos, CD, Kyritsis, DC. Butanol or DEE blends with either straight vegetable oil or biodiesel excluding fossil fuel: Comparative effects on diesel engine combustion attributes, cyclic variability and regulated emissions trade-off. Energy 2016; 115: 314–325.
39. Rakopoulos, DC, Rakopoulos, CD, Giakoumis, EG, et al. Influence of properties of various common bio-fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n-butanol, diethyl ether. Energy 2014; 73: 354–366.
40. Krishna, R, Bandewar, AG, Dongare, VK. Experimental investigations of blending diethyl ether in karanja vegetable oil using a multi-cylinder diesel engine. Int J Res Innovat Technol 2014; 1: 70–73.
41. Singh, I, Sahni, V. Performance analysis of the compression ignition engine using karanja biodiesel with additive diethyl ether. In: *International conference on aeronautical, automotive and manufacturing engineering* Kuala Lumpur, Malaysia, 25–26 August 2015, pp. 9–12.
42. Jawre, SS, Lawankar SM. Performance analysis of kusum methyl ester as alternative biofuel in diesel engine with diethyl ether as additive. Int J Innovat Res Develop 2014; 3: 139–144.
43. Jawre, SS, Lawankar, SM. Experimental analysis of performance of diesel engine using kusum methyl ester with diethyl ether as additive. Int J Eng Res Appl 2014; 4: 106–111.
44. Babu, PR, Rao, KP, Rao, BVA. The role of oxygenated fuel additive (DEE) along with mahuva methyl ester to estimate performance and emission analysis of DI-diesel engine. Int J Therm Technol 2012; 2: 119–123.
45. Sivalakshmi, S, Balusamy, T. Effect of biodiesel and its blends with diethyl ether on the combustion, performance and emissions from a diesel engine. Fuel 2013; 106: 106–110.
46. Ali, OM, Mamat, R, Faizal, CKM. Effects of diethyl ether additives on palm biodiesel fuel characteristics and low temperature flow properties. Int J Adv Sci Technol 2013; 52: 111–120
47. Kumar, JS, Prasad, SVM. Experimental study on performance charteristics of C.I. engine fueled with biodiesel and its blends diethyl ether. Int J Mag Eng Technol Manag Res 2014; 1: 36–40.
48. Satyanarayanamurthy, YVV. Experimental investigations of real time secondary co-injection of water-diethyl ether solution in DI-diesel engine fuelled with palm kernel methyl ester. J Eng Sci Technol 2012; 7: 711–721.
49. Rajan, K, Prabhahar, M, Senthilkumar, KR. Experimental studies on the performance, emission and combustion characteristics of a biodiesel-fuelled (pongamia methyl ester) diesel engine with diethyl ether as an oxygenated fuel additive. Int J Amb Energy 2016; 37: 439–445.
50. Geo, VE, Nagarajan, G, Nagalingam, B. Studies on improving the performance of rubber seed oil fuel for diesel engine with DEE port injection. Fuel 2010; 89: 3559–3567.
51. Hariharan, S, Murugan, S, Nagarajan, G. Effect of diethyl ether on tyre pyrolysis oil fueled diesel engine. Fuel 2013; 104: 109–115.

52. Devaraj, J, Robinson, Y, Ganapathi, P. Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. Energy 2015; 85: 304–309.
53. Kaimal, VK, Vijayabalan, P. An investigation on the effects of using DEE additive in a DI diesel engine fuelled with waste plastic oil. Fuel 2016; 180: 90–96.
54. Barik, D, Murugan, S. Effects of diethyl ether (DEE) injection on combustion performance and emission characteristics of Karanja methyl ester (KME)–biogas fueled dual fuel diesel engine. Fuel 2016; 164: 286–296
55. Sachuthananthan, B, Jeyachandran, K. Combustion, performance and emission characteristics of water-biodiesel emulsion as fuel with DEE as ignition improver in a DI diesel engine. J Environ Res Develop 2007; 2: 164–172.
56. Krishnamoorthi, M, Malayalamurthi, R. Experimental investigation on performance, emission behavior and exergy analysis of a variable compression ratio engine fueled with diesel-aegle marmelos oil-diethyl ether blends. Energy 2017; 128: 312–328.
57. Kumar, A, Rajan, K, Naraynan, MR, et al. Performance and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with cashew nut shell oil (CNSO)-diesel blends with diethyl ether as additive. Appl Mech Mater 2015; 787: 746–750.
58. Kumar, A, Rajan, K, Kumar, KRS, et al. Green fuel utilization for diesel engine, combustion and emission analysis fuelled with CNSO diesel blends with diethyl ether as additive. Mater Sci Eng 2017; 197: 1–10.
