



ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКОЙ СМЕСИ «ВОЗДУХ-ТОПЛИВО» ГОРЮЧИХ И ВЗРЫВООПАСНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

ПРОУЧВАНЕ СТЕХИОМЕТРИЧНА СМЕС "ВЪЗДУХ-ГОРИВО" ЗАПАЛИМИ И ИЗБУХЛИВИ ВЪГЛЕВОДОРОД

RESEARCH THE STOICHIOMETRIC COMPOSITION «AIR-FUEL» OF FLAMMABLE AND EXPLOSIVE HYDROCARBONES

член-корр. НАН Украины, проф., д.т.н. Бабак В.П., аспирант, м.н.с. Запорожец А.А.
Институт технической теплофизики НАН Украины – Киев, Украина

Abstract: Analyzed the feasibility of incorporation air's shortage/excess in the control of combustion process of inflammable and explosive hydrocarbones. The mass stoichiometric of air-fuel mixture of organic compounds are calculated. The importance of incorporation obtained data for industrial and municipal power are shown.

KEY WORDS: COMBUSTION, FUEL, AIR EXCESS FACTOR, STOICHIOMETRIC COMPOSITION, FLAMMABLE GASES, EXPLOSIVE GASES, HYDROCARBONES

1. Введение

Качество сжигания топлива определяется при помощи анализа дымовых газов. При сжигании горючих материалов в дымовых газах присутствуют продукты полного (CO_2 и H_2O) и неполного (CO , H_2 , C) сгорания, азот (N_2), кислород (O_2) из воздуха, поступающего в зону горения. Также возможно наличие токсичных примесей (NO_x , SO_x , H_2S и др.), образующихся в процессе сгорания недостаточно очищенного топлива.

При сжигании топливных материалов важно правильно регулировать поступление воздуха в камеру сгорания (двигателя или печи). Если воздуха будет поступать мало, то количество кислорода для полного сгорания топлива будет недостаточно, и часть горючих материалов, образующихся в камере сгорания, будет поступать в атмосферу. Очевидно, что такое сжигание приводит к чрезмерному расходу топливных ресурсов и ухудшению экологической ситуации (как локально, так и в масштабах больших территорий).

Для того чтобы обеспечить процесс полного сгорания топлива требуется подводить достаточное количество воздуха, при этом избыток воздуха в камере сгорания также недопустим. В таком случае большое количество тепла расходуется на нагрев воздуха, не участвующего в химическом процессе горения из-за недостаточного перемешивания с топливом. Воздух не успевает среагировать с углеводородом горючего вещества и выходит через газоотводы в свободном состоянии.

Таким образом, возникает необходимость во введении коэффициента избытка воздуха (КИВ) – α , который определяется отношением количества воздуха, поступившего в камеру сгорания, к теоретически необходимому:

$$\alpha = K / K_{\text{теор}}$$

где K – действительная масса воздуха, подаваемого в камеру сгорания на 1 кг топлива, а $K_{\text{теор}}$ – теоретически рассчитанная масса воздуха. На практике КИВ зависит от вида топлива, способа его сжигания, конструкции камеры сгорания и определяется на основе опытных данных. Однако важность

уравновешивания процесса горения также приводит к актуализации проблемы теоретического расчета стехиометрического состава воздушно-топливной смеси (ВТС), при котором $\alpha=1$ (рис. 1). Отклонение от стехиометрического состава в сторону недостатка или избытка воздуха приводит к образованию обогащенной или обедненной смеси соответственно.

При этом обогащение состава топливно-воздушной смеси приводит к увеличению содержания CO и HC в дымовых газах, увеличению расходов топлива и неэффективной работе камеры сгорания, а обеднение – увеличению содержания HC и NO_x (также наблюдается снижение уровней выбросов NO_x из-за снижения температуры рабочего процесса).

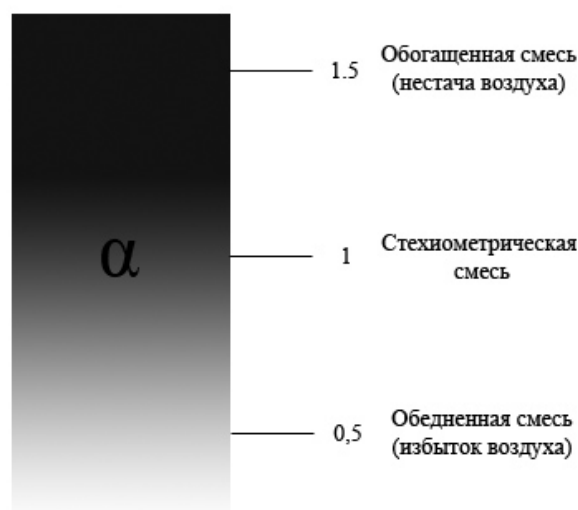


Рис.1. Показательная схема изменения состава топливно-воздушной смеси в зависимости от КИВ

