

ALCOHOLS AS FUELS: A REVIEW OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND THEIR INFLUENCE ON GASOLINE ENGINE PERFORMANCE ¹⁴

Elitsa Nakova, PhD Student

Department of Engines and Transport Engineering ,
“Angel Kanchev” University of Ruse
E-mail: enakova@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Kiril Hadjiev, PhD

Department of Engines and Transport Engineering ,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone:
E-mail: khadjiev@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Simeon Iliev, PhD

Department of Engines and Transport Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone:
E-mail: spi@uni-ruse.bg

Abstract: *The need worldwide to reduce dependence on fossil fuels in connection with the reduction of environmental pollution necessitates the search for alternative fuels. This paper discusses the physicochemical properties of ethanol, methanol, isopropanol and butanol and their potential to replace traditional petroleum fuels. The characteristics of each alcohol, including octane number, density, viscosity, and miscibility with fluids are discussed. The influence of the physicochemical properties and their impact on HC, CO, CO₂ and NO_x emissions are analysed.*

Keywords: Alcohols; Ethanol; Methanol; Isopropanol; Butanol, Emissions;

ВЪВЕДЕНИЕ

В последните десетилетия интересът е насочен към екологични и устойчиви енергийни източници, като целта е да се намали използването на нефтени горива. Биогоривата са една от алтернативите на този етап, като добавка към традиционните горива. Те се разглеждат с приоритет, тъй като имат потенциал за опазване на околната среда. Тези горива, произведени от биологични източници, както и някои от тях от отпадъци, могат да бъдат бъдещето за енергийния сектор, както и да намалят нуждите от изкопаеми горива. За да бъдат въведени в масова употреба е от съществено значение изучаването на техните физикохимични и моторни свойства.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Алкохолите са източник на енергия, която може да бъде използван в съвременните бензинови двигатели, предоставяйки нови възможности на транспортния сектор. В този обзор ще бъдат разгледани физико-химичните и моторни свойства на някои алкохоли - етанол, метанол, изопропанол и бутанол и тяхното влияние върху бензиновите двигатели. Анализът на свойствата на горивата е от ключово значение за обесняването на промените, настъпващи в двигателите при работа с алкохолни добавки. Алкохолите дават възможност за

¹⁴Докладът е представен научна сесия на 27 октомври 2023 г. с оригинално заглавие на български език: АЛКОХОЛИТЕ КАТО ГОРИВА: ПРЕГЛЕД НА ФИЗИКОХИМИЧНИТЕ СВОЙСТВА И ТЯХНОТО ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ РАБОТАТА НА БЕНЗИНОВИЯ ДВИГАТЕЛ

устойчиво развитие и усъвършенстване на двигателите с вътрешно горене, но създават и редица предизвикателства в хода на експлоатацията и вндряването им в двигателите.

Групата на алкохолите се характеризира с уникални физико-химични свойства, които са от съществено значение при тяхното използване като горива. Високите октанови числа, плътност, вискозитет, топлинна енергия, температура на изпарение, температура на самовъзпламеняване, ламинарна скорост на изгаряне и различните молекулни структури правят алкохолите обширна област за изследване.

Таблица 1. войствата на горивата(National Center for Biotechnology Information,2023).

Характеристика	Бензин	Етанол	Метанол	Изопропанол	Бутанол
Структура					
Формула	C ₈ H ₁₅	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH	C ₃ H ₇ OH	C ₄ H ₉ OH
Молекулна маса [g/mol]		46,07	32,042	60.1	74,12
Температура на кипене, °C		~78	~64	~83	~117
Температура на топене, °C	-57	-114	-98	-90	-90
Температура на възпаламеняване, °C	~-43	~13	~12	~11,7	~35
Разтворимост [mg/ml]	0,8	1000	1000	1000	63,2
Плътност [kg/m ³]	715-765	785	787	800	806
Октаново число					
Научно-изследователски метод	91-99	129	136	112	96
Моторен метод	81-89	102	104		78
Плънност на парите		1,59	1,11	2,1	2,6
Налягане на парите[mmHg]		59	127	45,4	7
Температура на самовъзпламеняване [°C]	280	400	440	399	345
Кинематичен вискозитет (20°C), cSt	0,6	1,52	0,742	2,65	3,64
Топлина на изгаряне [kJ/mol (25°C)]		1367	726,1	2021	2676
Топлина на изпарение [kJ/mol (25°C)]	36,2	42,32	37,34	45,39	52,35
Характеристика	Бензин	Етанол	Метанол	Изопропанол	Бутанол
Структура					
Формула	C ₈ H ₁₅	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH	C ₃ H ₇ OH	C ₄ H ₉ OH
Молекулна маса [g/mol]		46,07	32,042	60.1	74,12
Температура на кипене, °C		~78	~64	~83	~117
Температура на топене, °C	-57	-114	-98	-90	-90
Температура на възпаламеняване, °C	~-43	~13	~12	~11,7	~35