59. Ganesha, T, Chethan, KS. An experimental investigation of the performance and emission of diesel engine fueled with cashew shell oil methyl ester (CSOME) and it's blend with diethyl ether and conventional diesel. Imper J Interdisciplin Res 2016; 2: 922–929.
60. Srihari, S, Thirumalini, S, Prashanth, K. An experimental study on the performance and emission characteristics of PCCI-DI engine fuelled with diethyl ether-biodiesel-diesel blends. Renew Energy 2017; 107: 440–447.
61. Firew, D, Babu, NR, Didwania, M. The performance evaluation of diethyl-ether (DEE) additive with diesel blends using diesel engine test rig. Int J Scient Eng Res 2016; 7: 23–29.
62. Biradar, CH, Subramanian, KA, Dastidar, MG. Performance improvement and emissions reduction of a DI diesel engine for use of karanja biodiesel-diesel blend (B20) using diethyl ether. Society of Automotive Engineers 2011, paper no 2011-26-0004, pp. 1–7.
63. Manickam, AR, Rajan, K, Manoharan, N, et al. Experimental analysis of a diesel engine fuelled with biodiesel blend using di-ethyl ether as fuel additives. Int J Eng Technol 2014; 6: 2412–2420.
64. Channe, PK, Kulkarni, RK. Performance testing of diesel engine using KME and DEE blends with kerosene: a review. Int J Mech Eng 2015; 3: 1–5.
65. Nagdeote, DD, Deshmukh, MM. Experimental study of diethyl ether and ethanol additives with biodiesel-diesel blended fuel engine. Int J Emerg Technol Adv Eng 2012; 2: 195–199.
66. Vadivel, N, Somasundaram, P, Krishnamoorthi, M. Performance and emission characteristics of a CI engine fueled with diesel -biodiesel (mahua/mustard) blend with diethyl ether additive. J Chem Pharmaceut Sci 2015; 7: 109–115.
67. Sudhakar, S, Sivaprakasam, S. Potential of diethyl ether blends with biodiesel in di diesel engine-an experimental investigation. Int J Res Eng Adv Technol 2014; 2: 1–6.

68. Krishnamoorthi, M. Exergy analysis of diesel engine powered by diesel-mustard biodiesel blend with diethyl ether as additive. J Chem Pharmaceut Res 2015; 7: 809–816.
69. Sathiyamoorthi, R, Sankaranarayanan, G, Pitchandi, K. Combined effect of nanoemulsion and EGR on combustion and emission characteristics of neat lemongrass oil (LGO)-DEE-diesel blend fuelled diesel engine. Appl Therm Eng 2017; 112: 1421–1432.
70. Imtenan, S, Masjuki, HH, Varman, M, et al. Effect of n-butanol and diethyl ether as oxygenated additives on combustion-emission-performance characteristics of a multiple cylinder diesel engine fuelled with diesel-jatropha biodiesel blend. Energy Convers Manag 2015; 94: 84–94.
71. Akshatha, DS, Manavendra, G, Kumarappa, S. Performance evaluation of neem biodiesel on CI engine with diethyl ether as additive. Int J Innovat Res Sci Eng Technol 2013; 2: 3729–3736.
72. Kumar, JV, Rao, CJ. Experimental investigation of performance and emission characteristics of diesel engine working on diesel and neem oil blend with diethyl ether as additive. Int J Technolog Explorat Learn 2014; 3: 581–588.
73. Annamalai, K, Kumar, ARP, Premkartik, K. Adelfa (NOME-nerium oil methyl ester) with DEE as the fuel additive for NOx reduction in DI diesel engines—an experimental investigation. J Scient Industr Res 2014; 73: 627–632.
74. Ali, OM, Mamat, R, Masjuki, HH, et al. Analysis of blended fuel properties and cycle-to-cycle variation in a diesel engine with a diethyl ether additive. Energy Conv Manag 2016; 108: 511–519.
75. Imtenan, S, Varman, M, Masjuki, HH, et al. Effect of DEE as an oxygenated additive on palm biodiesel-diesel blend in the context of combustion and emission characteristics on a medium duty diesel engine. In: *4th International conference on environmental, energy and biotechnology* 2015; 85: 100–104.
76. Muneeswaran, R, Thansekhar, MR, Varatharajan, K. Effect of diethyl ether addition to palm stearin biodiesel blends on NOx emissions from a diesel engine. Asian J Res Soc Sci Humanit 2016; 6: 1382–1394.
77. Samuel, KJ, Raj, RTK, Sreenivasulu, N, et al. An experimental study on performance and emissions of a direct ignition diesel engine with crude pongamia, pongamia methyl ester and diethyl ether blended with diesel. Int J Renew Energy Res 2016; 6: 1506–1515.