2. Постановка задачи

Главная цель работы состоит в исследовании стехиометрии «воздух-топливо» углеводородов. В основе анализа положены легковоспламеняющиеся и взрывоопасные газы (пары), определяемые ГОСТ Р 51330.19-99 (метан, этан,

3. Характеристика углеводородов

Углеводороды – органические соединения, молекулы которых состоят из атомов углерода и водорода (рис. 2). Общая формула углеводородов: C_xH_y .

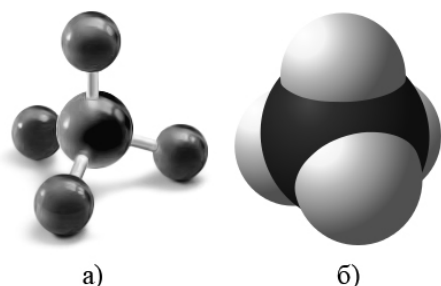


Рис. 2. Пример строения молекулы метана (а – шаростержневая модель, б – масштабная модель)

Углеводороды являются базовыми органическими соединениями, все остальные вещества рассматриваются как их производные.

При систематизации углеводородов учитывают тип связей и строение углеродного скелета. В зависимости от последнего углеводороды подразделяют на ациклические и циклические. В зависимости от кратности углерод-углеродных связей углеводороды подразделяют на насыщенные (алканы) и ненасыщенные (алкены, алкины, алкадиены). Циклические углеводороды разделяют на ароматические и алициклические (рис. 3).



Рис. 3. Схематическая классификация углеводородов

Углеводороды имеют важное практическое и научное значение. Во-первых, представления о свойствах и строении этих образований служат основой для изучения органических соединений других типов, так как молекулы всех органических веществ содержат атомы углерода и водорода. Во-вторых, свойства углеводородов позволяют понять ценность этих соединений как исходного сырья для синтеза органических соединений, широко используемых человеком [1].

4. Теоретические основы процесса горения

Горение – это физико-химический процесс взаимодействия горючего вещества с кислородом воздуха, в

пропан, бутан, пентан, гексан, декан, октен, бензол, нафталин). Полученные данные позволят повысить уровень техники безопасности при работе со взрывозащищенным и рудным электрооборудованием, а также качественно улучшить эксплуатацию объектов коммунальной и промышленной энергетики. Актуальным направлением является использование стехиометрических смесей при разработке энергосберегающих технологий.

результате чего выделяется определенное количество теплоты и света.

Основой процесса горения является комплекс экзотермических окислительно-восстановительных реакций горючего вещества с окислителем. При обычных условиях, горение – это процесс окисления или соединения горючего вещества с кислородом воздуха, который требует сочетание трех компонентов: 1) вещества, способного гореть; 2) источника зажигания с соответствующим запасом энергии; 3) окислителя.

Если вещество образовало с воздухом горючую смесь, то оно становится готовым к горению и представляет большую опасность, так как не требует мощного и длительного источника огня.

Важной характеристикой горючей смеси является процентное соотношение горючего вещества и кислорода в воздухе. Горючие смеси в зависимости от соотношения топлива и окислителя подразделяются на: а) бедные (имеют избыток окислителя и недостаточное количество горючего вещества); б) богатые (имеют избыток горючего вещества).

Особенности горения газов. Горючие газы при определенных концентрациях могут сгорать со скоростью взрыва, вызывая большие разрушения и несчастные случаи.

Взрыв – это мгновенное сгорание горючего вещества с выделением большого количества энергии и созданием взрывной волны, имеет большую скорость распространения.

Взрывоопасность смеси горючего газа с воздухом характеризуется нижним концентрационным пределом взрываемости (НКПВ) и верхним концентрационным пределом взрываемости (ВКПВ). Для газов – это процентное содержание их в объеме воздуха.

НКПВ – это наименьшее количество горючего газа в объеме воздуха, при котором уже может произойти взрыв при наличии открытого источника огня.

ВКПВ – это наибольшее количество горючего газа в объеме воздуха, выше которого взрыв не произойдет. При концентрациях, превышающих верхнюю границу, смесь становится только пожароопасной.