Разтворимост [mg/ml]	0,8	1000	1000	1000	63,2
Плътност [kg/m ³]	715-765	785	787	800	806
Октаново число					
Научно-изследователски метод	91-99	129	136	112	96
Моторен метод	81-89	102	104		78
Плънност на парите		1,59	1,11	2,1	2,6
Налигане на парите [mmHg]		59	127	45,4	7
Температура на самовъзпламеняване [°C]	280	400	440	399	345
Кинематичен вискозитет (20°C), cSt	0,6	1,52	0,742	2,65	3,64
Топлина на изгаряне [kJ/mol (25°C)]		1367	726,1	2021	2676
Топлина на изпарение [kJ/mol (25°C)]	36,2	42,32	37,34	45,39	52,35

Етанолът (C₂H₅OH), етилов алкохол, е често използван химичен състав с широк спектър от приложения. При стайна температура и атмосферно налягане, етанолът е безцветна течност. Точката му на кипене е 78°C, а точката на замръзване е около -114 °C. Плътността на етанола зависи от температурата и концентрацията. Етанолът е добре разтворим във вода. Молекулата му е хигроскопична, което означава, че може да абсорбира влага от околната среда. Това свойство може да подобри смесването му с въздушно-горивната смес, осигурявайки хомогенно смесване на горивото. Етанолът има високо октаново число, което го прави подходящ за добавяне към бензина. Високото октаново число помага за предотвратяване на детонацията при високи степени на сгъстяване. Като гориво, етанолът може да бъде използван в бензинови и дизелови двигатели. Етанолът има по-висока ламинарна скорост на горене в сравнение с бензина, което допринася за по-стабилното и пълно горене на горивната смес. Той е лесно запалим и има висок температурен коефициент на изгаряне, който улеснява запалването му. При изгаряне на етанол се отделят по-малко сравнение с изкопаемите горива. Етанолът може да се смесва с бензин в различни съотношения. Свойството му да се смесва лесно с въздух и течности го прави удобен избор за различни видове двигатели.

Свойства на метанола (National Center for Biotechnology Information, 2023)

Метанолът (CH₃OH) е химично съединение от групата на алкохолите, известен като метилов спирт. Представлява е безцветна, летлива течност с характерен спиртен аромат. В автомобилите се използва метанол като гориво, заради високото му октаново число. Метанолът е течност при стайна температура и атмосферно налягане, чиято точката на кипене е при приблизително 64°C .При промяна на температурата и налягането се променя плътността му. Метанолът има ниска точка на замръзване- -97.6 °C. Той образува лесно запалими смеси с въздух, което го прави подходящ за използване като гориво. Високото му октаново число влияе на по-равномерно и ефективно изгаряне в цилиндъра на двигателя. Той е разтворим във вода, като създава хомогенни смеси. Тази характеристика може да бъде полезна при смесване с воден разтвор за някои приложения. Като гориво, метанолът може да се използва както в бензинови, така и в дизелови двигатели. Използването на метанол като гориво може да намали емисиите.

