

Бутанолът - алтернативно гориво за двигателите с принудително възпламеняване

Кирил Хаджиев, Емилиян Станков

Butanol – alternative fuel for spark-ignition engines: *In the report the motor performance of the butanol as a fuel for spark-ignition engines is examined and compared with the performance of the ethanol and the gasoline. The more important indicators of mixtures with different content of butanol and gasoline are described.*

Key words: *SI Engine, Butanol, Fuel properties, Laminar burning velocity, Flame stability.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Енергийната криза и увеличеното изхвърляне в атмосферата на токсични вещества и газове предизвикващи парников ефект от автомобилните двигатели, наложиха интензивни изследвания и приложение на различните алкохоли като алтернативни горива или добавки към тях. Първоначално вниманието беше насочено към използването на метанол и етанол, получавани от суровини с растителен произход и по тази причина наричани още биометанол и биоетанол. Те намериха ограничено приложение главно като добавка към бензина в малки количества поради химическата им агресивност и склонността към разслояване на смесите с по-високо процентно съдържание. За работа само с метанол или етанол е необходима преработка на двигателите.

Бутанолът има свойства близки до тези на бензина и двигателите работят добре както с техни смеси, така и с чист бутанол без никакви конструктивни изменения. До скоро интересът към него като гориво бе занижен поради високата му цена и ограниченото му производство. През 2006 г. световно известните фирми „Dupont” и „BP” обединиха усилията си и разработиха нови технологии за производство, като прогнозираха за близките години цена по-ниска от тази на етанола.

В доклада са разгледани моторните качества на бутанола като гориво за двигателите с принудително възпламеняване и са сравнени с тези на етанола, и бензина.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Бутанолът е по-нехигроскопичен, не се смесва с вода и смесите му с бензина не се разслояват. Поради по-ниската му химическа агресивност той може да се разпространява чрез съществуващата мрежа за доставка на гориво.

В табл. 1 са представени основните показатели за бензин, етанол и бутанол. Бутанолът има четири изомера (n-butanol, isobutanol, sec-butanol и tert-butanol) – посочените стойности се отнасят за нормален бутанол [3].

Бутанолът има 20% по-висока калоричност от етанола и 25% по-ниска от бензина. Поради различното въздушно отношение на стехиометричните смеси с отделните горива, калоричността на 1 кг бутанола-въздушна смес е само с 5% по-ниска от тази на бензино-въздушната. Октановото число на нормалния бутанол определен по Изследователския метод (RON) е 96, а по Моторния (MON) - 78 и е с 2-3 единици по-ниско от това на бензина. Изомера „Tert-butanol” е с по-високо октаново число - 105 по (RON) и 89 по (MON), но не може да се използва като гориво в чист вид в зимни условия поради високата температурата на топене (-25,5°C).

За протичането на горивен процес с висока ефективност и пълнота на горене е необходимо горивото да бъде добре изпарено и смесено с въздуха преди възпламеняването. За спиртните горива е характерна висока топлина на изпарение

и това се оказва проблем при ниски температури на околната среда и особено при студен старт на двигателите. Топлината на изпарение на бутанола е близка с тази на бензина и (по тази причина) двигателите работещи на бутанол имат значително по-леко пускане в сравнение с тези на етанол.

Таблица 1.

Показател / Гориво	Бензин	Етанол	Бутанол
Хим. формула	$C_4H_{10}-C_{12}H_{26}$	C_2H_5OH	C_4H_9OH
Елементен състав (C, H, O), мас. %	86, 14, 0	52, 13, 35	65, 13.5, 21.5
Долна калоричност, MJ/kg	44	26.8	33,1
Плътност, kg/m^3	715-765	790	810
Октаново число (RON+MON)/2	90	100	87
Температура на самовъзпламеняване, °C	~300	420	343
Стехиометрично отношение въздух/гориво kg/kg	14,6	9,0	11,2
Разтворимост във вода при 20°C, мл/100мл H_2O	0,6	напълно разтворим	7,7
Латентна топлина на изпарение, KJ/kg	360	920	430
Калоричност на кг стехиометрична горивна смес, MJ/kg	2,769	2,699	2,641
Специфична енергия, MJ/kg въздух	2,9	3,0	3,2

В Бразилия, САЩ и страните от ЕС са въведени стандарти за процентното съдържание етанол в смесите с бензин с оглед на безпроблемна работа на двигателите, без необходимост от промени в конструкцията им. Приблизителните еквивалентни бутанола-бензинови смеси могат да бъдат изчислени чрез стехиометричните отношения на съответните горива с въздуха. На пазара се предлагат смеси на етанола с бензин в диапазон от 5% до 20%. Делът на бутанола може да бъде с 60% по-висок от етанола, което е от 8% до 32% от сместа. В таблица 2 са представени показателите за смеси с различно съдържание на бензин и бутанол.

Таблица 2

Състав на сместа, об. %	Специфично тегло, kg/dm^3	Долна калоричност, MJ/kg	Стехиометрично отношение	Калоричност на кг стехиометрична горивна смес MJ/kg
100% бензин 0% бутанол	0,740	44	14,6	2,77
80% бензин 20% бутанол	0,7563	40,57	13,8	2,74
40% бензин 60% бутанол	0,783	36,14	12,4	2,70
0% бензин 100% бутанол	0,8097	32,01	11,1	2,64

Вискозитета на горивото оказва влияние върху нормалната работа на хранителната система на двигателя. Кинематичният вискозитет на бутанола е

еднакъв с дизеловото гориво но е в пъти по-висок спрямо бензина (Табл. 3), което може да предизвика проблеми в дозирането.