78. Pugazhvadivu, M, Rajagopan, S. Investigations on a diesel engine fuelled with biodiesel blends and diethyl ether as an additive. Ind J Sci Technol 2009; 2: 31–35.
79. Krishnamoorthi, M, Natarajan, A. Performance and emission characteristics of a CI engine fueled with diesel-waste fried oil blend with DEE as additive. Int J Res Appl Sci Eng Technol 2015; 3: 65–72.
80. Senthil, R, Sivakumar, E, Silambarasan, R. Effect of diethyl ether on the performance and emission characteristics of a diesel engine using biodiesel-eucalyptus oil blends. RSC Adv 2015; 5: 54019–54027.
81. Venu, H, Madhavan, V. Effect of diethyl ether and Al_2O_3 nano additives in diesel-biodiesel-ethanol blends: performance, combustion and emission characteristics. J Mech Sci Technol 2017; 31: 409–420.

82. Venu, H, Madhavan, V. Effect of nano additives (titanium and zirconium oxides) and diethyl ether on biodiesel-ethanol fuelled CI engine. J Mech Sci Technol 2016; 30: 2361–2368.
83. Qi, DH, Chen, H, Geng, LM, et al. Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine. Renew Energy 2011; 36: 1252–1258.
84. Venu, H, Madhavan, V. Influence of diethyl ether (DEE) addition in ethanol-biodiesel-diesel (EBD) and methanol-biodiesel-diesel (MBD) blends in a diesel engine. Fuel 2017; 189: 377–390.
85. Shinde, S, Yadav, SD. Theoretical properties prediction of diesel-biodiesel-DEE blend as a fuel for C.I. engine with required modifications for optimum performance. Int J Curr Eng Technol 2016; 6: 1562–1567.
86. Jayaprabakar J., Beemkumar M., Mathew A., George A. Effect of diethyl ether blended with neem oil methyl esters in CI engine // International Journal of Ambient Energy, 2019, Vol. 40, N 2, pp. 116-118
87. Patent US, 20050000152A1, 2005 Additives for sulphur-poor mineral oil distillates comprising an ester of an alkoxylated polyol and an alkylphenol-aldehye resin // Krull M., Hess M.
88. Chodchanok Attaphong, Pichit Lumyong, Sasiwimon Wichadee, Sutha Khaodhiar, Piampoom Sarikprueck, David Sabatini Effect of additives on fuel properties and emission characteristics of micromulsion biofuels from palm oil // Abstracts of International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2017, Belgium, p 26
89. Aakko P. Gasoline quality and its impacts on the emissions // Proc. Cleaner Fuels for Europe. Helsinki,. 2000. VTT Energy. Espoo 15 p.
90. Aakko-Saksa P., Rantanen-Kolehmainen L., Koponen P., Engman A., Kihlman J. Biogasoline options – Possibilities for achieving high bio-share and compatibility with conventional cars //SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 2011, Vol. 4, pp. 298–317
91. Arteconi A., Mazzarini A., Di Nicola G. Emissions from ethers and organic carbonate fuel additives: Review // Water, Air & Soil Pollution, 2011, pp. 1–19.
92. Patent US 2992082A, 1958 Anti-sludging hydrocarbon fuel oils // Ownby J., Davis H.
93. Song J., Cheenkachorn K., Wang J., Perez J. Effect of oxygenated fuel on combustion and emissions in a light-duty turbo diesel engine // Energy Fuels, 2002, Vol. 16, N 2, pp. 294–301
94. Awad O., Ma X., Kamil A. Overview of polyoxymethylene dimethyl ether additive as an eco-friendly fuel for an internal combustion engine: Current application and environmental impacts // The Science of the Total Environment, 2020, Vol. 3, N 5, pp 715-724
95. Zhongyi H., Liping X., Feng X., Mingxue S. Tribological and antioxidation properties study of two N-containing borate ester derivatives as additive in rapeseed oil // PLoS ONE, 2018, Vol. 13, N 12, pp 207-227.
96. Nitin Shrivastava, Tejal Sungra A study to investigate the effect of Diethyl ether as additive on the performance and emissions of engine using diesel and Neem oil methyl ester as fuel // International Journal of Renewable Energy Research, 2018, Vol. 8, N 2, pp. 453-462
97. Patent EP 1808450A1, 2006 Additives for low-sulphur mineral oil distillates, including graft copolymers based on ethylene-vinyl ester copolymers // French G.