Данные по НКПВ и ВКПВ углеводородов, выбранных для анализа, приведены в табл. 1.

Таблица 1

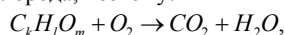
Концентрационные пределы взрываемости углеводородов

Газ (пар)	Химическая формула	Концентрационный предел взрываемости (объемная доля, %)	
		нижний	верхний
метан	CH_4	4,4	17,0
этан	C_2H_6	2,5	15,5
пропан	C_3H_8	1,7	10,9
бутан	C_4H_{10}	1,4	9,3
пентан	C_5H_{12}	1,4	7,8
гептан	C_7H_{16}	1,1	6,7
декан	$C_{10}H_{22}$	0,7	5,6
октен	C_8H_{16}	1,1	5,9
бензол	C_6H_6	1,2	8,6
нафталин	$C_{10}H_8$	0,9	5,9

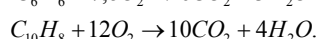
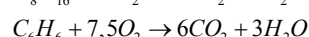
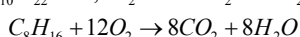
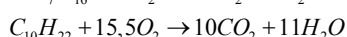
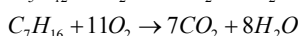
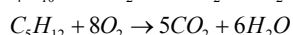
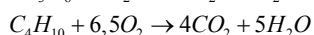
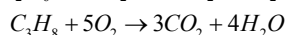
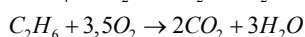
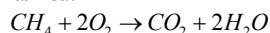
Смесь, что соответствует НКПВ – бедная, она содержит избыток кислорода и имеет малую скорость распространения пламени, низкое давление взрыва. При увеличении концентрации смесь становится богатой, она содержит избыток газа и недостаток окислителя. Такая смесь может только гореть.

5. Результаты исследования

Стехиометрическая смесь – это смесь, состав которой обеспечивает полное сгорание топлива без остатка избыточного кислорода, поэтому:



что наглядно демонстрируют реакции горения легко воспламеняющихся и взрывоопасных вещества, отобранных для анализа:

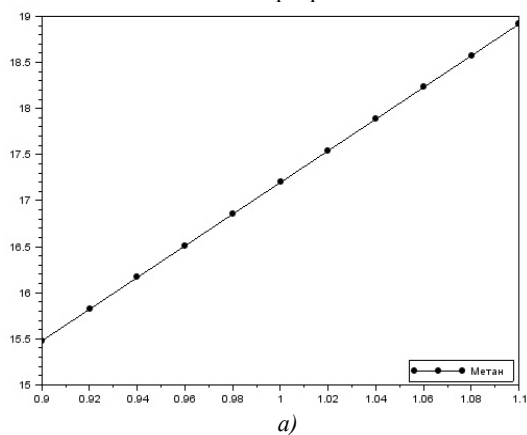


Согласно [2,3] определим стехиометрический массовый состав воздуха (на единицу массы горючего вещества) в смеси:

$$AF = \frac{M_{возд}}{(k \cdot a + l \cdot b + m \cdot c)} \times \frac{\alpha}{[O_2]} \times \left(k + \frac{l}{4} - \frac{m}{2}\right),$$

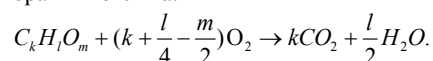
где a, b, c – атомные массы углерода, водорода и кислорода соответственно, $M_{возд}$ – молярная масса воздуха, $[O_2]$ – массовое содержание кислорода в воздухе.

На рис. 4 (а-г) приведены теоретические зависимости массового изменения количества воздуха на единицу топлива от КИП. Как видно, графиками являются прямые, характеризующие сбалансированные уравнения полного сгорания горючих веществ при $\alpha=1$. Расчеты проводились при помощи математического программного пакета Scilab.



