

ПРИМЕНЕНИЕ ДИМЕТИЛЭФИРА $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Л. В. ДЕНЕЖКО,
кандидат технических наук, доцент,
Л. А. НОВОПАШИН,
кандидат технических наук, доцент,
Ю. В. ПАНКОВ,
кандидат химических наук, доцент,
А. А. САДОВ,
аспирант,
П. В. КОЧЕТКОВ,
аспирант, Уральский государственный аграрный университет
(620075, Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 8 (343) 371-33-63)

Ключевые слова: дизельное топливо, диметилэфир, добавка, экологичность, смесь, свойства, эффективная мощность, автомобильный и тракторный двигатель.

Рассматривается применение диметилэфира $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ как экологического вида топлива, которое снижает вредные выбросы в 2–3 раза при обычной мощности двигателя. Проведенный анализ сравнения физико-химических характеристик дизельного топлива с добавкой диметилэфира показал улучшение процесса смесеобразования и сгорания в рабочей камере двигателя заданного состава ДТ + % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$. Среднее эффективное давление в рабочей камере двигателя возрастает. Получены хорошие свойства заданных смесей составов ДТ + (10 %... 20 %... 30 %... 40 % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$) соответственно в работе двигателя. Применение модифицированного топлива высоко экологично и дает широкую сырьевую базу для вторичной переработки отходов сельскохозяйственного производства. Представлены результаты теоретических расчетов рабочего цикла при различных порционных добавках $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ к ДТ с учетом повышения цетанового числа дизельного топлива от действия диметилового эфира. Согласно расчетам с модификацией топлива диметилэфиром происходит увеличение мощности двигателя и рост удельного расхода топлива на кВт мощности при повышении процента добавки $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ к топливной смеси. В частности, при добавке 30 % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ мощность дизельного двигателя Д-240 увеличилась на 4,79 %. Максимальная температура горения топливной смеси снижается при добавлении $(\text{CH}_3)_2\text{O}$. Экономические расчеты от применения порций $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ в модифицированной топливной смеси с дизельным топливом показывают снижение стоимостных расходов на топливо по сравнению со стоимостью смеси углеводородов традиционных нефтяных составов. Сравнительный анализ подтверждает целесообразность применения модифицирующих добавок $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ к смесям углеводородов традиционного дизельного топлива.

USING DIMETHYL ETHER $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ AS AN ALTERNATIVE DIESEL FUEL

L. V. DENEJKO,
candidate of technical sciences, associate professor,
L. A. NOVOPASHIN,
candidate of technical sciences, associate professor,
Yu. V. PANKOV,
candidate of chemical sciences, associate professor,
A. A. SADOV,
graduate student,
P. V. KOCHETKOV,
graduate student, Ural State Agrarian University
(42 K. Liebknehta Str., 620075, Ekaterinburg; tel.: +7 (343) 371-33-63)

Keyword: diesel fuel, dimethyl ether, additive, environmental friendliness, mixture, properties, effective power, automobile and tractor engine.

The use of dimethyl ether $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ as an ecological fuel, which reduces harmful emissions in 2–3 times during a normal engine power discusses. The analysis of the comparison of physical and chemical characteristics of diesel fuel with additive of dimethyl ether has been shown to improve the process of mixture formation and combustion in the working chamber of the engine a given composition DF + % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$. Mean effective pressure in the working chamber of the engine increases. We obtain good properties of defined mixtures of compounds of DF + (10 %... 20 %... 30 %... 40 % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$) respectively in the engine operation. The application of the modified fuel is highly environmentally friendly and provides a wide source of raw materials for secondary processing of wastes of agricultural production. The results of theoretical calculations of the working cycle in different portions supplements $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ DF by taking into account the increase of cetane rating of diesel fuel from the action of dimethyl ether. According to the calculations with modification of fuel dimethyl ether there is an increase in engine power and increase in specific fuel consumption per kW of capacity with increasing percentage of additive $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ to fuel mixture. In particular, with the addition of 30 % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ power of the diesel engine D-240 increased by 4.79 %. The maximum temperature of combustion of the fuel mixture decreases with the addition of $(\text{CH}_3)_2\text{O}$. The economic calculations from the application of portions $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ in a modified fuel mixture with diesel fuel show a decrease in the value of fuel costs compared to the cost of the mixture of hydrocarbons conventional oil compositions. The comparative analysis confirms the feasibility of modifying additives $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ to mixtures of hydrocarbons of conventional diesel fuel.

