



УДК 621.43

АНАЛИЗ ЭМИССИИ ОКИСЛОВ АЗОТА СОВРЕМЕННЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ВОДОРОДА ИЛИ ДРУГИХ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ТОПЛИВ*

С.Е. Щеклеин, А.М. Дубинин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
д. 19, ул. Мира, Екатеринбург, 620002, Россия
тел.: +7(343)375-95-08; e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.07-09.073-084

Заключение совета рецензентов: 20.02.19 Заключение совета экспертов: 28.02.19 Принято к публикации: 06.03.19

Представлены расчетные исследования равновесной эмиссии окислов азота на выходе карбюраторных и дизельных двигателей внутреннего сгорания. Температура процесса окисления топлив составляет 1 400 °С, давление для карбюраторных и дизельных двигателей – 60 атм и 80 атм соответственно. Исследования проведены для природных и искусственных видов топлива: водорода, этанола, метанола, бензина, дизельного топлива и метана, – при коэффициенте избытка воздуха, соответствующем температуре окисления топлив 1 400 °С. Применялась методика расчета равновесного состава, основанная на константе равновесия и уравнениях сохранения массы. Показано, что с ростом давления от 1 атм до 60 атм для карбюраторных двигателей и до 80 атм для дизельных двигателей реакция образования диоксида азота смещается в сторону увеличения NO₂. На образование NO увеличение давления не влияет в силу того, что реакция проходит без изменения объема. Определено, что основным загрязняющим компонентом атмосферы является NO. Однако целесообразно шире использовать топлива, характеризующиеся наименьшим выходом диоксида азота (метан и метанол), поскольку наиболее опасной для человека является двуокись азота (NO₂), относящаяся к химическим веществам 2-го класса опасности. Установлено, что снижение температуры окисления с использованием водорода в качестве топлива для электрохимических генераторов тока позволит снизить эмиссию окислов азота более чем на порядок по сравнению с лучшими результатами для ДВС.

Ключевые слова: окислы азота; двигатели внутреннего сгорания; водород; этанол; метанол; бензин; дизельное топливо; метан.

ANALYSIS OF NITROGEN OXIDES EMISSION BY MODERN VEHICLES WHEN USED HYDROGEN OR OTHER NATURAL AND SYNTHETIC FUELS IN COMBUSTION CHAMBER

S.E. Shcheklein, A.M. Dubinin

Ural Federal University Named after the First President of Russia B.N. Yeltsin
19 Mira Str., Ekaterinburg, 620002, Russia
tel.: +7(343)375 95 08, e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.07-09.073-084

*Щеклеин С.Е., Дубинин А.М. Анализ эмиссии окислов азота современными транспортными средствами при использовании в камере сгорания водорода или других природных и искусственных топлив // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;07-09:73-84.



This paper presents calculated analysis of the equilibrium emission of nitrogen oxides at the exhaust of carburetor and diesel internal combustion engines. The temperature of the fuel oxidation process is assumed to be 1,400 °C, the pressure for carburetor and diesel engines to be 60 and 80 at, respectively. We have conducted studies for natural and artificial fuels: hydrogen, ethanol, methanol, gasoline, diesel fuel and methane with an excess air ratio corresponding to the oxidation temperature of fuels 1,400 °C. The method of calculating the equilibrium composition based on the equilibrium constant and the equations of mass conservation is applied. It is shown that with an increase in pressure from 1 to 60 bar for the carburetor engines and up to 80 bar for the diesel engines the reaction of nitrogen dioxide formation shifts towards an increase in NO₂. Increasing the pressure has no effect on the formation of NO, since the reaction proceeds without changes in the volume. It is established that the main polluting atmospheric component is NO. However, it is advisable to make greater use of fuel with the lowest yield nitrogen dioxide (methane and methanol) because nitrogen dioxide (NO₂) pertaining to the chemicals 2nd class of danger is the most dangerous to humans. It is established that the reducing temperature of oxidation using hydrogen as fuel for electrochemical power generators allows us to reduce the emission of nitrogen oxides over an order of magnitude in comparison with the best results for internal combustion engines.

