

УДК 662.7

**МОТОРНІ ПАЛИВА НА ОСНОВІ ПРОСТИХ ЕФІРІВ****Г.О. Аржаєв<sup>1</sup>, М.М. Балака<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>викладач вищої категорії, викладач-методист спецдисциплін «Машинобудування та матеріалобробка», Миколаївський будівельний коледж Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Миколаїв, Україна

<sup>2</sup>асистент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: [maxim.balaka@gmail.com](mailto:maxim.balaka@gmail.com)

**Анотація.** В роботі проаналізовано фізико-хімічні, експлуатаційні та екологічні властивості моторних палив на основі простих ефірів. Розглянута можливість їх застосування в двигунах транспортних засобів шляхом порівняння з нафтовими паливами.

*Ключові слова:* моторне паливо, ефір, нафта.

**ENGINE FUELS BASED ON ETHERS****Gennady Arzhaev<sup>1</sup>, Maxim Balaka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Lecturer of Highest Category, Lecturer-methodologist of Special Disciplines "Mechanical Engineering and Materials Processing", Mykolaiv Building College of Kyiv National University of Construction and Architecture, Mykolaiv, Ukraine

<sup>2</sup>Assistant of Building Machinery Department, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: [maxim.balaka@gmail.com](mailto:maxim.balaka@gmail.com)

**Abstract.** This paper analyzes the physicochemical, operational and ecological characteristics of engine fuels based on ethers. The possibility of their use in the engines of the vehicles by comparison with petroleum fuels is considered.

*Keywords:* engine fuel, ether, petroleum.

**Вступ.** Використання альтернативного моторного палива стає економічно виправданим, застосування якого дозволить зменшити шкідливі викиди відпрацьованих газів і поліпшити екологічні та експлуатаційні властивості автомобільного транспорту і будівельно-дорожньої техніки. Обмеженість запасів нафти, скорочення інвестицій у геологорозвідувальні роботи, зростання цін на нафтові палива, залучення для виробництва палив таких видів сировини, як, приміром, низькомолекулярні спирти та ефіри, збільшення парку машин з дизельними двигунами зумовлює створення багатопаливних двигунів внутрішнього згоряння.

**Мета роботи.** Розглянути можливість застосування простих ефірів в якості альтернативних моторних палив для транспортних засобів на основі аналізу їх експлуатаційних, екологічних та економічних показників.

**Матеріал та результати досліджень.** Прості ефіри як паливо мають ту перевагу перед спиртами (метанолом, етанолом), що вони краще розчиняються в паливі, менш гігроскопічні та менш корозійно агресивні. В якості добавки до палив в багатьох державах широко використовується метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ). Виробництво цього ефіру почалось в Італії в 1973 році. МТБЕ був першим ефіром, що успішно використовувався в якості ефективного компонента бензинів. Водночас більшою або меншою мірою крім нього використовують метил-трет-пентилловий (МТПЕ), етил-трет-бутиловий (ЕТБЕ), діізопропиловий та інші ефіри [1].

Додавання ефірів до складу моторних палив дозволяє розв'язати принаймні два основних завдання:

- покращити експлуатаційні властивості нафтових палив і, в першу чергу, октанове число;
- скоротити витрати нафти на виробництво палив, оскільки додавання ефірів еквівалентне економії приблизно подвійній кількості нафти, тобто на виробництво 1 т нафтового палива витрачається від 1,5 до 2,0 т нафти в залежності від глибини її переробки.

Разом з тим, ефіри знижують вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згорання, тим самим покращуючи екологічні властивості моторних палив.

Основні фізико-хімічні та експлуатаційні властивості ефірів наведено в таблиці 1. Відповідно до таблиці 2 високі антидетонаційні властивості має ЕТБЕ, майже не поступається йому МТБЕ, однак вартість МТБЕ значно нижча, що пов'язано з більшою вартістю етанолу як сировини для ЕТБЕ [2].