Положительная рецензия представлена Е. Е. Баженовым, доктором технических наук, профессором, директором института автомобильного транспорта и технологических систем Уральского государственного лесотехнического университета.

Топливно-энергетические и экологические проблемы при эксплуатации дизельных двигателей автотранспорта и тракторов являются наиболее актуальными. Ископаемые углеводороды в природе не восполняются, поэтому применение альтернативного топлива является важнейшим фактором, определяющим предотвращение топливно-экологического кризиса.

Дизельные двигатели автомобильного транспорта и двигатели тракторов потребляют наиболее значительную долю нефтепродуктов и одновременно являются постоянно действующими устройствами, выбрасывающими в окружающую среду выхлопные газы. Такая ситуация требует от человека принятия мер защиты окружающей среды от экологической катастрофы. Одна из наиболее действенных мер экологической защиты природы – применение экологически более чистых видов моторного топлива.

Из числа видов перспективного топлива для двигателей внутреннего сгорания особого внимания заслуживает химически инертный диметиловый эфир. Диметилэфир (метилловый эфир $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$) – бесцветный газ, который при давлении в 5,32 бар переходит в жидкое состояние и не имеет серы, растворим в этаноле, воде. В настоящее время это единственное синтетическое топливо, которое обеспечит полную замену традиционного дизельного топлива.

Основным сырьем для производства $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ должно стать возобновляемое природное сырье, синтезирующее природный газ метан (CH_4) – биомассы: вещества жизнедеятельности животных, пищевые и агропромышленные отходы. Такое использование природного сырья позволяет предотвратить выбросы метана в атмосферу и утилизировать отходы

Таблица 1
Важнейшие химические свойства ДМЭ и ДТ
Table 1

Major chemical properties dimethyl ether and diesel fuel

Характеристика топлива <i>Fuel characteristics</i>	$(\text{CH}_3)_2\text{O}$	ДТ (DF)
Молярная масса $\text{C}_n\text{H}_{1.8n}$ <i>Molar mass $\text{C}_n\text{H}_{1.8n}$</i>	46	190–220
Содержание химических элементов, массовое: <i>The content of chemical elements, mass:</i>		
– углерод (<i>carbon</i>)	52,2	86,6
– водород (<i>hydrogen</i>)	13	13
– кислород (<i>oxygen</i>)	34,8	0,4
Растворимость в воде при 20 °С, кг/м ³ <i>Solubility in water at 20 °C, kg/m³</i>	70	–

Таблица 2
Важнейшие физические свойства ДМЭ и ДТ
Table 2

Major physical properties of dimethyl ether and diesel fuel

Характеристика топлива <i>Fuel characteristics</i>	$(\text{CH}_3)_2\text{O}$	ДТ (DF)
Плотность жидкой фазы при 20 °С, кг/м ³ <i>Density of the liquid phase 20 °C, kg/m³</i>	668	831–845
Кинематическая вязкость η (жидкость, 20 °С), мм ² /с <i>Kinematic viscosity η (liquid, 20 °C), mm²/s</i>	0,23	3–6
Коэффициент поверхностного натяжения, Н/м <i>The surface tension, N/m</i>	0,0012	0,028
Давление насыщенных паров при 20 °С, МПа <i>Vapour pressure at 20 °C, MPa</i>	0,53	0,008
Температура кипения (ожижения) при 0,1 МПа, 20 °С <i>The boiling point (liquefying) at 0.1 MPa, 20 °C</i>	–24,8	180–371
Критическое давление/температура, МПа/К <i>The critical pressure/temperature, MPa/K</i>	5,37/400	–
Теплота парообразования при 20 °С, кДж/кг <i>The heat of vaporization at 20 °C, kJ/kg</i>	410	210–250
Низшая теплотворная способность, МДж/кг <i>Net calorific value, MJ/kg</i>	28,84	42,5
Цетановое число <i>Cetane number</i>	> 55	40–55
Стехиометрическое соотношение l_0 , кг/кг <i>The stoichiometric ratio l_0, kg/kg</i>	9,0	14,56
Температура самовоспламенения, °С <i>Selfignition temperature, °C</i>	235	240–310
Выброс CO_2 при полном сгорании, г/МДж <i>CO₂ emissions from complete combustion, g/MJ</i>	67,5	74,2

жизнедеятельности человека в сгорающее без вредных выбросов в атмосферу топливо. Использование в качестве моторного топлива диметилэфира $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ позволяет уменьшить выбросы в атмосферу окиси углерода (CO/CO_2), углеводородов (C_1H_j) и окиси азота на 30–70 % по сравнению с обычным жидким углеводородным топливом. Важнейшие физико-химические свойства дизельного топлива (ДТ) и диметилэфира (ДМЭ) представлены в табл. 1, 2.

