

УДК 541.6

О. С. Сироткин, А. М. Павлова, Р. О. Сироткин,
А. Е. Бунтин**О СВЯЗИ СТЕХИОМЕТРИИ И ГРУППОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОВАЛЕНТНОСТИ, МЕТАЛЛИЧНОСТИ И ИОННОСТИ АЛКАНОВ С ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Ключевые слова: алканы, макромолекула, химическая связь, степени ковалентности, металличности и ионности, электроотрицательность, температура плавления, плотность, состав, стехиометрия, тип химической связи, энергия, тепловой эффект реакции, жаропродуктивность, самовоспламенение.

В настоящей работе сделана попытка установления влияния стехиометрии, типа химической связи, электроотрицательности, молекулярной массы предельных углеводородов (n-алканов) на энергетические характеристики их реакций горения. Показано, что для характеристики общего характера распределения электронной плотности и компонент химического взаимодействия элементов во всей молекуле алкана целесообразней оценивать через усредненное соотношение компонент химического взаимодействия не между двумя элементами (C-H, C-C), а между всеми элементами соответствующего соединения, то есть химической системы в целом. В результате в этом случае следует оценивать уже не просто значения отдельных компонент связи (ковалентной – S_C , металлической – S_M и ионной – S_I) а значения групповых компонент химической взаимодействия (S_{Cgr} , S_{Mgr} и S_{Igr}) углеводорода в целом, что должно сопровождаться и изменением электроотрицательности (ЭО) углерода и водорода, и их разницы ($\Delta ЭО$) в исследуемом ряду алканов. Обобщены данные о взаимосвязи между стехиометрией, электроотрицательностью, соотношением степеней ковалентности, металличности, ионности и структурой бинарных соединений. Показано, что значения групповых компонент в различных углеводородах также изменяются, но разнонаправленно. То есть растут значения S_{Cgr} (симбатно со S_{Igr} , которая стабилизируется в середине исследуемого ряда на уровне 2,61%) и уменьшаются S_{Mgr} , что в сочетании с ростом молекулярной массы углеводородов и числа связей элементов в них и приводит к росту энергии (определяемой через энтальпию сгорания с обратным знаком), выделяемой в процессе экзотермической реакции их горения. Показано, что с увеличением молекулярной массы, соотношения C/H, групповых степеней ковалентности и ионности и уменьшением металличности ряда углеводородов, увеличивается величина экзотермического эффекта реакций их горения, энергия Гиббса и происходит уменьшение температуры самовоспламенения, при незначительном увеличении температуры жаропродуктивности.

O. S. Sirotkin, A. M. Pavlova, R. O. Sirotkin,
A. E. Buntin**ON THE RELATIONSHIP BETWEEN STOICHIOMETRY AND GROUP VALUES OF COVALENCY, METALLICITY, AND IONICITY OF ALKANES AND THEIR ENERGY CHARACTERISTICS**

Keywords: alkanes, macromolecule, chemical bond, covalent character, metallic character, ionic character, electronegativity, melting point, density, composition, stoichiometry, chemical bond type, structure, energy, heat of reaction, heat production, self-ignition.

In this paper, we are trying to find out how the stoichiometry, chemical bond type, electronegativity, and molecular mass of saturates (n-alkanes) influence the energy characteristics of their combustion reactions. It is shown that, to characterize the general nature of distributing the electron density and the components of the chemical interaction of elements within the entire molecule of an alkane, it would be more reasonable to estimate through the average ratio of chemical interaction components not between two elements (C-H, C-C), but among all the elements of the relevant compound, i.e. of the chemical system as a whole. As a result, in this case, we should estimate not just the values of specific components of the bond (covalent – S_C , metallic – S_M , or ionic – S_I), but the values of the grouped components of chemical interaction, i.e. S_{Cgr} , S_{Mgr} , and S_{Igr} , of hydrocarbon as a whole, which must be accompanied with the changes in the electronegativity (EN) of carbon and hydrogen and in their difference (ΔEN) in the alkane series under research. We have generalized the data on the interrelation between stoichiometry, electronegativity, the ration between the degrees of covalency, metallicity, and ionicity, and the structure of binary compounds. It is shown that the values of grouped components also change in different hydrocarbons, but in different directions. It means that the values of S_{Cgr} increase (sympatically with S_{Igr} that stabilizes in the middle of the series under research at the level of 2.61%), while the values of S_{Mgr} decrease, which leads, in combination with the growth of the molecular mass of hydrocarbons and of the number of element bonds in them, to increasing energy that is defined through the enthalpy of combustion with the sign reversed and is released in the process of the exothermic reaction of their combustion. It is shown that, with the increase in molecular mass, the ratios C/H of the group degrees of covalency and ionicity, and with the decrease in the metallicity of the hydrocarbon series, the value of the exothermic effect of the reactions of their combustion and the value of Gibbs energy increase, while the self-ignition temperature decreases, and the heat capacity temperature increases insignificantly.