98. Bhanu Teja S. Evaluation of performance characteristics on VCR-DI-Diesel engine fueled with coconut methyl ester and dI-ethyl ether as an additive // International Journal of Advanced Science and Technology, 2020, Vol. 29, N 66, pp. 816-824
99. Smith B., Ott L., Bruno T. Composition-explicit distillation curves of diesel fuel with glycol ether and glycol ester oxygenates // Environ. Sci. Technol., 2008, Vol. 42, N 20, pp.7682-7689
100. Patent US 5196130A, 1991 Lubricity additive for high-temperature gas turbine engine oils // Gschwender L., Synder C.

REFERENCES

1. Jawre S., Bhagat A., Moghe S. Diethyl ether as additive and its effect on diesel engine performance – a review // Glob. Res. Develop. Journal Eng., 2016, N 1, pp. 27-31
2. Krishnamoorthi M., Malayalamurthi R. A review on effect of diethyl ether additive on combustion performance and emission characterictics of a diesel and biodiesel/vegetable oil fuelled engine // Adv. Nat. Appl. Sci., 2016, Vol. 10, pp 8-17
3. Bailey B, Eberhardt J, Goguen S. Diethyl ether (DEE) as a renewable diesel fuel. Society of Automotive Engineers Transactions // J of Fuels and Lubricants, 1997; Vol.106, pp. 1–10
4. Sezer I. Thermodynamic, performance and emission investigation of a diesel engine running on dimethyl ether and diethyl ether // Int. J. Therm Sci., 2011, Vol. 50, pp.1594–1603.
5. Mohan B, Yang W, Yu W. Numerical analysis of spray characteristics of dimethyl ether and diethyl ether fuel // Appl. Energy, 2017, Vol.185, pp.1403–1410.
6. Rakopoulos D.C., Rakopoulos C., Giakoumis E.G. Characteristics of performance and emissions in high-speed direct injection diesel engine fueled with diethyl ether/diesel fuel blends // Energy, 2012, Vol.43, pp. 214–224
7. Rakopoulos D., Rakopoulos C., Giakoumis E. Studying combustion and cyclic irregularity of diethyl ether as supplement fuel in diesel engine // Fuel, 2013, Vol. 109, pp. 325-335
8. Patil K.R., Thipse S.S. The effect of injection timing on the performance and emission of direct injection CI engine running on diethyl ether-diesel blends // Int. J. Automot. Mech. Eng., 2016, Vol. 13, pp. 3773–3787
9. Rathod P.H., Darunde D.S. Experimental investigation and performance analysis of diethyl ether (DEE) and tert-amyl ethyl ether (TAEE) blend with diesel in C.I.D.I. engine: a review // Int. J. Res. Sci. Eng., 2015, N 2, pp. 137–142
10. Karthik, AV, Kumar, SP. Experimental study of 4-stroke diesel engine blending with alternate fuel diethyl ether (DEE) and exhaust gas recirculation (EGR) system. Int J Eng Sci Comput 2016; 6: 7054–7058.
11. Banapurmath, NR, Khandal, SV, Ranganatha, SL, et al. Alcohol (ethanol and diethyl ethyl ether)-diesel blended fuels for diesel engine applications-a feasible solution. Adv Automob Eng 2015; 4: 1–8.
12. Lee, S, Kim, TY. Performance and emission characteristics of a DI diesel engine operated with diesel/DEE blended fuel. Appl Therm Eng 2017; 121: 454–461.
13. Saravanan, D, Vijayakumar, T, Thamaraikannan, M. Experimental analysis of combustion and emissions characteristics of CI engine powered with diethyl ether blended diesel as fuel. Res J Eng Sci 2012; 1: 41–47

14. Ibrahim, A. Investigating the effect of using diethyl ether as a fuel additive on diesel engine performance and combustion. Appl Therm Eng 2016; 107: 853–862.
15. Likhitha, SSS, Prasad, BD, Kumar, RV. Investigation on the effect of diethyl ether additive on the performance of variable compression ratio diesel engine. Int J Eng Res 2014; 3: 11–15.
16. Kumar, RS., Nagaprasad, KS. Investigation on diesel engine performance by injecting diethyl ether as an additive with exhaust gas recirculation using diesel particulate filter. IJIRSET 2014; 3: 15192–15200.
17. Madhu, S, Chaitanya, AVK, Bridjesh, P. Effects of diethyl ether on performance and emission characteristics of a diesel engine using toroidal profile bowl piston by varying injection pressure. Int J Mech Eng Technol 2017; 8: 96–106.
18. Danesha, D, Manjunath, H. Production and characterization of biodiesel from Simarouba Glauca seed oil with diethyl ether as an additive and its performance and emission evaluation on single cylinder, four stroke C.I engine. Int J Res Eng Technol 2016; 5: 64–68
19. Prasadarao, BVV, Haribabu, N, Ramana, MV. The role of oxygenated fuel additive (DEE) along with palm methyl ester and diesel to estimate performance and emission analysis of DI-diesel engine. Int J Eng Res Technol 2014; 3: 1–9.