Keywords: nitrogen oxides; internal combustion engines; hydrogen; ethanol; methanol; gasoline; diesel fuel; methane.



*Сергей Евгеньевич
Щеклеин
Sergey Shcheklein*

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина; действительный член Международной энергетической академии; член редколлегии журнала «Известия вузов. Ядерная энергетика»; Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE); сборника трудов УГТУ-УПИ «Теплофизика ядерных энергетических установок»; Трудов Одесского национального политехнического университета; Научно-технического журнала «Энергоэффективность и анализ».

Награды: Заслуженный энергетик России; Национальная экологическая премия им. В.И. Вернадского; медаль «Ветеран атомной энергетики и промышленности».

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1972 г.).

Область научных интересов: термодинамика ядерных энергетических установок; проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков; продление ресурса и повышение надежности оборудования АЭС; солнечная энергетика; ветроэнергетика; биоэнергетика.

Публикации: более 350, включая 2 монографии, 20 изобретений.
h-index 11

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Professor, the Head of Atomic Stations and Renewable Energy Sources Department, Urals Federal University; a member of International Energy Academy; a member of the editorial board of "Institute of Higher Education News. Nuclear Power"; International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE); "Nuclear Power Units Heat Engineering" USTU; Odessa National Polytechnic University article collection; Scientific Journal of "Energy Effectiveness and Analysis".

Awards: Honored Power Engineer of the Russian Federation; V.I. Vernadsky National Environmental Award; Medal "Veteran of Nuclear Energy and Industry".

Education: Urals Polytechnic Institute, 1972.

Research interests: nuclear power units thermodynamics; questions of nuclear energy and thermophysics of the two-phase flows; NPP equipment lifetime enduring and reliability increasing; solar, wind and bioenergetics.

Publications: more than 350, including 2 monographs, 20 inventions.



*Алексей Михайлович
Дубинин
Alexey Dubinin*

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

Награды: медаль ордена «За заслуги перед Отечеством» второй степени.

Образование: Ивановский энергетический институт (1965 г.).

Область научных интересов: аппараты для производства технологических атмосфер из природного газа и твердого топлива.

Публикации: более 250, включая 2 монографии, 6 изобретений.
h-index 4.

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Professor of Power Engineering and Thermal Engineering Department, UrFU.

Awards: medal "For Merits to the Fatherland" the second degree.

Education: Ivanovo Power Institute, 1965.

Research interests: apparatuses for production of the technological atmospheres from natural gas and solid fuel.

Publications: more than 250, including 2 monographs, 6 inventions.
h-index 4.



1. Введение

В последние десятилетия активно изучаются возможности использования природного газа и различных видов искусственных видов топлива для применения в энергетике и транспорте [1–5].

Интерес к данным исследованиям появился в связи с необходимостью снизить зависимость от импортируемых топливных ресурсов, в первую очередь нефти, имеющих неуклонную тенденцию к росту стоимости, а также использовать имеющиеся ресурсы биомассы, каменного угля, бытовых и промышленных органических отходов.

В то же время перед развитыми (США, ЕС, Япония и пр.) и бурно развивающимися странами (Китай, Индия, Бразилия и пр.) остро стоит вопрос о защите окружающей среды от негативного воздействия транспорта и энергетики. На первом месте – задача снижения парникового эффекта, вызываемого продуктами сгорания топлив, главным из которых является двуокись углерода.

Реакции горения кроме топлива требуется окислитель, а единственным окислителем для энергетики и транспорта является атмосферный воздух, состоящий более чем на 70 % из азота. При высоких температурах, которые характерны для горения топлива, и не-

обходимости иметь избыточный (по отношению к стехиометрическому) объем окислителя, в продуктах сгорания топлива образуются разнообразные соединения азота. Большинство этих соединений имеет антропогенный характер и жестко лимитируется [6–8].