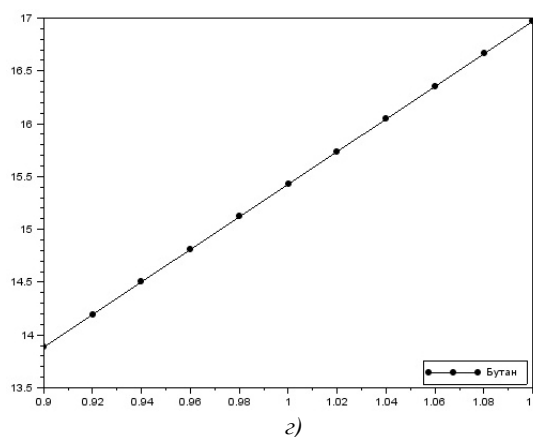
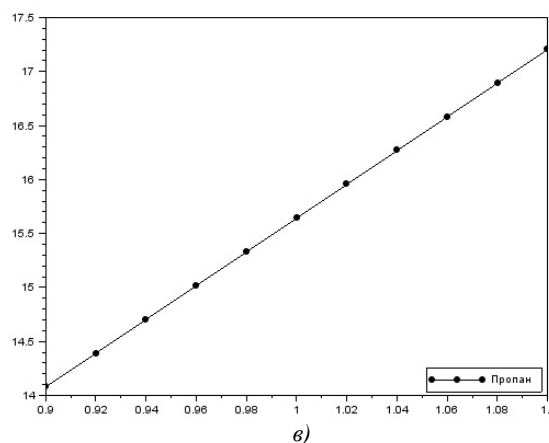
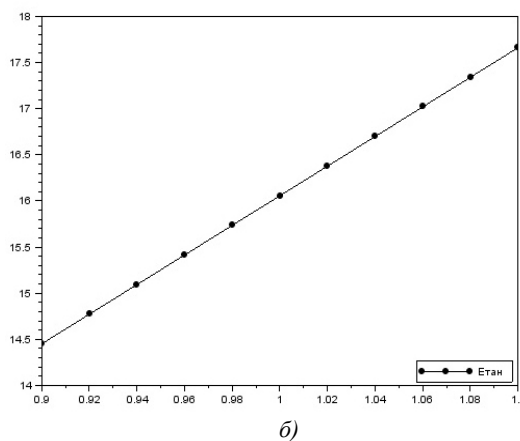
где k, l, m – количество атомов углерода, водорода и кислорода соответственно.

После уравнивания количества молей углерода, водорода и кислорода, получим сбалансированное уравнение полного сгорания топлива:



Таким образом, для обеспечения стехиометрического состава смеси количество молей кислорода (на 1 моль топлива) равняется:

$$N_{cm} = k + \frac{l}{4} - \frac{m}{2},$$



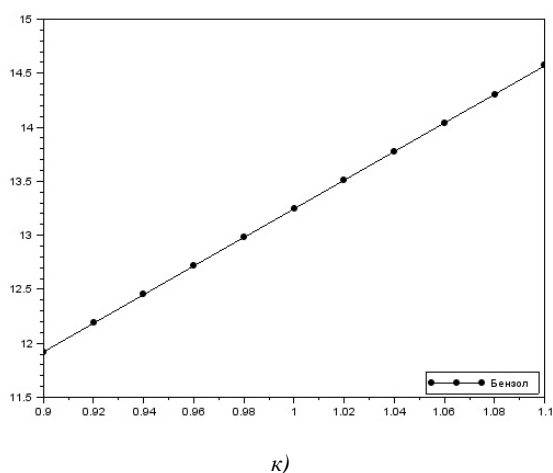
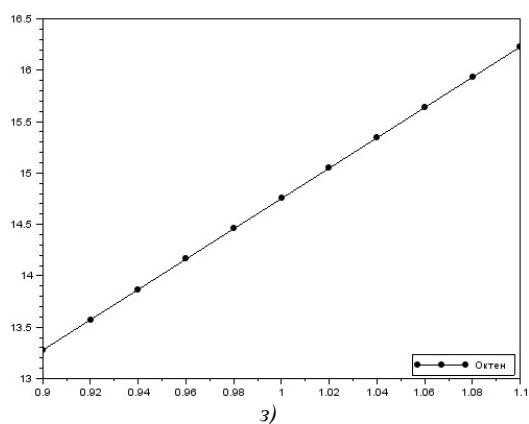
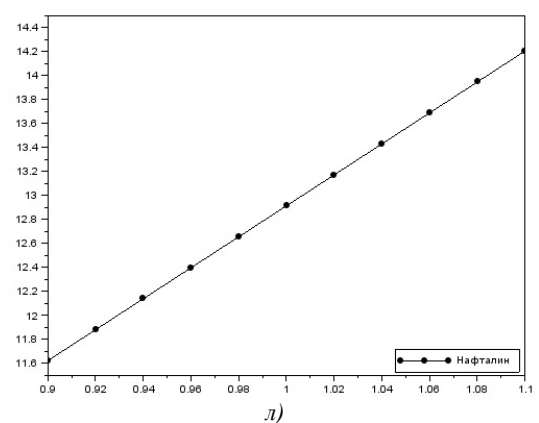
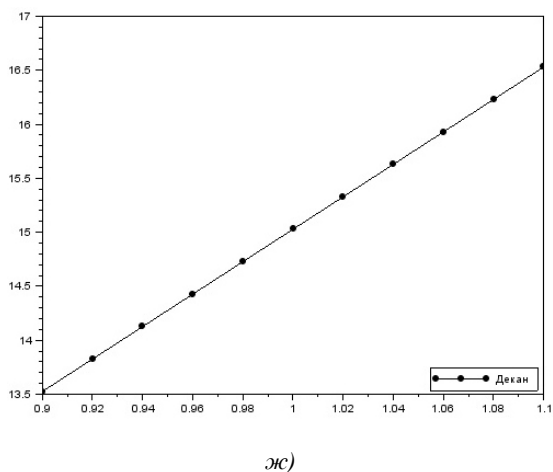
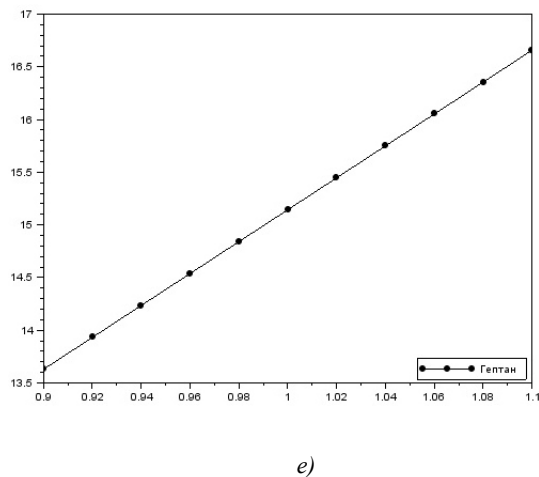
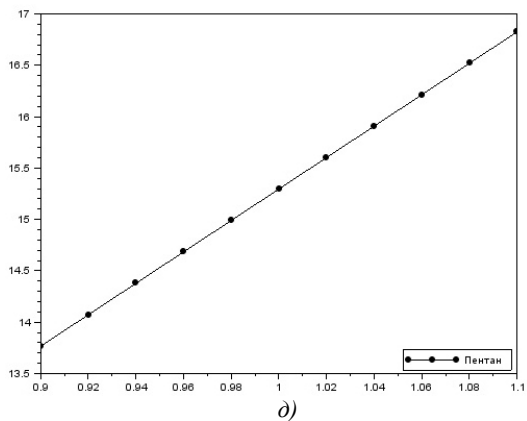