Диметилэфир $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ имеет более высокое цетановое число (55), чем дизтопливо, полученное из нефти (38–53), и более низкую температуру самовоспламенения. $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ не токсичен и не является канцерогеном, а при его сгорании не образуется сажа. Выбросы CO_2 снижаются на 95 %.

Характеристика токсичности компонентов по источникам информации в сравнении представлена на рис. 1.

Хранение $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ гораздо проще, чем сжиженного природного газа (метана) и сжиженного нефтяного газа (пропана). Диметилэфир можно хранить безопасно в обычных стальных емкостях длительное время. Баки для заправки $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ гораздо легче, что снижает общий вес автомобиля.

Подача $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ в цилиндры производится в жидком состоянии и требует гораздо меньшего давления впрыска в системе питания. Стандартный дизельный двигатель для работы на ДМЭ требует только переделки системы питания. Смазывающая способность

ДМЭ повышена за счет применения специальной присадки, например Lubrizol.

С учетом более низкой плотности сжиженного вещества $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ и теплотворной способности его для сохранения мощности дизеля необходима в 1,7–1,9 раза большая объемная цикловая подача диметилэфира. По этой же причине необходим топливный бак увеличенной емкости.

Исследования диметилэфира $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ как экологичного и альтернативного вида топлива проводятся в мире уже несколько лет. По итогам испытаний можно утверждать, что вредные выбросы в атмосферу при работе обычной мощности двигателя снижаются в 2–3 раза.

Эксплуатационные испытания опытной партии автомобилей с дизельным двигателем у ЗИЛ-5301 на диметилэфире проведены НИИД. Начаты исследования по адаптации работы дизельного двигателя на диметилэфире машин КамАЗ.

В настоящее время шведская автомобильная фирма Volvo сотрудничает с американской автомобильной компанией Oberon по тестированию тяжелых грузовиков большой мощности, работающих на ДМЭ.

В Уральском ГАУ на кафедре тракторов и автомобилей проведены теоретические исследования влияния добавки $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ к дизельному топливу на технические показатели работы дизельного двигателя. Результаты расчетов для составов ДТ + (10 %... 20 %... 30 %... 40 %) $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ представлены в табл. 3, 4.