Наибольшую опасность представляют окислы – оксид и диоксид азота. Результаты исследований содержания окислов азота в крупных городах ряда стран мира показывают значительный рост данных соединений, превышающий в ряде случаев установленные нормы в несколько раз [9–12]. Уменьшение выбросов окислов азота в атмосферу современными транспортными средствами и энергетическими установками достигается путем совершенствования конструкций двигателей и топочных установок, применения систем нейтрализации, повышения требований к качеству традиционных видов топлива [13–16].

Образование окислов азота при использовании новых искусственных видов топлива на сегодняшний день исследовано недостаточно. В то же время новые виды топлива могут стать эффективным инструментом улучшения экологической ситуации [17, 18].

В данной работе приведены результаты теоретического анализа образования окислов азота при использовании традиционных и новых видов топлива для автомобильного транспорта.

Список обозначений	
<i>Буквы греческого алфавита</i>	
μ	Объемная доля компонента в смеси газов
Σn_i	Сумма компонентов смеси после прохождения реакции, $\text{м}^3/\text{м}^3$
$\Sigma \nu_i$	Алгебраическая сумма киломолей компонентов реакции (1–7) после и до реакции
<i>Буквы латинского алфавита</i>	
K_p	Константа равновесия реакции (1)
P	Давление, атм
R	Универсальная газовая постоянная, ккал/моль·К
r	Концентрации в исходной смеси, г·моль/л
T	Температура, К
t_o	Принятая температура К (°С)
Z	Переменная равновесная концентрация, $\text{м}^3/\text{м}^3$
<i>Индексы нижние</i>	
ин	Инертные газы
р	Равновесие
<i>Индексы верхние</i>	
*	После протекания реакции (7)
о	Стандартные параметры
<i>Аббревиатуры</i>	
ДВС	Двигатель внутреннего сгорания

2. Образование оксидов азота

Известны три механизма образования оксидов азота, в соответствии с которыми их подразделяют на термические, топливные и быстрые. Топливные оксиды образуются из соединений азота, химически связанных с используемым топливом, и характерны для твердых видов топлива (уголь, дрова и п.). Быстрые оксиды возникают из азота воздуха при высоких температурах (выше 2 000 °С). Для современных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), работаю-

щих на жидких и газообразных видах топлива и при умеренных температурах, термический механизм образования является основным. Термические окислы образуются в результате окисления азота воздуха, их концентрация не может быть больше равновесной [19]. В пионерских работах Я.Б.Зельдовича [20] было показано, что в основе образования окислов азота при горении топлива в воздухе лежит неразветвленная цепная реакция, в которой активную роль играют атомы кислорода и азота. Установлено, что энергетический барьер реакций образования NO достаточ-



но высок и складывается из энергий образования атома кислорода ($499 \cdot 10^3$ кДж) и энергии взаимодействия атома кислорода с молекулой азота ($314 \cdot 10^3$ кДж), преодолевается только при достаточно высоких температурах.

Зависимость равновесной концентрации NO от температуры по [20] определяется следующим образом:

$$r_{NO}^p = (8/\sqrt{3}) \cdot \sqrt{(r_{O_2} r_{N_2} \exp(-21400/RT))},$$

где r_{O_2}, r_{N_2} – концентрации кислорода и азота в исходной смеси, г-моль/л; $R = 1,98$ ккал/моль·К.

Ниже приводится анализ образования окислов азота для принятого в данной работе уровня температур сгорания топлива в современных ДВС и различных по химическому составу видах топлива.