20. Cinar, C, Can, Ö, Sahin, F, et al. Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine. Appl Therm Eng 2010; 30: 360–365.
21. Sudhakar, S, Sivaprakasam, S. Experimental investigation on combustion characteristics in DI diesel engine using diethyl ether fumigation with ethanol blended diesel. Int J Renew Energy Res 2014; 4: 872–878.
22. Sudhakar, S, Sivaprakasam, S. Effects of diethyl ether fumigation in DI diesel engine using bio ethanol blended diesel. Int J Innovat Scient Res 2014; 11: 65–71.
23. Sudhakar, S, Sivaprakasam, S. The effect of exhaust gas recirculation on diethyl ether fumigation in DI diesel engine with ethanol blended diesel. Int J Eng Res Technol 2014; 3: 538–548.
24. Paul, A, Bose, PK, Panua, RS, et al. Study of performance and emission characteristics of a single cylinder CI engine using diethyl ether and ethanol blends. J Energy Inst 2015; 88: 1–10.
25. Paul, A, Panua, RS, Debroy, D, et al. Effect of diethyl ether and ethanol on performance, combustion, and emission of single cylinder compression ignition engine. Int J Amb Energy 2017; 38: 2–13
26. Lukhman, MM, Sadees, P, Pradeep, V, et al. Experimental investigation on diethyl ether as an ignition improver in diesel- ethanol emulsified fuel for C.I. engine. In: *International conference on systems, science, control, communication, engineering and technology* 2016; 2: 554–560.
27. Kumar, MM, Reddy, SSK. Performance characteristics of single cylinder DI diesel engine by using di-ethyl ether as an additive with diesel ethanol blend. Int J Sci Eng Technol Res 2015; 4: 3272–3275.
28. Patnaik, PP, Jena, SP, Acharya, SK, et al. Effect of $FeCl_3$ and diethyl ether as additives on compression ignition engine emissions. Sustain Environ Res 2017; 27: 154–161.

29. Patil, KR, Thipse, SS. Experimental investigation of CI engine combustion, performance and emissions in DEE-kerosene-diesel blends of high DEE concentration. Energy Convers Manag 2015; 89: 396–408.
30. Mahla, SK, Kumar, S, Shergill, H, et al. Study the performance characteristics of acetylene gas in dual fuel engine with diethyl ether blends. Int J Emerg Technol 2012; 3: 80–83.
31. Sudheesh, K, Mallikarjuna, JM. Diethyl ether as an ignition improver for biogas homogeneous charge compression ignition (HCCI) operation-an experimental investigation. Energy 2010; 35: 3614–3622
32. Jothi, NKM, Nagarajan, G, Renganarayanan, S. Experimental studies on homogeneous charge CI engine fueled with LPG using DEE as an ignition enhancer. Renew Energy 2007; 32: 1581–1593.
33. Karabektas, M, Ergen, G, Hosoz, M. The effects of using diethylether as additive on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with CNG. Fuel 2014; 115: 855–860.
34. Polat, S. An experimental study on combustion, engine performance and exhaust emissions in a HCCI engine fuelled with diethyl ether-ethanol fuel blends. Fuel Process Technol 2016; 143: 140–150.
35. Mack, JH, Buchholz, BA, Flowers, DL, et al. The effect of the di-tertiary butyl peroxide (DTBP) additive on HCCI combustion of fuel blends of ethanol and diethyl ether. Society of Automotive Engineers Transactions. *J of Fuels and Lubricants* 2015; 114: 1–8.
36. ranesh, G, Samuel, PM, Thankachan, B, et al. Performance and emission characteristics of blending diethyl ether in cotton seed oil methyl ester using a direct injection diesel engine. Int J Appl Mech Prod Eng 2015; 1: 14–16.
37. Rakopoulos, DC. Combustion and emissions of cottonseed oil and its bio-diesel in blends with either n-butanol or diethyl ether in HSDI diesel engine. Fuel 2013; 105: 603–613.
38. Rakopoulos, DC, Rakopoulos, CD, Kyritsis, DC. Butanol or DEE blends with either straight vegetable oil or biodiesel excluding fossil fuel: Comparative effects on diesel engine combustion attributes, cyclic variability and regulated emissions trade-off. Energy 2016; 115: 314–325.
39. Rakopoulos, DC, Rakopoulos, CD, Giakoumis, EG, et al. Influence of properties of various common bio-fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n-butanol, diethyl ether. Energy 2014; 73: 354–366.