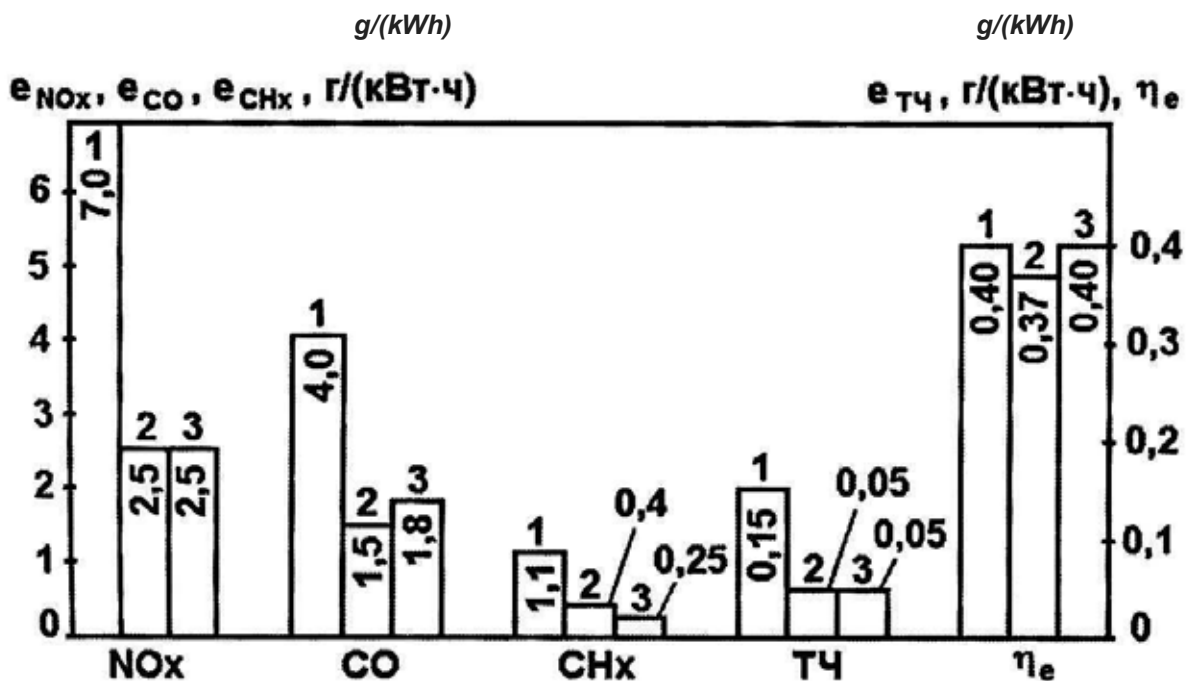


Рис. 1. Удельные массовые выбросы токсичных компонентов ОГ и эффективный КПД дизеля η_e , работающего на режимах 13-ступенчатого цикла ECE K49 (по данным фирмы AVL): 1 – дизельное топливо, нормы EURO – II; 2 – метанол; 3 – ДМЭ
 Fig. 1. The specific mass emissions of toxic exhaust components and an efficient diesel engine efficiency η_e operating modes on 13-step cycle ECE K49 (for data of AVL company): 1 – diesel fuel, standards EURO – II; 2 – methanol; 3 – dimethyl ether

Таблица 3
Технические показатели рабочего цикла дизельного двигателя при изменении состава рабочей смеси топлива, теоретический расчет
Table 3
Technical indicators of the working cycle of the diesel engine as the composition of the working mixture of fuel, theoretical calculation

№	Показатели Indicators	ДТ DF	Рабочие смеси топлива % ДТ+% (CH ₃) ₂ O Working fuel mixture % DF + % (CH ₃) ₂ O				ДМЭ DME
			10 %	20 %	30 %	40 %	
1	Теплота сгорания топлива, МДж/кг Heat of combustion, MJ/kg	42,5	41,14	39,78	38,42	37,06	28,9
2	Теоретическое количество воздуха, кмоль/кг The theoretical amount of air, kilomole /kg	0,50	0,4876	0,45774	0,4435	0,3385	0,3131
3	Теоретическое количество воздуха кг/кг топлива The theoretical amount of air kg/kg fuel	14,5	13,94	13,274	12,86	12,32	9,08
4	Теплота сгорания горючей смеси МДж/кг The heat of combustion of the combustible mixture MJ/kg	1,756	1,765	1,789	1,781	1,789	1,861
5	Коэффициент молекулярного изменения The coefficient of molecular changes	1,039	1,027	1,045	1,048	1,08	1,084
6	Температура сгорания, °К Combustion temperature, °K	2178	2192	2192	2183	2183	2188
7	Среднее индикаторное давление, МПа действительное The mean indicated pressure, MPa real	1,15	1,157	1,172	1,1872	1,1942	1,256
8	Среднее эффективное давление, МПа Mean effective pressure, MPa	0,95	0,957	0,972	0,9872	0,9942	1,056
9	Индикаторный КПД Efficiency indicator	0,449	0,4475	0,453	0,4536	0,453	0,450
10	Эффективный КПД Efficiency coefficient	0,370	0,370	0,377	0,377	0,377	0,378

Таблица 4
Эксплуатационные показатели работы дизельного двигателя на рабочей смеси % ДТ +% (CH₃)₂O, теоретический расчет
Table 4
Performance of the diesel engine at a working mix % diesel fuel + % (CH₃)₂O, theoretical calculation

№	Показатели Indicators	ДТ DF	Рабочие смеси топлива Working fuel mixtureum% DF+ % (CH ₃) ₂ O				ДМЭ DME
			10 %	20 %	30 %	40 %	
1	Эффективный удельный расход топлива, г/кВт Efficient specific fuel consumption, g/kW	228,9	236,5	240	248,5	257,7	329,5
2	Изменение, % Change, %		+3,32	+4,85	+8,58	+12,57	100,32
3	Эффективная мощность двигателя, кВт The effective power of the engine, kW	89,5	90,91	92,34	93,78	94,45	100,32
4	Изменение, % Change, %		+1,58	+3,17	+4,79	+5,35	+12,1