2.1. Образование окиси азота

Реакция окисления молекулярного азота кислородом воздуха проходит, как



Логарифм константы равновесия реакции (1) [21, 22]

$$\lg K_p = -9581/T - 0,022 \lg T + 0,068 \cdot 10^5 / T^2 + 1,38. \quad (2)$$

Константа равновесия реакции (1) при принятой температуре $t_d = 1\ 673$ К ($1\ 400$ °С)

$$K_p = 40 \cdot 10^{-6}.$$

С другой стороны, для равновесной смеси выполняется условие [23, 24]:

$$K_p = \frac{(r_{NO}^p)^2}{(r_{N_2}^p r_{O_2}^p)} \left(\frac{P}{\sum n_i} \right) \sum v_i, \quad (3)$$

где равновесные концентрации N_2 и O_2 в продуктах сгорания 1-ой стадии [23, 24]:

$$r_{N_2}^p = r_{N_2} - 0,5Z, \quad (4)$$

$$r_{O_2}^p = r_{O_2} - 0,5Z. \quad (5)$$

Здесь r_{N_2} и r_{O_2} – объемные доли N_2 и O_2 в продуктах сгорания различных горючих при коэффициенте избытка воздуха α , при котором температура продуктов сгорания равна $1\ 673$ К ($t_d = 1\ 400$ °С); P – давление смеси, атм; $\sum n_i$ – сумма компонентов смеси, $м^3/м^3$.

Реакции окисления топлива в этом случае приобретают вид, который представлен в табл. 1 [25–27].

Таблица 1
Коэффициенты избытка воздуха и реакции горения топлива при температуре $1\ 400$ °С
Table 1
Excess air coefficients and fuel combustion reactions at the temperature of $1,400$ °С

Топливо	Коэффициент избытка воздуха α	Формула
Водород	1,7	$H_2 + 0,85(O_2 + 3,76 N_2) = H_2O + 3,196N_2 + 0,35O_2$
Этанол	1,55	$C_2 H_5 OH + 4,66(O_2 + 3,76 N_2) = 2CO_2 + 3H_2O + 17,52N_2 + 1,66O_2$
Метанол	1,5	$C H_3 OH + 2,25(O_2 + 3,76 N_2) = CO_2 + 2H_2O + 8,46N_2 + 0,75O_2$
Бензин	1,6	$C_7 H_{16} + 17,6(O_2 + 3,76 N_2) = 7CO_2 + 8H_2O + 66,176N_2 + 6,6O_2$
Дизель	1,4	$C_8 H_{18} + 17,5(O_2 + 3,76 N_2) = 8CO_2 + 9H_2O + 65,8N_2 + 5O_2$
Метан	1,43	$CH_4 + 2,86(O_2 + 3,76N_2) = CO_2 + 2H_2O + 10,7536N_2 + 0,86O_2$

2.2. Концентрация N_2 и O_2 в продуктах окисления

Например, для H_2 $r_{N_2} = \frac{3,196}{1 + 3,196 + 0,35} = 0,703$ $м^3/м^3$;

$$r_{O_2} = \frac{0,35}{1 + 3,196 + 0,35} = 0,0769$$
 $м^3/м^3$.

Обозначим $r_{NO}^p = Z$.

Реакция (1) идет без изменения объема $\sum v_i = v_{N_2} - v_{N_2} - v_{O_2} = 2 - 1 - 1 = 0$. Тогда $(P/\sum n_i)^0 = 1$. При этом давление на реакцию не оказывает влияния.

С учетом уравнений (4) и (5) уравнение (3) для равновесной смеси можно переписать в виде:

$$K_p = z^2 / (r_{N_2} - 0,5z)(r_{O_2} - 0,5z). \quad (6)$$

Решая это уравнение, находим $r_{NO}^p = Z$, а из уравнений (4) и (5) – $r_{N_2}^p$ и $r_{O_2}^p$, $м^3/м^3$.