40. Krishna, R, Bandewar, AG, Dongare, VK. Experimental investigations of blending diethyl ether in karanja vegetable oil using a multi-cylinder diesel engine. Int J Res Innovat Technol 2014; 1: 70–73.
41. Singh, I, Sahni, V. Performance analysis of the compression ignition engine using karanja biodiesel with additive diethyl ether. In: *International conference on aeronautical, automotive and manufacturing engineering* Kuala Lumpur, Malaysia, 25–26 August 2015, pp. 9–12.
42. Jawre, SS, Lawankar SM. Performance analysis of kusum methyl ester as alternative biofuel in diesel engine with diethyl ether as additive. Int J Innovat Res Develop 2014; 3: 139–144.
43. Jawre, SS, Lawankar, SM. Experimental analysis of performance of diesel engine using kusum methyl ester with diethyl ether as additive. Int J Eng Res Appl 2014; 4: 106–111.

44. Babu, PR, Rao, KP, Rao, BVA. The role of oxygenated fuel additive (DEE) along with mahuva methyl ester to estimate performance and emission analysis of DI-diesel engine. Int J Therm Technol 2012; 2: 119–123.
45. Sivalakshmi, S, Balusamy, T. Effect of biodiesel and its blends with diethyl ether on the combustion, performance and emissions from a diesel engine. Fuel 2013; 106: 106–110.
46. Ali, OM, Mamat, R, Faizal, CKM. Effects of diethyl ether additives on palm biodiesel fuel characteristics and low temperature flow properties. Int J Adv Sci Technol 2013; 52: 111–120
47. Kumar, JS, Prasad, SVM. Experimental study on performance charteristics of C.I. engine fueled with biodiesel and its blends diethyl ether. Int J Mag Eng Technol Manag Res 2014; 1: 36–40.
48. Satyanarayanamurthy, YVV. Experimental investigations of real time secondary co-injection of water-diethyl ether solution in DI-diesel engine fuelled with palm kernel methyl ester. J Eng Sci Technol 2012; 7: 711–721.
49. Rajan, K, Prabhahar, M, Senthilkumar, KR. Experimental studies on the performance, emission and combustion characteristics of a biodiesel-fuelled (pongamia methyl ester) diesel engine with diethyl ether as an oxygenated fuel additive. Int J Amb Energy 2016; 37: 439–445.
50. Geo, VE, Nagarajan, G, Nagalingam, B. Studies on improving the performance of rubber seed oil fuel for diesel engine with DEE port injection. Fuel 2010; 89: 3559–3567.
51. Hariharan, S, Murugan, S, Nagarajan, G. Effect of diethyl ether on tyre pyrolysis oil fueled diesel engine. Fuel 2013; 104: 109–115.
52. Devaraj, J, Robinson, Y, Ganapathi, P. Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. Energy 2015; 85: 304–309.
53. Kaimal, VK, Vijayabalan, P. An investigation on the effects of using DEE additive in a DI diesel engine fuelled with waste plastic oil. Fuel 2016; 180: 90–96.
54. Barik, D, Murugan, S. Effects of diethyl ether (DEE) injection on combustion performance and emission characteristics of Karanja methyl ester (KME)–biogas fueled dual fuel diesel engine. Fuel 2016; 164: 286–296
55. Sachuthananthan, B, Jeyachandran, K. Combustion, performance and emission characteristics of water-biodiesel emulsion as fuel with DEE as ignition improver in a DI diesel engine. J Environ Res Develop 2007; 2: 164–172.
56. Krishnamoorthi, M, Malayalamurthi, R. Experimental investigation on performance, emission behavior and exergy analysis of a variable compression ratio engine fueled with diesel-aegle marmelos oil-diethyl ether blends. Energy 2017; 128: 312–328.
57. Kumar, A, Rajan, K, Naraynan, MR, et al. Performance and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with cashew nut shell oil (CNSO)-diesel blends with diethyl ether as additive. Appl Mech Mater 2015; 787: 746–750.
58. Kumar, A, Rajan, K, Kumar, KRS, et al. Green fuel utilization for diesel engine, combustion and emission analysis fuelled with CNSO diesel blends with diethyl ether as additive. Mater Sci Eng 2017; 197: 1–10.

59. Ganesha, T, Chethan, KS. An experimental investigation of the performance and emission of diesel engine fueled with cashew shell oil methyl ester (CSOME) and it's blend with diethyl ether and conventional diesel. Imper J Interdisciplin Res 2016; 2: 922–929.
60. Srihari, S, Thirumalini, S, Prashanth, K. An experimental study on the performance and emission characteristics of PCCI-DI engine fuelled with diethyl ether-biodiesel-diesel blends. Renew Energy 2017; 107: 440–447.