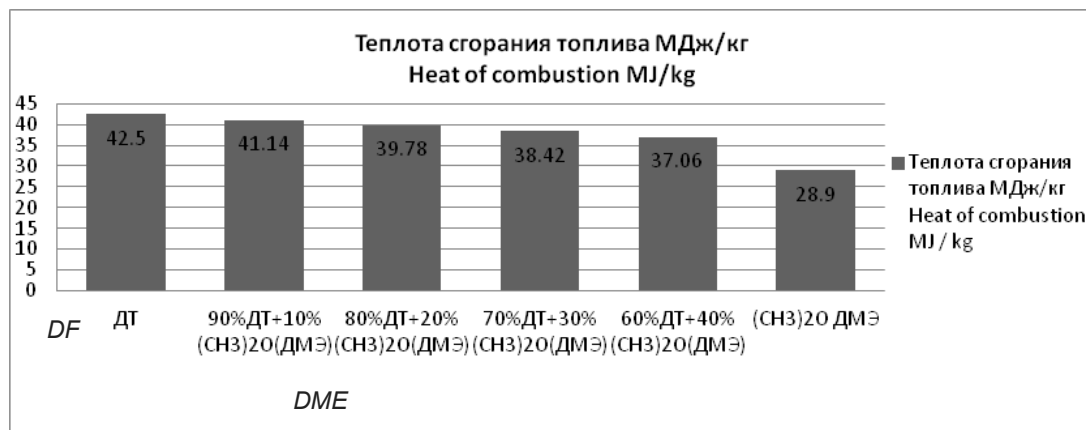


Рис. 2. Теплота сгорания топлива, МДж/кг
Fig. 2. Fuel heat of combustion, MJ/kg

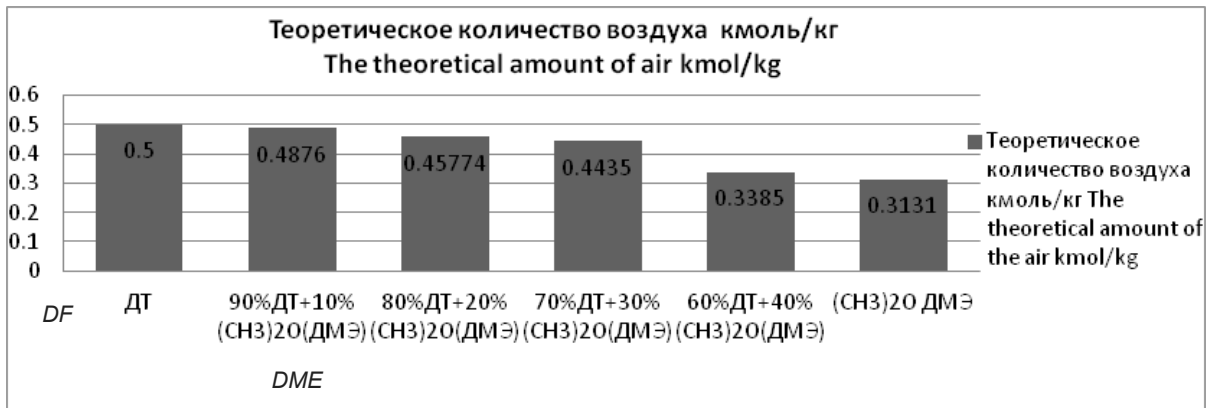


Рис. 3. Теоретическое количество воздуха, кмоль/кг
Fig. 3. Theoretical number of air, kmol/kg



Рис. 4. Теоретическое количество воздуха кг/кг топлива
Fig. 4. Theoretical amount of the air kg/kg fuel

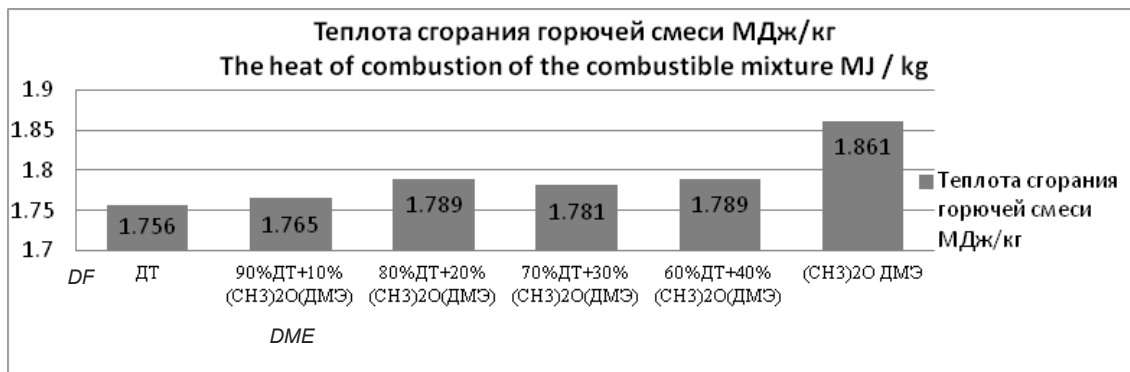


Рис. 5. Теплота сгорания горючей смеси МДж/кг
Fig. 5. The heat of combustion of the combustible mixture MJ/kg