К недостаткам в развитии современной теории химической связи, следует отнести дефицит попыток создания ее единой модели. То есть, три

основных разновидности связи ковалентная, металлическая и ионная описываются различными теоретическими методами (МВС, ММО, зонная и

ионная теории и т.д.). При этом известно, что в «чистом» (100%) виде в реальных химических веществах эти три разновидности химической связи отдельно не существуют, а являются смешанными (промежуточными) между этими ее разновидностями [1-3]. Имеются также отдельные работы по оценке ионности, ковалентности или металлическости химических связей в различных соединениях [1-8]. В 2003 году было предложено в качестве единой модели использовать суммарную волновую функцию обобществленных (связывающих) электронов, учитывающую 2 компоненты связи (ковалентную и металлическую) в гомоядерных и 3 компоненты связи (дополнительно ионную) в гетероядерных соединениях [4] с их последующей количественной оценкой [9]. Ранее к подобному описанию суммарной волновой функции прибегали Полинг [1, с. 44], который при этом не принимал во внимание вклад металлической компоненты связи, и Угай [3, с. 98], который по-своему «дискриминировал» металлическую компоненту, поставив ее после ионной, хотя последняя, в отличие от металлической и ковалентной компонент, не является универсальной и имеет место лишь в гетероядерных связях.

Количественный учет влияния типа химической связи, через соотношение ее компонент на структуру и свойства веществ, области и технологии их практического применения является новым перспективным научным направлением в современной химии, химической технологии и технике, включая материаловедение, технологию органических и неорганических веществ, энергетику и т.д. [9-29].

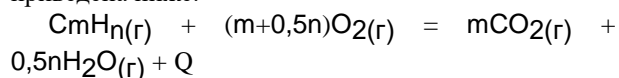
Все химические реакции, например, горение метана, протекают на электронно-ядерном (химическом) микроуровне организации вещества, где при преобразовании одних химических веществ в другие происходит обязательное изменение типа химической связи элементов, их составляющих. В результате инициирования (трения, поджога, подвода тепла и т.д.) разрываются связи в исходных веществах и образуются реакционноспособные радикалы или ионы (остатки исходных веществ). Они, в зависимости от их природы, и обеспечивают получение новых химических веществ с выделением (экзо-) или поглощением (эндо-) энергии при появлении новых химических связей в продуктах реакции. Однако влияние химической природы исходных и конечных веществ на эти процессы до последнего времени оценивалось крайне редко [17, 18, 24].

В энергетике особое значение имеют экзотермические реакции горения веществ, в которых выделяется большое количество тепла, широко используемого в тепло-, электроэнергетике и в промышленности в целом. Причем именно углеводороды и материалы на их основе (газ, мазут, древесина, торф, угли и т.д.) являются важнейшей естественной материальной основой для получения энергии и сегодня. Особенности их структуры, в отличие от металлов и ионных соединений, является молекулярное строение этих веществ, определяемое

преобладанием СК химической связи элементов их составляющих над C_M и C_I . При этом не исследовано влияние на разницу в энергетических характеристиках реакций горения различных углеводородов следующих особенностей их химического строения: стехиометрии, соотношения компонент химической связи элементов, электроотрицательности последних и их молекулярной массы.

Целью настоящей работы является попытка установления влияния стехиометрии, типа химической связи, электроотрицательности молекулярной массы предельных углеводородов (*n*-алканов) на энергетические характеристики их реакций горения.

Важнейшей химической реакцией получения тепловой энергии является экзотермическая окислительно-восстановительная реакция (ОВР) горения углеводородов. В общем виде, она приведена ниже.



При этом тепловой эффект реакции (кДж/моль) равен энтальпии сгорания (см. таблицу 1) с обратным знаком.