61. Firew, D, Babu, NR, Didwania, M. The performance evaluation of diethyl-ether (DEE) additive with diesel blends using diesel engine test rig. Int J Scient Eng Res 2016; 7: 23–29.
62. Biradar, CH, Subramanian, KA, Dastidar, MG. Performance improvement and emissions reduction of a DI diesel engine for use of karanja biodiesel-diesel blend (B20) using diethyl ether. Society of Automotive Engineers 2011, paper no 2011-26-0004, pp. 1–7.
63. Manickam, AR, Rajan, K, Manoharan, N, et al. Experimental analysis of a diesel engine fuelled with biodiesel blend using di-ethyl ether as fuel additives. Int J Eng Technol 2014; 6: 2412–2420.
64. Channe, PK, Kulkarni, RK. Performance testing of diesel engine using KME and DEE blends with kerosene: a review. Int J Mech Eng 2015; 3: 1–5.
65. Nagdeote, DD, Deshmukh, MM. Experimental study of diethyl ether and ethanol additives with biodiesel-diesel blended fuel engine. Int J Emerg Technol Adv Eng 2012; 2: 195–199.
66. Vadivel, N, Somasundaram, P, Krishnamoorthi, M. Performance and emission characteristics of a CI engine fueled with diesel -biodiesel (mahua/mustard) blend with diethyl ether additive. J Chem Pharmaceut Sci 2015; 7: 109–115.
67. Sudhakar, S, Sivaprakasam, S. Potential of diethyl ether blends with biodiesel in di diesel engine-an experimental investigation. Int J Res Eng Adv Technol 2014; 2: 1–6.
68. Krishnamoorthi, M. Exergy analysis of diesel engine powered by diesel-mustard biodiesel blend with diethyl ether as additive. J Chem Pharmaceut Res 2015; 7: 809–816.
69. Sathiyamoorthi, R, Sankaranarayanan, G, Pitchandi, K. Combined effect of nanoemulsion and EGR on combustion and emission characteristics of neat lemongrass oil (LGO)-DEE-diesel blend fuelled diesel engine. Appl Therm Eng 2017; 112: 1421–1432.
70. Imtenan, S, Masjuki, HH, Varman, M, et al. Effect of n-butanol and diethyl ether as oxygenated additives on combustion-emission-performance characteristics of a multiple cylinder diesel engine fuelled with diesel-jatropha biodiesel blend. Energy Convers Manag 2015; 94: 84–94.
71. Akshatha, DS, Manavendra, G, Kumarappa, S. Performance evaluation of neem biodiesel on CI engine with diethyl ether as additive. Int J Innovat Res Sci Eng Technol 2013; 2: 3729–3736.
72. Kumar, JV, Rao, CJ. Experimental investigation of performance and emission characteristics of diesel engine working on diesel and neem oil blend with diethyl ether as additive. Int J Technolog Explorat Learn 2014; 3: 581–588.
73. Annamalai, K, Kumar, ARP, Premkartik, K. Adelfa (NOME-nerium oil methyl ester) with DEE as the fuel additive for NOx reduction in DI diesel engines—an experimental investigation. J Scient Industr Res 2014; 73: 627–632.

74. Ali, OM, Mamat, R, Masjuki, HH, et al. Analysis of blended fuel properties and cycle-to-cycle variation in a diesel engine with a diethyl ether additive. Energy Conv Manag 2016; 108: 511–519.
75. Imtenan, S, Varman, M, Masjuki, HH, et al. Effect of DEE as an oxygenated additive on palm biodiesel-diesel blend in the context of combustion and emission characteristics on a medium duty diesel engine. In: *4th International conference on environmental, energy and biotechnology* 2015; 85: 100–104.
76. Muneeswaran, R, Thansekhar, MR, Varatharajan, K. Effect of diethyl ether addition to palm stearin biodiesel blends on NOx emissions from a diesel engine. Asian J Res Soc Sci Humanit 2016; 6: 1382–1394.
77. Samuel, KJ, Raj, RTK, Sreenivasulu, N, et al. An experimental study on performance and emissions of a direct ignition diesel engine with crude pongamia, pongamia methyl ester and diethyl ether blended with diesel. Int J Renew Energy Res 2016; 6: 1506–1515.
78. Pugazhvadivu, M, Rajagopan, S. Investigations on a diesel engine fuelled with biodiesel blends and diethyl ether as an additive. Ind J Sci Technol 2009; 2: 31–35.
79. Krishnamoorthi, M, Natarajan, A. Performance and emission characteristics of a CI engine fueled with diesel-waste fried oil blend with DEE as additive. Int J Res Appl Sci Eng Technol 2015; 3: 65–72.