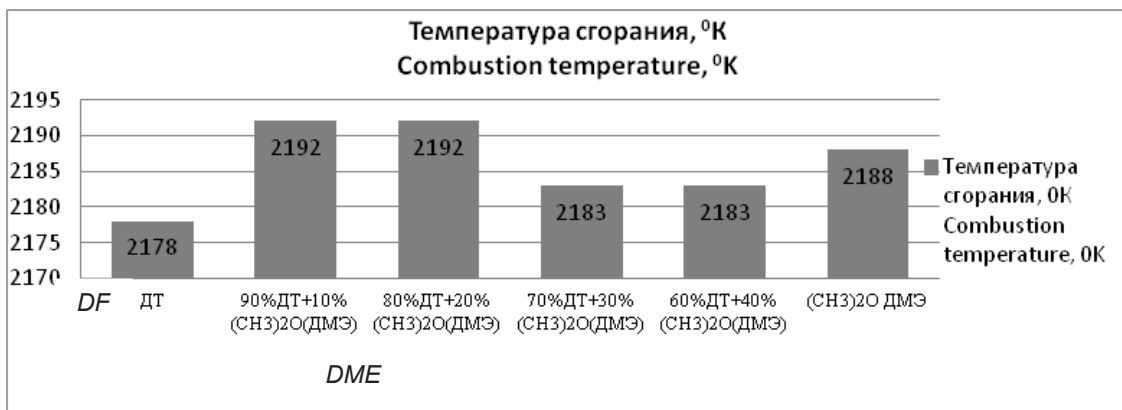


Рис. 6. Температура сгорания, °K
Fig. 6. Combustion of the temperature, °K

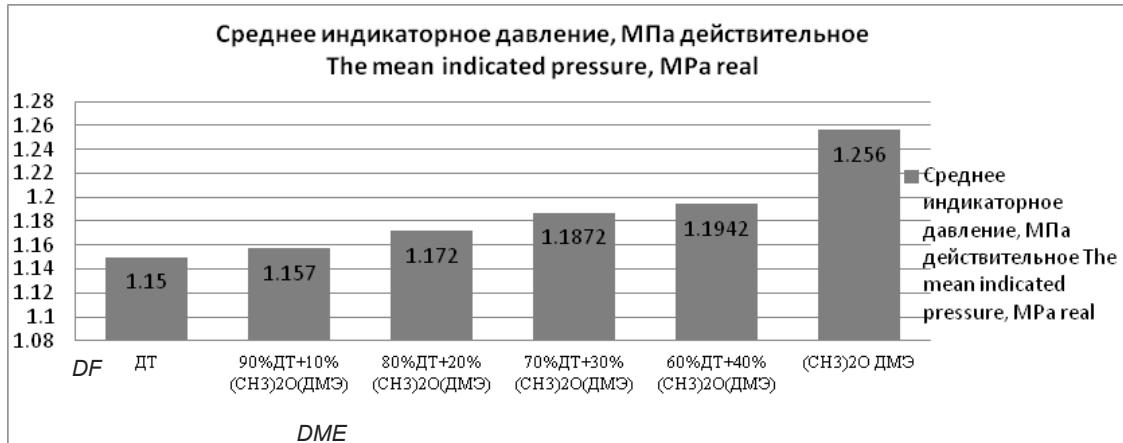


Рис. 7. Среднее индикаторное давление, МПа действительное
Fig. 7. Mean indicated pressure, MPa real