Приступая к решению поставленной задачи необходимо отметить, что, несмотря на формальное качественное постоянство элементного состава (углерода и водорода, но не их соотношения) исследуемого гомологического ряда *n*-алканов (см. таблицу), необходимо оценить влияние разницы в их химической структуре на величину энергетических характеристик реакций горения. Это возможно сделать при анализе различий в химическом строении исследуемого ряда алканов. Например, через отличие в их молекулярной массе, соотношении элементов (С и Н), компонент химического взаимодействия (ковалентной, металлической и ионной), электроотрицательности (ЭО) углерода и водорода, и их разницы ($\Delta ЭО$) при переходе от одного алкана к другому в исследуемом ряду.

При этом необходимо правильно оценить величину компонент химического взаимодействия элементов (степени ковалентности - C_K , металлическости - C_M и ионности - C_I) для этих веществ. Формально тип одинарной связи С-Н во всех углеводородах один, но в связи с изменением их химической структуры в исследуемом ряду алканов с ростом молекулярной массы начиная с этана дополнительно появляются гомоядерные связи С-С. А так как гомоядерная связь С-С значительно более локализована [28, 29], то есть имеет большую ковалентность (C_K равна приблизительно 68%), чем связь С-Н (C_K равна порядка 57%), то общий характер распределения электронной плотности между элементами в исследуемом ряду *n*-алканов будет различен. Кроме того, в молекулах этих углеводородов (начиная с этана) необходимо учитывать и эффект взаимного влияния элементов, непосредственно химически не связанных друг с другом (индукционный эффект по А.М. Бутлерову),

определяющий в итоге общий характер распределения электронной плотности (ЭП) и компонент химического взаимодействия элементов всей молекулы вещества. А, следовательно, в этом случае, целесообразней оперировать усредненным соотношением компонент химического взаимодействия не между двумя элементами (С-Н, С-С), а между всеми элементами соответствующего алкана, то есть химической системы в целом. В этом случае следует говорить уже о значениях *групповых компонент химической взаимодействия* углеводорода в целом, что должно сопровождаться и изменением ЭО углерода и водорода, и их разницы ($\Delta ЭО$) в исследуемом ряду *n*-алканов.

Ранее [25, 26] на примере оксидов титана нами было показано, что учет стехиометрии элементов в соединения приводит к изменению значений *групповых компонент химической взаимодействия, определяемых через степени ковалентности* ($C_{Кгр}$), *металличности* ($C_{Мгр}$) и *ионности* ($C_{Игр}$), а также структуры и свойств оксидов вплоть до их перехода их немолекулярных (типа Ti_6O) модификаций в молекулярные оксиды (TiO_2). В результате изменение их химической структуры определяет и изменение ЭО элементов в этих соединениях.

В статье [9] нами была приведена методика оценки трех компонент гетероядерного химического взаимодействия элементов для отдельных связей, то есть без учета влияния на них стехиометрических характеристик соединений. А в статьях [20, 25, 26] учитывалась стехиометрия при оценке значений компонент химической связи Э-О в предположении, что все элементы образуют связи со всеми элементами в соответствии с формулой соединения, то есть определялись групповые значения химических компонент. В качестве исходных значений компонент связей использовались данные источника [27]. Например, молекула метана состоит из одного атомного остова углерода и четырех атомных остовов водорода (в соответствии с его формулой CH_4). Соответственно, эти пять элементов ($4 + 1$) могут образовать друг с другом всего десять связей (исходя из предположения, что каждый из пяти атомных остовов образует по одной связи со всеми остальными четырьмя). То есть формально рассматриваются четыре связи С-Н и шесть связей Н-Н. Компоненты связи С-Н: $C_K = 57,20\%$, $C_M = 36,91\%$, $C_I = 5,89\%$; компоненты связи Н-Н: $C_K = 53,20\%$, $C_M = 46,80\%$, $C_I = 0,00\%$. Групповые значения химических компонент для всего химического соединения (метана) рассчитывались как средние значения для связей С-Н и Н-Н: $C_{Кгр} = (4 \times 57,20 + 6 \times 53,20)/(4+6) = 54,80\%$. $C_{Мгр} = (4 \times 36,91 + 6 \times 42,84)/(4+6) = 54,80\%$. $C_{Игр} = (4 \times 5,89 + 6 \times 0,00)/(4+6) = 2,36\%$. Также в статье [29] приведена методика расчета ЭО элементов в зависимости от стехиометрии связи.