Свойства на изопропанола (National Center for Biotechnology Information, 2023)

Изопропанолът (C₃H₇OH) е вторият по големина представител на алкохолите след етанола. Изопропанолът е безцветна течност при стайна температура и налягане. Точката на кипене на изопропанола е около 82 °C, а точката на замръзване е около -89 °C. Плътността на

изопропанол при стайна температура и налягане е около 0.785 г/см^3 . Изопропанолът е разтворим във вода, като разтворимостта му е по-голяма от тази на етанола. Изопропанолът е лесно възпламеняем и гори с пламък. Като гориво, изопропанолът отдава енергия при изгаряне. Изопропанолът има висока енталпия на изгаряне, което означава, че предоставя доста енергия при горене. При изгаряне на изопропанол се отделят емисии, включително CO_2 и вода.

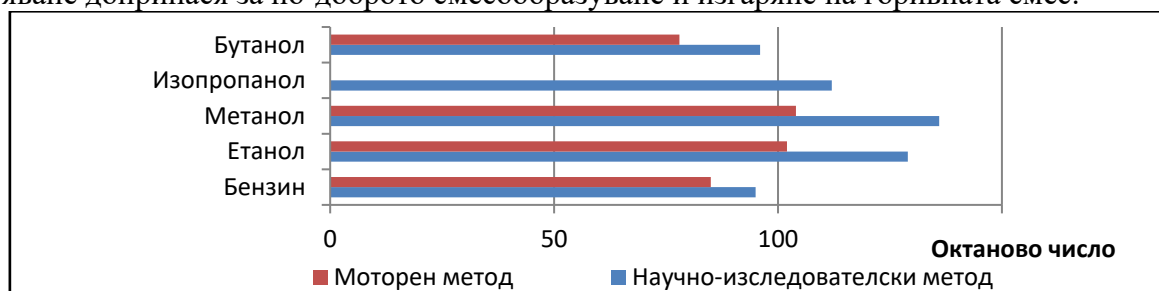
Свойства на бутанола (National Center for Biotechnology Information, 2023).

Бутанолът е алкохол с четири въглеродни атома в молекулата. Най-известните изомери на бутанол са n-бутанол и изо-бутанол. Физикохимичните свойства на бутанола могат да се различават в зависимост от конкретния изомер. При стайна температура и атмосферно налягане, бутанолът е безцветна течност. Точката на кипене на n-бутанола е около 117°C , а на изо-бутанола - около 108°C . Точките на замръзване са съответно около -89°C и -108°C . Плътността на бутанола зависи от конкретния изомер и условията. Бутанолът е разтворим във вода, като n-бутанолът е по-разтворим от изо-бутанола. Тази разтворимост го прави подходящ за различни приложения, включително като добавка към горивата. Бутанолът е запалим и подходящ за използване като гориво. Като гориво, бутанолът има високо октаново число. Бутанолът има висока енталпия на изгаряне, която предоставя енергия при изгаряне.

Октаново число и влиянието му в двигателя

Октановото число е важен показател за качеството на горивото за бензинови двигатели. В статията си Hoth, A. & Kolodziej, P. Chr., (2023), разглеждат моторното и изследователското октаново число. Те посочват октановото число като значим показател за детонационна устойчивост на двигателя. Също така се споменава, че благодарение на високото октаново число на горивната смес има възможност степента на сгъстяване да бъде повишена. Sharudin N. et. al. (2018) също разглеждат октановото число като характеристика, с която може да бъде избегнато предварителното възпламеняване, а от друга страна да бъде увеличена степента на сгъстяване, благодарение на която бензиновият двигател може да работи по-ефективно.

Както се вижда от фиг. 1 алкохолите са с високо октаново число от бензина, което ги прави добра алтернатива за използване като гориво или добавка към бензина. Използвайки ги като добавка към бензина, повишават октановото му число. Както се вижда от разгледаните по-горе доклади, повишаването на октановото число позволява двигателя да работи при по-висока степен на сгъстяване. Работата на двигателя при висока степен на сгъстяване допринася за по-доброто смесообразуване и изгаряне на горивната смес.



Фиг. 1. Моторно и научно-изследователско октаново число на бензина и някои алкохоли

Плътност на алкохолите

Плътността на горивата е показател, който може да влияе върху смесообразуването и горенето на гориво-въздушната смес. Плътността се влияе от температурата и налягането на околната среда. Плътността е свързана с калоричността на горивото, при по-голяма плътност се наблюдава по-висока калоричност. Според Sharudin, N et al. (2018) плътността влияе на запълването на цилиндъра с гориво, а също така на качеството на горивната смес.