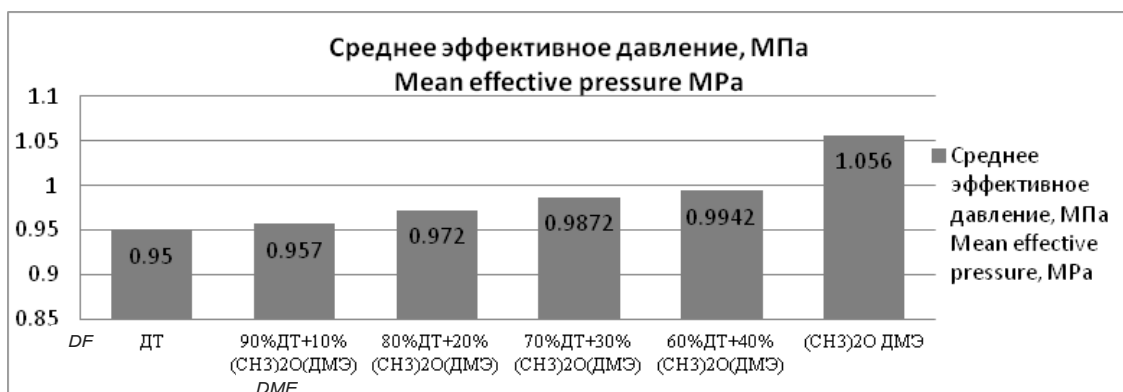


Рис. 8. Среднее эффективное давление, МПа
Fig. 8. Mean effective pressure MPa

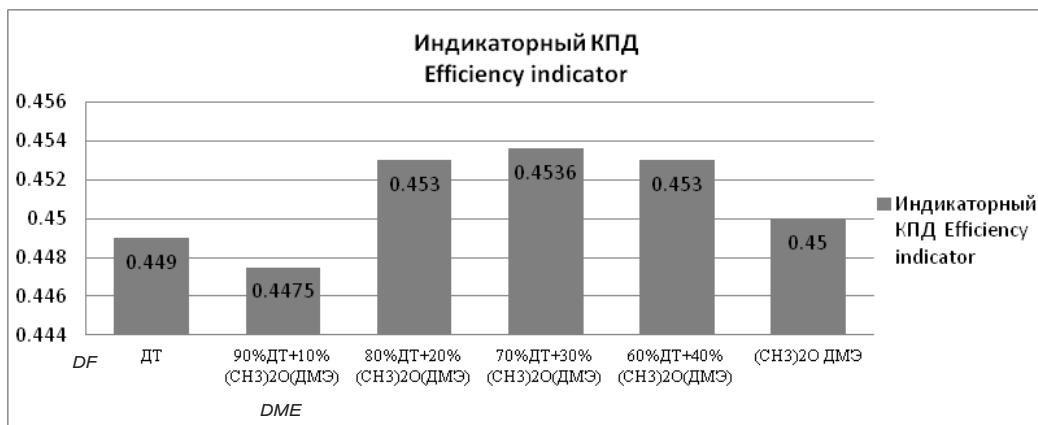


Рис. 9. Индикаторный КПД
Fig. 9. Efficiency indicator

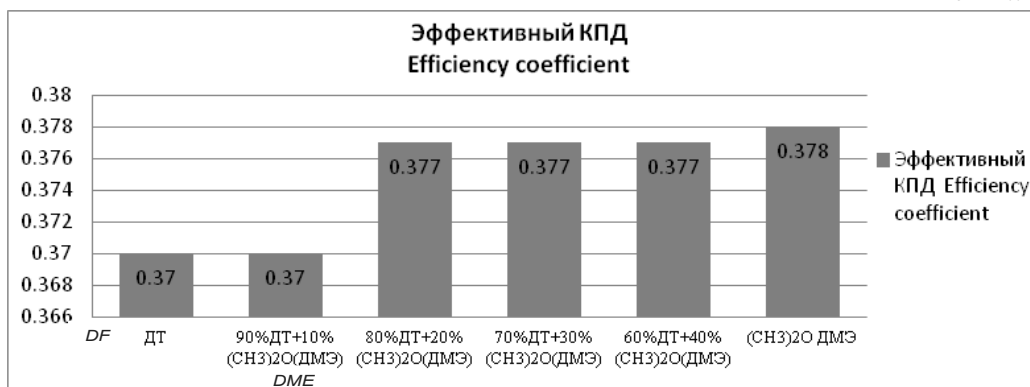


Рис. 10. Эффективный КПД
Fig. 10. Efficiency coefficient

При анализе проведенных теоретических расчетов показателей свойств топливных смесей % ДТ + % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ было выявлено, что уменьшение теплоты сгорания на 1360 кДж/кг происходит при увеличении доли $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ на 10 %, что соответствует интервалу снижения на 3,2–12,8 % по сравнению с дизельным топливом.

Количества воздуха, необходимое для сгорания смесей % ДТ + % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$, требуется согласно расчетам существенно меньше в связи с большим содержанием кислорода в молекуле диметилэфира по сравнению с дизельным топливом на 3,86–15 %.