Таблиця 1 – Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості низькомолекулярних спиртів та ефірів

Показник	Бензин нафтовий (базовий)	Низькомолекулярні спирти				Ефіри		
		метанол	етанол	н-бута-нол	ізо-бу-танол	МТБЕ	МТПЕ	ЕТБЕ
ОЧ <sub>д</sub>	85...98	111	108	99,6	108	118	112	118
ОЧ <sub>м</sub>	72...85	94	92	94	96	102	99	105
Масова частка кисню, %	—	49,9	34,7	21,6	21,6	18,2	15,7	15,7
Питома теплота випарювання, кДж/кг	180...306	1183	839,3	591,2	578,4	337	326	315
Масова енергоємність, кДж/кг	42500	22315	26945	35520	35520	38220	39392	39262
Температура, °С: кипіння застигання	35...205	64,5	78,4	117,5	108,1	55,0	86,3	73,0
	< -60	-93,9	-114,1	-90,2	-108,0	-108	—	—

**Закінчення таблиці 1**

Показник	Бензин нафтовий (базовий)	Низькомолекулярні спирти				Ефіри		
		метанол	етанол	н-бутанол	ізо-бутанол	МТБЕ	МТПЕ	ЕТБЕ
Тиск насиченої пари 38°C, кПа	45...100	35	17	8,4	8,5	61	22	20,7
Густина при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	700...780	791,4	789,3	810	802	746	770	770
Норма вмісту в бензині, % мас.	≤100	≤3		≤5	≤10	≤15	≤15	≤15

**Таблиця 2 – Вплив низькомолекулярних спиртів та ефірів на вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах**

Токсичний компонент	Етанол, 10% об. (3,5% O <sub>2</sub> )	МТБЕ, 15% об. (2,7% O <sub>2</sub> )	ЕТБЕ, 17% об. (2,7% O <sub>2</sub> )
Вуглеводні	-5	-7	-5
Карбон (II) оксид	-13	-9	-14
Бензен	-12	-11	-8
1,3-бутадиєн	-6	-2	-4
Нітроген оксиди	+5	+5	+7
Метаналь	+19	+16	-16
Етаналь	+159	-1	+254
Ступінь зменшення (-) або збільшення (+) емісії токсичних речовин у відсотках.			

Загальний об'єм виробництва МТБЕ у світі складає 25...27 млн. т щорічно, в країнах СНД – 660 тис. т МТБЕ виробляють відповідно ТУ 38.103704-90 і ТУ 2435-412-05742686-98. Основні якісні показники і фізико-хімічні властивості МТБЕ наведені в таблицях 3 і 4 відповідно.

Додавання в нафтові (базові) бензини до 15% об. МТБЕ дозволяє виробляти неетиловані автомобільні бензини різних марок з вищим вмістом низькооктанових компонентів, ніж при використуванні алкилатів [3].

Температура кипіння МТБЕ складає 55°C, що дозволяє при його додаванні до нафтового бензину збільшити вміст низькокип'ячої фракції, поліпшити її октанове число і знизити температуру випаровування 50% бензину. В свою чергу, це дозволяє ввести до складу бензину висококип'ячі фракції процесів каталітичного крекінгу та риформінгу. Крім того, додавання МТБЕ дозволяє знизити вміст у нафтових бензинах ароматичних вуглеводнів і, тим саме, поліпшити екологічні властивості палива.

МТБЕ добре розчиняється у вуглеводнях і меншою мірою, в порівнянні зі спиртами, вимивається водою, а також не виділяється з бензину при низьких температурах. Незважаючи на меншу, ніж у бензинів масову енергоємність (38,2 і 42,5 МДж/кг відповідно) потужні характеристики двигуна практично не змінюються, а витрати бензину зменшуються на 7%. Темпера-

тура холодного запуску двигуна зменшується на 8...15°C і, як наслідок, запобігання обмерзанню карбюратора, а також поліпшуються м'які та інші експлуатаційні властивості бензину.