Особенности стехиометрии, химической природы *n*-алканов (включая групповые компоненты химического взаимодействия элементов в них) и их энергетические характеристики приведены в настоящей работе в таблице 1. Значения групповых

компонент химического взаимодействия элементов в продуктах реакции $C_{Кгр}$, $C_{Мгр}$ и $C_{Игр}$ по методикам [20, 26] с учетом стехиометрии, следующие: O_2 (89,4; 10,6); CO_2 (76,87; 16,14; 6,99); H_2O (54,07; 30,23; 15,71). Разность компонент химической связи между реагирующими веществами (углеводородами и кислородом) составляет (ΔC_K , ΔC_M , ΔC_I): CH_4 (34,60; 32,24; 2,36); C_2H_6 (33,94; 31,42; 2,52); C_3H_8 (33,63; 31,06; 2,57); C_4H_{10} (33,44; 30,85; 2,59); C_5H_{12} (33,32; 30,72; 2,60); C_6H_{14} (33,24; 30,63; 2,61); C_7H_{16} (33,17; 30,56; 2,61); C_8H_{18} (33,12; 30,51; 2,61); C_9H_{20} (33,08; 30,47; 2,61); $C_{10}H_{22}$ (33,05; 30,44; 2,61).

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы.

При этом значения групповых компонент в различных углеводородах также изменяются, но разнонаправленно. То есть растут значения $C_{Кгр}$ (симбатно со $C_{Игр}$, которая стабилизируется в середине ряда на уровне 2,61%) и уменьшаются $C_{Мгр}$, что в сочетании с ростом молекулярной массы углеводородов и числа связей элементов в них и приводит к росту энергии (определяемой через энтальпию сгорания с обратным знаком) выделяемой в процессе экзотермической реакции их горения (смотри уравнение реакции и таблицу). При этом максимальный прирост выделяемой энергии в процессе экзотермической реакции (почти в 2 раза) наблюдается при переходе от 1 (окисление метана) к 2 (окисление этана) алкану, с последующим замедлением этого эффекта в ряду превращений, начиная с 2 по 10 углеводород. Это можно связать с максимальной разницей групповых $C_{Кгр}$, $C_{Мгр}$ и $C_{Игр}$ в этих двух углеводородах (смотри таблицу), что в сочетании с максимальной разницей компонент химической связи между реагирующими веществами ($\Delta C_{Кгр}$, $\Delta C_{Мгр}$ и $\Delta C_{Игр}$), то есть этими двумя углеводородами и молекулярным кислородом (смотри выше) и обеспечивает наибольший энергетический эффект. Из таблицы также следует, что с увеличением $C_{Игр}$ увеличивается $\Delta ЭО$, а также ЭО водорода (Н) и углерода (С) увеличиваются от метана к декану (от первого до последнего члена ряда алканов). Это возрастание можно связать с полярностью связи С-Н, которая возникает со смещением обобществленных (валентных) электронов (ОЭ) и электронной плотности (ЭП) в целом, от менее электроотрицательного атомного остова водорода (фактически, донора электронов) к более электроотрицательному атомному остову углерода (акцептору электронов). В рассматриваемом ряду *n*-алканов образованная обобществленными электронами ЭП, которую притягивает к себе каждый атомный остов углерода, уменьшается вследствие уменьшения доли атомных остовов водорода — доноров электронов (то есть в результате изменения стехиометрии). Это естественно приводит к изменению, а точнее росту ЭО углерода и водорода, и их разницы $\Delta ЭО$ в соответствующем углеводороде. Это связано с тем,

что на каждый атомный остов водорода приходится все больше атомных остовов углерода, которые характеризуются более высокой ЭО. Это и приводит к росту $C_{Игр}$ преимущественно связей алканов и соединения в целом, укорачиванию отдельных связей (правило Шомэкера-Стивенсона) и увеличению их энергии, с которой водород притягивает валентные электроны, т.е. росту его электроотрицательности. Таким образом, изменение стехиометрии и ЭО алканов в этом ряду хорошо коррелирует и с изменением химической структуры этих углеводородов. При этом происходит соответствующее изменение $C_{Кгр}$, $C_{Мгр}$, $C_{Игр}$, и $\Delta ЭО$ соединения. Это также объясняет и изменение ЭО(C), ЭО(H) и $\Delta ЭО$. Рост отношения углерода к

водороду в исследуемых веществах и материалах (табл.) приводит к закономерному увеличению $C_{Кгр}$ алканов, а также приводит к увеличению ЭО обоих элементов и в первую очередь углерода, как наиболее электроотрицательного. Причем изменение ЭО(H) в алканах лучше коррелирует с изменением $C_{Мгр}$ (с ее падением растет ЭО(H)), а изменение ЭО(C) в этой связи симбатно связано с изменением $C_{Кгр}$ (с ее ростом растет ЭО(C)). В свою очередь, логично, что изменение $C_{Игр}$ очевидно связано с изменением разности электроотрицательностей углерода и водорода ($\Delta ЭО$) в углеводородах с различной стехиометрией.