При этом потребляемое количество воздуха снижается по мере увеличения концентрации % $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ в рабочей смеси топлива. Однако теплота сгорания горючей смеси существенно не меняется и составляет 1765–1789 кДж/кг. У дизельного топлива этот показатель составляет 1756 кДж/кг. Этим можно объяснить и относительно одинаковую в расчетах температуру рабочего цикла для всех смесей независимо от состава компонентов.

Существенного изменения индикаторного и эффективного КПД двигателя при использовании исследуемых смесей рабочего топлива для дизеля не выявлено.

Литература

1. Азясев А. В., Садаков И. А., Новопашин Л. А. Использование этанола в качестве добавки к топливу для бензиновых двигателей // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика З. Алдамжар. 2012. № 1.
2. Денежко Л. В., Новопашин Л. А., Асанбеков К. А. Исследование рапсовых смесей различного состава в тракторном дизеле // Аграрный вестник Урала. 2015. № 1. С. 53–54.
3. Денежко Л. В., Новопашин Л. А., Кочетков П. В. Исследование применения смесевых топлив различного состава в автотракторных дизелях // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика З. Алдамжар. 2015. № 1. С. 74–77.
4. Денежко Л. В., Новопашин Л. А. Влияние спирто-рапсовых смесей на показатели работы тракторного дизеля // Аграрный вестник Урала. 2014. № 5. С. 49–51.
5. Новопашин Л. А., Денежко Л. В. Биодизель и физико-химические свойства // Достижения науки – агропромышленному производству : материалы I Междунар. науч.-техн. конф. 2011. С. 64–168.
6. Боровских А. М., Новопашин Л. А., Денежко Л. В. Влияние на показатели двигателя некоторых альтернативных топлив // Транспорт Урала. 2008. № 4. С. 92–93.
7. Бутенко А. Н., Гурина Г. И., Степанова И. И., Резниченко С. В. Бензин с функциональными добавками – альтернативное моторное топливо // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2008. № 1/3.
8. Покусаев М. Н., Курганова Е. А. О расчете процесса горения топлив по обобщенным характеристикам // Вестник астраханского государственного технического университета. Сер. «Морская техника и технология». 2016. № 1.
9. Чанышев Р. Р., Вильданов Ф. Ш., Латыпова Ф. Н. Диметилэфир – альтернативный вид нефтегазохимического сырья и топлива // Башкирский химический журнал. 2014. № 4. Т. 21.
10. Джихинто Г. А., Дмитриев С. С. Диметилэфир – экологически чистое топливо будущего // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2007. № 3.

References

1. Azyasev A. V., Sadakov I. A., Novopashin L. A. Use of ethanol as a fuel additive for gasoline engines // Bulletin of Science Kostanai Social Technical University of Z. Aldamzhar. 2012. № 1.
2. Denezhko L. V., Novopashin L. A., Asanbekov K. A. Investigation of rapeseed mixtures of different composition in a tractor diesel // Agrarian Bulletin of the Urals. 2015. № 1. P. 53–54.
3. Denezhko L. V., Novopashin L. A., Kochetkov P. V. Investigation of mixed fuels with different shutter in automotive diesels // Journal of Science of Kostanai Social Technical University of Z. Aldamzhar. 2015. № 1. P. 74–77.
4. Denezhko L. V., Novopashin L. A. Influence of alcohol-rape mixtures indicators of tractor diesel // Agrarian Bulletin of the Urals. 2014. № 5. P. 49–51.
5. Novopashin L. A., Denezhko L. V. Biodiesel and physical and chemical properties // Advances in science – agricultural production materials I International scientific and technical conference. 2011. P. 64–168.
6. Borovskikh A. M., Novopashin L. A., Denezhko L. V. Impact on the engine performance of some alternative fuels // Ural Transport. 2008. № 4. P. 92–93.
7. Butenko A. N., Gurina G. I., Stepanova I. I., Reznichenko S. V. Gasoline with functional additives – an alternative motor fuel // East European Journal of advanced technology. 2008. № 1/3.
8. Pokusaev M. N., Kurganova E. A. On the calculation of process of burning fuel on generalized characteristics // Journal of Astrakhan State Technical University. Series “Marine engineering and technology”. 2016. № 1.
9. Chanyshev R. R., Vildanov F. Sh., Latypova F. N. Dimethyl ether is an alternative form of petrochemical raw materials and fuel // Bashkir chemical journal. 2014. № 4. Vol. 21.
10. Dzhihinto G. A., Dmitriev S. S. Dimethyl ether – ecologically clean fuel of the future // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. 2007. № 3.