Таблиця 3 – Основні якісні показники МТБЕ

Показник	Норма
Зовнішній вигляд	безбарвна прозора рідина
Масова частка, %:	
МТБЕ, не менше	98,0
спиртів, не більше	1,5
вуглеводнів C <sub>4</sub> -C <sub>8</sub> , не більше	1,5
води, не більше	0,1
Механічні домішки	відсутні

Таблиця 4 – Фізико-хімічні властивості МТБЕ

Показник	Норма			
	вищий сорт	марка А	марка Б	марка В (сирець)
Масова частка, %:				
МТБЕ, не менше	95	85	70	50
метанолу, не більше	5	5	5	10
вуглеводнів C <sub>4</sub> , не більше	5	5	5	10
води, не більше	0,5	0,5	0,5	1,0
ОЧД	110	110	110	110

Обстеження медичних робітників США довели негативний вплив МТБЕ на здоров'я людини і уряд ухвалив рішення поступово заборонити використання МТБЕ як добавки в бензин до 2014 року, причому вимоги до вмісту кисню в бензині на рівні 2% об. зберігається, що призводить до росту споживання етанолу з 13,9 тис. т/добу у 2004 році до 30,8 і 38,0 тис. т/добу у 2009 і 2014 роках відповідно [3]. В інших регіонах світу за прогнозом до 2014 року споживання МТБЕ залишається на попередньому рівні. В Росії МТБЕ допущений до використання до 15% об. в складі високооктанових бензинів (з ОЧД не менш 91 ум. од.).

Для заміни МТБЕ через екологічну небезпеку запропонована біорозкладна добавка Envirolene (суміш прямоланцюгових спиртів C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub> паливного сорту з ОЧД 128 ум. од.), яку виробляють з синтез-газу на установках для виробництва метанолу при зміні каталізатору [4].

Особливе місце серед ефірів займає диметиловий ефір (ДМЕ), який за властивостями є високоякісним дизельним паливом. Перспективи цього палива визначаються двома основними факторами [5]:

- сировиною для виробництва ДМЕ є природний газ;
- високі експлуатаційні та екологічні властивості ДМЕ (таблиця 5).

Таблиця 5 – Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості деяких палив для дизельних двигунів

Показник	Нафтове дизпаливо	Дизпаливо Fishera-Tropscha	Диметоксіметан	ДМЕ	Метанол
Хімічна формула	$C_{10,8}H_{18,7}$	$C_{14}H_{30}$	$CH_3OCH_2OCH_3$	$CH_3OCH_3$	$CH_3OH$
Молекулярна маса	148,60	190,00	76,10	46,07	32,04
Вміст:					
Сульфуру, ppm	нижче 500	нижче 5	нижче 5	нижче 5	нижче 5
ароматичних вуглеводнів, % мас.	25	0,3	відсутні	відсутні	відсутні
Оксигену, % мас.	сліди	сліди	42,1	34,7	49,9
Тиск насиченої пари при 38°C, кПа	58,86	нижче 58,86	$8,535 \cdot 10^3$	$78,48 \cdot 10^3$	$2,992 \cdot 10^3$
Температура, °C:					
кипіння при 0,1013 МПа	180...370	150...380	41,7	-24,8	65,5
самозаймання	220	200	237	235	464
Масова енергоємність, МДж/кг	42,50	43,90	23,26	24,80	20,00
Цетанове число	40...55	більше 74	28	55...60	2
В'язкість кінематична при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	2,00...3,50	3,56	0,33	0,25	0,573
Густина при 15°C, кг/л	0,80...0,84	0,7845	0,8668	0,6612	0,7961

Серед позитивних властивостей ДМЕ, в першу чергу, слід відзначити:

- високе цетанове число 55...60 ум. од.;
- повноту згоряння ДМЕ внаслідок наявності у молекулі атому кисню, що забезпечує практичну відсутність у камері згоряння нагару і часток сажі у відпрацьованих газах;
- зниження температури горіння палива у камері згоряння і, як наслідок, зниження вмісту нітроген оксидів у відпрацьованих газах.