Таблица 1 - Особенности стехиометрии, химической природы *n*-алканов и их энергетические характеристики

Алкан	Соотношение C/H	Групповые компоненты химического взаимодействия элементов, % $C_{Кгр}$, $C_{Мгр}$, $C_{Игр}$	$\Delta ЭО$	ЭО водорода (H)	ЭО углерода (C)	Температура самовоспламенения $T_{сам.}^{\circ C}$ [32]	$\Delta H_{гор}^0$, кДж/моль [32]	Температура жаропродуктивности $t_{ж}$, $^{\circ C}$ [33]
CH ₄	0,25/1	54,80 42,84 2,36	0,3687	2,0340	2,4027	537	-802	2043
C ₂ H ₆	0,33/1	55,46 42,02 2,52	0,3815	2,0580	2,4395	472	-1576	2097
C ₃ H ₈	0,375/1	55,77 41,66 2,57	0,3854	2,0698	2,4552	466	-2044	2110
C ₄ H ₁₀	0,40/1	55,96 41,45 2,59	0,3869	2,0772	2,4641	405	-2657	2118
C ₅ H ₁₂	0,41/1	56,08 41,32 2,60	0,3877	2,0819	2,4696	287	-3272	2119
C ₆ H ₁₄	0,42/1	56,16 41,23 2,61	0,3885	2,0850	2,4735	234	-3887	2124
C ₇ H ₁₆	0,43/1	56,23 41,16 2,61	0,3885	2,0879	2,4763	233	-4501	-
C ₈ H ₁₈	0,44/1	56,28 41,11 2,61	0,3885	2,0899	2,4784	220	-5116	2128
C ₉ H ₂₀	0,45/1	56,32 41,07 2,61	0,3885	2,0915	2,4800	206	-5731	-
C ₁₀ H ₂₂	0,46/1	56,35 41,04 2,61	0,3885	2,0927	2,4812	208	-6346	2129

В результате, показано, что с увеличением молекулярной массы, соотношения C/H, групповых степеней ковалентности и ионности и уменьшением металличности ряда углеводородов, увеличивается (оцениваемая через $\Delta H_{гор}$) величина

экзотермического эффекта реакций их горения. Также происходит уменьшение температуры самовоспламенения, при незначительном увеличении температуры жаропродуктивности. При этом температура жаропродуктивности [32]

у всех алканов существенно превосходит их температуры самовоспламенения [33]. Это свидетельствует о том, что выделившейся энергии в виде тепла достаточно для поддержания самопроизвольного протекания реакции при удалении источника воспламенения.