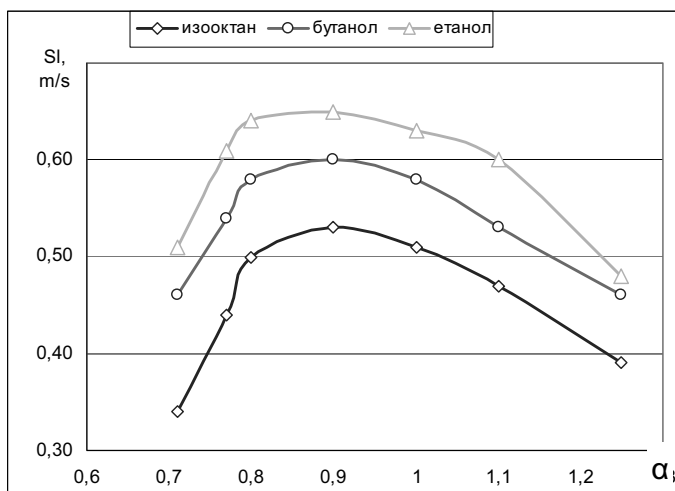
Таблица 3

Гориво	Кинематичен вискозитет при 20°C, cSt
Бутанол	3,64
Етанол	1,52
Бензин	0,4 – 0,8
Дизелово гориво	>3

От голямо значение за мощностно-икономическите и токсични показатели на двигателите с вътрешно горене е скоростта на изгаряне на горивните смеси. Поради високата турбулентност в горивните камери, разпространението на пламъка се определя чрез турбулентната му скорост. Турбулентната скорост на разпространение на пламъка зависи основно от ламинарната скорост на горене на съответното гориво в смес с въздуха.

Ламинарната скорост на горене е физикохимично свойство и е ключов параметър на горимите смеси. Тя влияе на продължителността на горене в горивните камери на двигателите и оттам и върху тяхната ефективност и екологични показатели. Ламинарната скорост на горене зависи от вида на горивото, състава на сместа и началните температура и налягане.

На фиг. 1 са представени ламинарните скорости на горене на изооктан, бутанол и етанол в зависимост от състава на сместа [1].



Фиг. 1. Ламинарна скорост на горене Sl на изооктан, бутанол и етанол в зависимост от състава на сместа при $p=0,1$ MPa и $T=393$ K.

Алкохолите имат по-висока скорост на горене от бензина, като ламинарната скорост на горене на бутанола е по-ниска от тази на етанола но е по-висока в сравнение с бензина с около 12%. Максималната скорост на горене и за трите горива е при леко обогатените смеси – $\alpha = 0,9$. Изследвания на динамиката на топлоотделяне [4] са показали, че при работа с бутанол времето за протичане на горивния процес намалява с 10% в сравнение с работата на бензин. Периода на задържане на възпламеняването намалява в по-малка степен, което дава основание

да се предположи, че при преминаване към работа със смеси на бензин и бутанол няма да е необходимо пререгулиране на ъгъла на изпреварване на възпламеняването.

Изследвания [2] са показали също, че двигателите запазват стабилна работа при обедняване на бутаноло-въздушните смеси в по-широки граници в сравнение с бензина.

При работа с бутанол се отделят по-малко азотни окиси [2], но се увеличават въглеродородите и въглеродния окис. Концентрациите им в отработените газове са силно зависими от процентното съдържание на бутанол в смесите с бензин и от състава на горивовъздушната смес. Поради стабилна работа в по-широки граници на въздушното отношение, чрез изменение на състава на сместа може да се постигнат по-добри екологични показатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бутанолът има много по-близки моторни свойства с бензина за разлика от етанола. Той е много по-малко химически агресивен и не се смесва с вода. По тази причина смесите му с бензин не се разслояват. Двигателите могат да работят еднакво добре както със смеси с бензин така и с чист бутанол без необходимост от конструктивни изменения и имат лесно пускане при ниски температури. По-високата скорост на горене предполага и по-ефективна работа на двигателите. Необходими са по-задълбочени изследвания за бездетонационна работа на двигателите с бутанол при максимално натоварване. Чрез моторни изследвания трябва да се определи оптималното съдържание на бутанол в смесите с бензин по отношение минимално съдържание на токсични вещества в отработените газове.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Broustail J., Seers P., Halter F., Experimental determination of laminar burning velocity for butanol and ethanol iso-octane blends, "Fuel" No 89 (2010).

[2] Dernet J., Mounaim C., Halter F., Evaluation of Butanol-Gasoline Blends in a Port Fuel-injection, Spark-Ignition Engine, Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, Vol, 65 (2010), No. 2, pp 345-351.

[3] Gu X., Huang Z., Wu S., Laminar burning velocities and flame instabilities of butanol isomers-air mixtures, Combustion and Flame, 2010 July, CNF 7513.

[4] Szwaja S., Naber J., Combustion of n-butanol in a spark – ignition IC engine, "Fuel" No 89 (2010) pp. 1573 – 1582.

За контакти:

гл. ас. д-р Кирил Хаджиев, катедра "Двигатели с вътрешно горене", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082/ 888 433, 888 332

Докладът е рецензиран.