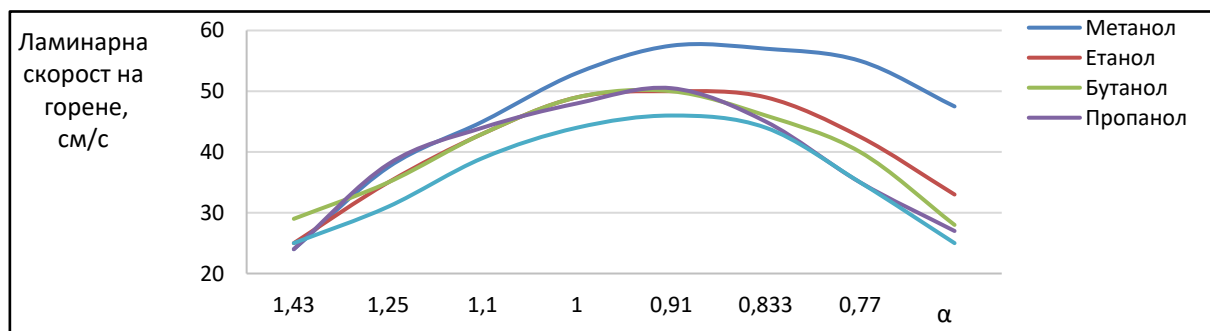
Вискозитет на алкохолите

Вискозитетът отчита съпротивлението на флуида, което е създадено от вътрешното триене на молекулите, като пряка зависимост има температурата на околната среда. Според

Nadjiev K. (2022) визкозитета на горивото има влияние над разпръскването на горивото от дюзите, при горива с близък по стойност визкозитет не се налага корекция на горивоподаването. При алкохоли с дълги въглеродни вериги визкозитета се увеличава. Според Sharudin, H et al. (2018), използването на горива с много висок визкозитет могат да доведат до влошено разпръскване и износване на горивната система.

Ламинарна скорост на горене

Според Nadjiev, K., Iliev, A., (2020) турболентното горене в двигателите с вътрешно горене е свързано с турболентната скорост, която зависи пряко от ламинараната скорост на горене на дадено гориво. Освен това дадената за горивото ламинарна скорост може да се изменя спрямо температурата, налягането и състава на сместа. Ламинарната скорост дава отражение на продължителността и качеството на горене.



Фиг. 2. Ламинарна скорост на горене при различно въздушно отношение

Както се вижда от фиг. 2 ламинарната скорост на бензиновото гориво остава по-ниска при висчки разгледани въздушни отношения, спрямо ламинарната скорост на алкохолите. Алкохолите със своята висока ламинарна скорост създават по-голяма турбуленция в горивната камера, а това води до по-добро изгаряне на горивната смес и намаляване на вредните емисии.

Физико химичните свойства имат влияние на работата на двигателя, който могат да бъдат екологични и мощностни. В таблица 2 са разгледани няколко изследвания с добавки от алкохоли към бензина. Както се очаква при добавяне на алкохол към сместта намаляват стойностите на CO_2 , CO , HC , благодарение на по-пълното изгаряне, но се увеличават стойностите на NO_x , тъй като добавения алкохол повишава температурата на изгаряне.

Таблица 2. Влияние на алкохолните добавки върху емисиите при бензинови двигатели

Източник	Метод	Горивна смес	CO_2	CO	HC	NO_x
Altun, Ş., Öner, C., Firat, M., (2010) "Exhaust Emissions From a Spark-Ignition Engine Operating on Iso-Propanol and Unleaded Gasoline Blends"	Моторен	IP5	↑	↓	↓	-
		IP10	↑	↓	↓	-
Altun, Ş., Öztop, H., Oner, C. & Varol, Y. (2013). Exhaust emissions of methanol and ethanol unleaded gasoline blends in a spark ignition engine.	моторен	E5	↑	↓	↓	-
		E10	↑	↓	↓↓	-
		M5	↑	↓	↓	-
		M10	↑	↓	↓↓	-
Iliev, S., (2021). A Comparison of Ethanol, Methanol, and Butanol Blending with Gasoline and Its Effect on Engine Performance and Emissions Using Engine Simulation	научно-изследователски	E5	-	↓	↓	↑
		E10	-	↓	↓	↑
		E20	-	↓	↓	↑↑
		E30	-	↓↓	↓	↑↑↑
		E50	-	↓↓	↓↓	↑
		M5	-	↓	↓	↑
		M10	-	↓↓	↓	↑