Литература

1. Л. Паулинг, *Природа химической связи*. Госхимиздат, Москва, 1947. 440 с.
2. G.D. Sproul, *J. Chem. Educ.*, **78**, 386-390 (2001).
3. А.Я. Угай, *Общая и неорганическая химия*. Высшая Школа, Москва, 2002. 527 с.
4. Сироткин, О.С. *Начала единой химии (Унитарность как основа формирования индивидуальности, раскрытия уникальности и фундаментальности химической науки)*. ФЭН Казань, 2003. – 252 с.
5. J.A. Duffy, *J. Sol. State Chem.*, **62**, 145-157 (1986)
6. J. Torrance, Ph. Lascogno, Ch. Asavaroengchai, R.M. Metzger, *J. Sol.State Chem.*, **90**, 168-172 (1991);
7. E. Mooser, W.B. Pearson, *J. Electronics*, **1**, 629-645 (1956)
8. С.С. Бацанов, *Журнал структурной химии*, **12**, 5, 883-888 (1971)
9. О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, А.М. Трубачёва, *Журнал неорганической химии*, **50**, 1, 71-75 (2005);
10. Р.О. Сироткин, О.С. Сироткин, *Химическая связь*. КГЭУ, Казань, 2010. 51 с.
11. О.С. Сироткин, *Основы инновационного материаловедения*. ИНФРА-М, Москва, 2011. 158 с.
12. О.С. Сироткин, *Основы современного материаловедения*. ИНФРА-М, Москва, 2015. 364 с.
13. О.С. Сироткин, А.Е. Бунтин, Р.О. Сироткин, П.Б. Шибяев, *Вестник технологического университета*, **15**, 13, 31-35 (2012)
14. О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, А.Е. Бунтин, *Вестник технологического университета*, **16**, 2, 10-14 (2013)
15. О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, А.Е. Бунтин, П.Б. Шибяев, *Вестник технологического университета*, **17**, 1, 19-23 (2014)
16. О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, Д.Ю. Павлов, А.М. Трубачева, *Вестник технологического университета*, **16**, 6, 50-53 (2013)
17. Д.Ю. Павлов, А.М. Трубачева, О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, *Известия Вузов. Проблемы энергетики*, **3-4**, 54-60 (2013)
18. О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, А.М. Павлова, Д.Ю. Павлов, *Вестник технологического университета*, **16**, 24, 14-16 (2013)
19. O.S Sirotkin, R.O. Sirotkin, P.B. Shibaev, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, **56**, 7, 1104-1108 (2011);
20. О.С. Сироткин, Д.Ю. Павлов, А.М. Трубачева, *Технология металлов*, **10**, 2, 14-20 (2012);
21. О.С. Сироткин, Д.Ю. Павлов, А.М. Трубачева, Р.О. Сироткин, *Вестник технологического университета*, **13**, 10, 22-29 (2010);
22. О.С. Сироткин, Д.Ю. Павлов, А.М. Трубачева, Р.О. Сироткин, *Вестник технологического университета*, **14**, 20. – С. 27-31 (2011).
24. А.Е. Бунтин, Р.О. Сироткин, О.С. Сироткин, *Вестник технологического университета*, **20**, 5, 5-11 (2017).
25. А.Е. Бунтин, О.С. Сироткин, П.Б. Шибяев, Р.О. Сироткин, *Вестник технологического университета*, **15**, 9, 18-22 (2012).
26. Р.О. Сироткин, *Технология металлов*, **9**, 14-16 (2009).
27. О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, А.М. Трубачева, *Характеристики гомо- и гетероядерных связей тонкой электронно-ядерной структуры и их влияние на свойства металлических и неметаллических материалов*. КГЭУ, Казань, 2009. 303 с.
28. Р.О. Сироткин, О.С. Сироткин, Р.Я. Дебердеев, *Вестник технологического университета*, **19**, 8, 24-30 (2016);
29. О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, А.М. Павлова, *Вестник технологического университета*, **20**, 1, 23-26 (2017).
30. О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин, *Химия*. КНОРУС, Москва, 2017. 364 с.
31. О.С. Сироткин А.Е. Бунтин, *Вестник технологического университета*, **20**, 5, 15-19 (2017).
32. А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др., *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения*. Химия, Москва 1990. 496 с.
33. *Жаропрочность горючих компонентов топлива* URL: <http://gazogenerator.com/toplivo/zharoproizvoditelygost-goryuchix-komponentov-topliva/>

© **О. С. Сироткин**, д-р техн. наук, проф., академик РАН, зав. каф. «Материаловедение и технологии материалов» института электроэнергетики и электроники КГЭУ, Sirotkin-49@mail.ru; **А. М. Павлова**, канд. техн. наук, доц. каф. «Материаловедение и технологии материалов» института электроэнергетики и электроники КГЭУ, lisatrub@mail.ru; **Р. О. Сироткин**, канд. хим. наук, д-р философии (в области науки о полимерах), доц. каф. «Материаловедение и технологии материалов» института электроэнергетики и электроники КГЭУ; доц. каф. «Технология пластических масс» КНИТУ, rsir@mail.ru; **А. Е. Бунтин** – преподаватель каф. «Материаловедение и технологии материалов» института электроэнергетики и электроники КГЭУ, ar4in@yandex.ru.

© **O. S. Sirotkin**, doctor of technical Sciences, Professor, academician of RAE, head of the chair "Material science and materials technology" of the Institute of electricity and electronics, Kazan state power engineering university, e-mail: Sirotkin-49@mail.ru; **A. M. Pavlova**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair "Material science and materials technology" of the Institute of electricity and electronics, Kazan state power engineering university, e-mail: lisatrub@mail.ru; **R. O. Sirotkin**, candidate of chemical sciences, doctor of philosophy (in the field of polymer science), associate professor of the chair "Material science and materials technology" of the Institute of electricity and electronics, Kazan state power engineering university and associate professor of the department "Technology of plastics" Kazan scientific technological University, e-mail: rsir@mail.ru; **A. E. Buntin** - lecturer, DEP. "Material science and materials technology" of the Institute of electricity and electronics, Kazan power engineering university, ar4in@yandex.ru.