Рис. 4. Теоретическая зависимость изменения затрат воздуха на единицу горючего от КПП (*а* – метан, *б* – этан, *в* – пропан, *г* – бутан, *д* – пентан, *е* – гептан, *жс* – декан, *з* – октен, *к* – бензол, *л* – нафталин)

6. Выводы

При работе с легковоспламеняющимися и взрывоопасными веществами (в том числе, и углеводородами) важно иметь представление о стехиометрическом составе горючей смеси. Теоретически суммарная масса выходных продуктов химического процесса эквивалентна массе использованных реагентов (закон материального баланса), однако практически данное требование не всегда выполнимо, так как на производстве в любом процессе приходится использовать один или несколько реагентов в избыточном количестве. Кроме того, при протекании химической реакции возможно появление побочных продуктов или неиспользованных материалов. На процесс горения могут влиять: скорость перемешивания компонентов, температура, давление, наличие катализатора, чистота исходных материалов и др.

Однако теоретические результаты не являются недостижимыми. К их значениям необходимо стремиться, в том числе при сжигании топлива в топках и печах объектов коммунальной и промышленной теплоэнергетики, при регулировании процессов горения в двигателях внутреннего сгорания автомобилей и других процессах. Особая актуальность стехиометрических смесей проявляется при разработке энергосберегающих технологиях.

7. Литература

1. Органическая химия: интерактивный мультимедийный учебник / Г.И. Дерябина, Г.В.

Кантария // Самарский государственный университет – 1998-2014. – Режим доступа <http://www.chemistry.ssu.samara.ru>

2. Patent №6209385B1 USA, IPC G01M 15/00. Method and system for determining air/fuel ratio of an engine's combustion process from its exhaust emissions / William M. Silvis, Ann Arbor (USA) – №08/671,516; fil. 27.06.1996; publ. 3.04.2001. – 11 p.
3. J. Brettschneider. Berechnung des Luftverhältnisses λ von Luft-Kraftstoff-Gemischen und des Einflusses von Meßfehlern auf λ . – Bosch Technische Berichte, № 6. – 1979. – p 177-186.