		M20	-	↓↓	↓	↑↑
		M30	-	↓↓	↓↓	↑↑↑
		M50	-	↓↓ ↓	↓↓	↑
		B5	-	↓	↓	↑
		B10	-	↓	↓	↑
		B20	-	↓	↓	↑
		B30	-	↓↓	↓↓	↑↑
		B50	-	↓↓	↓↓	↑
Yousif, I. E., & Saleh, A. M. (2023). Butanol-gasoline blends impact on performance and exhaust emissions of a four stroke spark ignition engine.	Моторен	B25	-	↓	↓	↓
		B50	-	↓	↓	↓

ИЗВОДИ

- Повишаването на октановото число, чрез добавяне на алкохоли към горивната смес подобрява изгарянето и намалява вредните емисии.
- По-високата ламинарна скорост на горене подобрява изгарянето и намалява вредните емисии.
- С увеличаване на температурата в горивната камера при изгарянето на алкохоли към горивната смес се повишават емисиите на NOx.
- Плътноста и вискозитета на алкохолите влияят върху смесообразуването на горивните смеси.

REFERENCES

- Iliev, S., (2021). A Comparison of Ethanol, Methanol, and Butanol Blending with Gasoline and Its Effect on Engine Performance and Emissions Using Engine Simulation. Processes 9, 1322. <https://doi.org/10.3390/pr9081322>
- Sharudin, H., Abdullah, N., Bin Mamat, Aman & Badrulhisam, Najmi & Mamat, Rizalman. (2018). Application of Alcohol Fuel Properties in Spark Ignition Engine: A Review. Jurnal Kejuruteraan. si1. 37-47. 10.17576/jkukm-2018-si1(7)-05.
- Altun, Ş., Öner, C., Firat, M., (2010) “Exhaust Emissions From a Spark-Ignition Engine Operating on Iso-Propanol and Unleaded Gasoline Blends” Technology, 13 183–188
- Altun, Ş., Öztö, H., Öner, C. & Varol, Y. (2013). Exhaust emissions of methanol and ethanol unleaded gasoline blends in a spark ignition engine. Thermal Science. 17. 291-297. 10.2298/TSCI111207034A.
- Taşören, E. , Aydoğan, H. & Gökmen, M. S. (2021). Research of Effect on Gasoline-2-Propanol Blends on Exhaust Emission of Gasoline Engine with Direct Enjection Using Taguchi Approach . European Mechanical Science , 5 (4) , 177-182 . DOI: 10.26701/ems.962605
- Yousif, I. E., & Saleh, A. M. (2023, January 1). Butanol-gasoline blends impact on performance and exhaust emissions of a four stroke spark ignition engine. Case Studies in Thermal Engineering; Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102612>
- Hadjiev, K., Iliev, A., (2020), Physicochemical properties of alcohols, as alternative fuels for SI internal combustion engines, PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE -2020, volume 59, book 4.1: 70-74
- Hadjiev K. (2022), Motor properties of isopropanol, as a fuel for internal combustion engines,: PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2022, volume 61, book 4.1., 88-92
- Hoth, A. , Christopher P. Kolodziej (2023) Effects of knock intensity measurement technique and fuel chemical composition on the research octane number (RON) of FACE gasolines: Part 2 Effects of spark timing, Fuel, Volume 342, 127694, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127694>.

National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID 702, Ethanol. Retrieved August 28, 2023 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethanol>.

National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID 887, Methanol. Retrieved August 28, 2023 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methanol>.

National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID 3776, Isopropyl Alcohol. Retrieved August 28, 2023 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Isopropyl-Alcohol>.

National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID 263, 1-Butanol. Retrieved August 28, 2023 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Butanol>.