80. Senthil, R, Sivakumar, E, Silambarasan, R. Effect of diethyl ether on the performance and emission characteristics of a diesel engine using biodiesel-eucalyptus oil blends. RSC Adv 2015; 5: 54019–54027.
81. Venu, H, Madhavan, V. Effect of diethyl ether and Al_2O_3 nano additives in diesel-biodiesel-ethanol blends: performance, combustion and emission characteristics. J Mech Sci Technol 2017; 31: 409–420.
82. Venu, H, Madhavan, V. Effect of nano additives (titanium and zirconium oxides) and diethyl ether on biodiesel-ethanol fuelled CI engine. J Mech Sci Technol 2016; 30: 2361–2368.
83. Qi, DH, Chen, H, Geng, LM, et al. Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine. Renew Energy 2011; 36: 1252–1258.
84. Venu, H, Madhavan, V. Influence of diethyl ether (DEE) addition in ethanol-biodiesel-diesel (EBD) and methanol-biodiesel-diesel (MBD) blends in a diesel engine. Fuel 2017; 189: 377–390.
85. Shinde, S, Yadav, SD. Theoretical properties prediction of diesel-biodiesel-DEE blend as a fuel for C.I. engine with required modifications for optimum performance. Int J Curr Eng Technol 2016; 6: 1562–1567.
86. Jayaprabakar J., Beemkumar M., Mathew A., George A. Effect of diethyl ether blended with neem oil methyl esters in CI engine // International Journal of Ambient Energy, 2019, Vol. 40, N 2, pp. 116-118
87. Patent US, 20050000152A1, 2005 Additives for sulphur-poor mineral oil distillates comprising an ester of an alkoxylated polyol and an alkylphenol-aldehye resin // Krull M., Hess M.
88. Chodchanok Attaphong, Pichit Lumyong, Sasiwimon Wichadee, Sutha Khaodhiar, Piampoom Sarikprueck, David Sabatini Effect of additives on fuel properties and emission

characteristics of micromulsion biofuels from palm oil // Abstracts of International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2017, Belgium, p 26

89. Aakko P. Gasoline quality and its impacts on the emissions // Proc. Cleaner Fuels for Europe. Helsinki,. 2000. VTT Energy. Espoo 15 p.
90. Aakko-Saksa P., Rantanen-Kolehmainen L., Koponen P., Engman A., Kihlman J. Biogasoline options – Possibilities for achieving high bio-share and compatibility with conventional cars //SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 2011, Vol. 4, pp. 298–317
91. Arteconi A., Mazzarini A., Di Nicola G. Emissions from ethers and organic carbonate fuel additives: Review // Water, Air & Soil Pollution, 2011, pp. 1–19.
92. Patent US 2992082A, 1958 Anti-sludging hydrocarbon fuel oils // Ownby J., Davis H.
93. Song J., Cheenkachorn K., Wang J., Perez J. Effect of oxygenated fuel on combustion and emissions in a light-duty turbo diesel engine // Energy Fuels, 2002, Vol. 16, N 2, pp. 294–301
94. Awad O., Ma X., Kamil A. Overview of polyoxymethylene dimethyl ether additive as an eco-friendly fuel for an internal combustion engine: Current application and environmental impacts // The Science of the Total Environment, 2020, Vol. 3, N 5, pp 715-724
95. Zhongyi H., Liping X., Feng X., Mingxue S. Tribological and antioxidation properties study of two N-containing borate ester derivatives as additive in rapeseed oil // PLoS ONE, 2018, Vol. 13, N 12, pp 207-227.
96. Nitin Shrivastava, Tejal Sungra A study to investigate the effect of Diethyl ether as additive on the performance and emissions of engine using diesel and Neem oil methyl ester as fuel // International Journal of Renewable Energy Research, 2018, Vol. 8, N 2, pp. 453-462
97. Patent EP 1808450A1, 2006 Additives for low-sulphur mineral oil distillates, including graft copolymers based on ethylene-vinyl ester copolymers // French G.
98. Bhanu Teja S. Evaluation of performance characteristics on VCR-DI-Diesel engine fueled with coconut methyl ester and dI-ethyl ether as an additive // International Journal of Advanced Science and Technology, 2020, Vol. 29, N 66, pp. 816-824
99. Smith B., Ott L., Bruno T. Composition-explicit distillation curves of diesel fuel with glycol ether and glycol ester oxygenates // Environ. Sci. Technol., 2008, Vol. 42, N 20, pp.7682-7689
100. Patent US 5196130A, 1991 Lubricity additive for high-temperature gas turbine engine oils // Gschwender L., Synder C.