До недоліків ДМЕ відносяться:

- менша (у 1,5 рази) масова енергоємність (24,8 і 42,5 МДж/кг відповідно для ДМЕ і нафтового дизпалива), що призводить до збільшення витрати ДМЕ в 1,5...1,6 рази порівняно з нафтовим дизпаливом;
- низька кінематична в'язкість (в 20...30 разів менша за нафтове дизпаливо) і погані змащувальні властивості (найгірші серед дизпалив);
- низька температура кипіння (-24,8°C), що потребує утворення відповідної інфраструктури до зберігання на заправних станціях, а також на борту технічного засобу.

Вперше про диметилловий ефір як про екологічно чисте дизпаливо згадано на міжнародному конгресі та виставці у Детройті (США) у 1995 році, після чого роботи по використанню його як моторного палива одержали значний стимул та інтенсивно розгортаються в цілому ряді країн світу.

**Висновки.** Проблема пошуку моторного палива для транспортних засобів, яке стане належною альтернативою бензину та дизелю, є однією з най-

більш актуальних у світі. Постійне зростання цін на нафту і забруднення навколишнього середовища змушують шукати нові види палива. Так прості ефіри традиційно додають до автомобільних бензинів, які менш гігроскопічні та корозійно агресивні аніж спиртові палива. Останнім часом спостерігається інтерес до диметоксиметану, диетилового та диметилового ефірів як до компонентів дизельного палива. Більшою мірою це пояснюється їх кращою запальністю в двигуні, а отже і високим цетановим числом.

Водночас важливу роль у розробці та широкому застосуванні альтернативних моторних палив з поліпшеними екологічними і експлуатаційними властивостями відводиться державним відомствам паливно-енергетичного комплексу та екологічної безпеки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Слободчиков В. В. Моторні палива з альтернативних енергетичних ресурсів / В. В. Слободчиков, М. М. Балака // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2015 : материалы Международ. науч.-практ. конф., 21–22 мая 2015 г. – Д. : НГУ, 2015. – С. 250–254.
2. Хіммотологія наземних транспортно-технологічних засобів : навч. посібник / В. М. Коваленко, Л. Є. Пелевін, Г. О. Аржаєв, В. В. Слободчиков. – К. : Аграр Медіа Груп, 2012. – Ч. I : Палива моторні. – 300 с.
3. МТБЭ: состояние рынка, основные тенденции и долгосрочные перспективы. – СПб. : Еврохим, 2016. – 54 с.
4. Емельянов В. Е. Альтернативные экологически чистые виды топлива для автомобилей: свойства, разновидности, применение / В. Е. Емельянов, И. Ф. Крылов. – М. : Астель, АСТ, 2004. – 128 с.
5. Полянський С. К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин : підручник / С. К. Полянський, В. М. Коваленко. – К. : Либідь, 2005. – 504 с.

УДК 662.7

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ СИНТЕТИЧНОГО МОТОРНОГО ПАЛИВА

**М.М. Балака**

асистент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: [maxim.balaka@gmail.com](mailto:maxim.balaka@gmail.com)

**Анотація.** Проведено аналіз сучасного стану розвитку технологій отримання синтетичного моторного палива з твердих горючих копалин і природного газу. Показано, що однією з найбільш ефективних технологій отримання високоякісних палив та інших вуглеводневих продуктів є процес GTL (газ в рідину). Технологія ще не досягла широкого комерційного застосування внаслідок високої технічної складності переробки та можливих інвестиційних ризиків, однак GTL може мати економічні переваги при отриманні легких нафтопродуктів.