Для каждого горючего результаты приведены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2
Равновесные концентрации NO, N₂, O₂ в продуктах сгорания 1-й стадии
Table 2
Equilibrium concentrations of NO, N₂ and O₂ (m³/m³) in the combustion products of the first stage

Характеристика	Обозначение	Водород	Этанол	Метанол	Бензин	Дизель	Метан
r_{NO}^p	м ³ /м ³	0,0015347	0,0014707	0,0013602	0,0015702	0,0013615	0,0013717
$r_{N_2}^p$	м ³ /м ³	0,7022683	0,72383	0,692195	0,753134	0,74875	0,735177
$r_{O_2}^p$	м ³ /м ³	0,0762234	0,067916	0,060745	0,074406	0,056267	0,058163

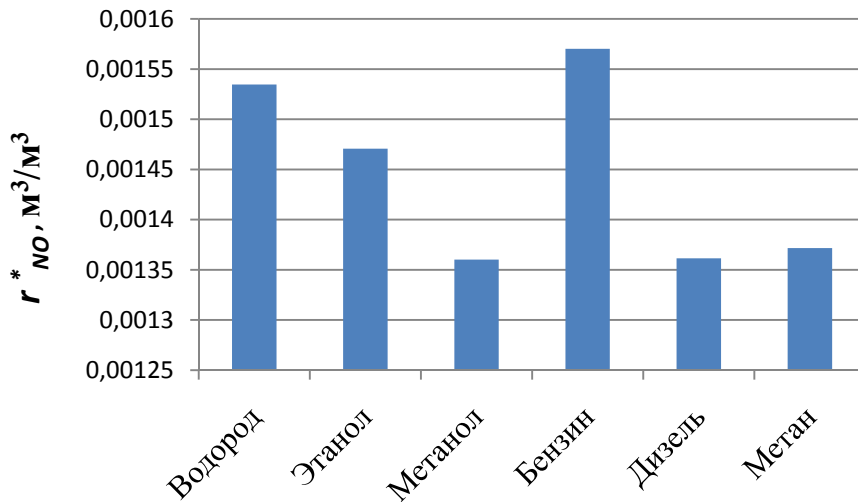
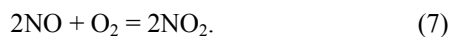


Рис.1 – Равновесные концентрации NO в продуктах сгорания
Fig. 1 – Equilibrium concentrations of NO in the combustion products

Эти результаты будут использованы далее для определения равновесной концентрации $r_{NO_2}^p$.

2.3. Образование двуокиси азота

Основная реакция образования двуокиси азота в продуктах сгорания горючих веществ соответствует окислению образовавшейся окиси азота оставшимся кислородом:



Часть получившегося NO будет израсходована на образование NO₂ по реакции (7).

Логарифм константы равновесия реакции (7) [21]

$$\lg K_p^* = 6017,2/T - 0,998 \lg T + 0,302 \cdot 10^{-3} / T - 0,237 \cdot 10^5 / T^2 - 5,175.$$

Для принятой температуры $t_d = 1673 \text{ K}$ ($1400 \text{ }^\circ\text{C}$)

$$K_p^* = 50 \cdot 10^{-6}.$$

Для равновесных условий также выполняется соотношение [28, 29]:

$$K_p^* = \frac{(r_{NO_2}^*)^2}{(r_{NO}^*)^2 r_{O_2}^*} \left(\frac{p}{\sum n_i} \right) \sum v_i, \quad (8)$$

где $\sum v_i = v_{NO_2} - v_{NO} - v_{O_2} = 2 - 2 - 1 = -1$. Реакция идет с уменьшением объема. Повышение давления сдвигает равновесие в сторону увеличения концентрации NO₂.

Введем обозначения содержания составляющих смеси [23, 24]:

$$r_{NO_2}^* = Z^*, \quad (9)$$

$$r_{O_2}^* = r_{O_2}^p - 0,5Z^*, \quad (10)$$

$$r_{NO}^* = r_{NO}^p - Z^*, \quad (11)$$

$$r_{ин} = 1 - (r_{O_2}^p + r_{NO}^p),$$

где $r_{ин}$ – объемная доля инерта (H₂O, CO₂). Тогда

$$\begin{aligned} \sum n_i &= Z^* + (r_{NO}^p - Z^*) + (r_{O_2}^p - 0,5Z^*) + r_{ин} = \\ &= r_{NO}^p + r_{O_2}^p - 0,5Z^* + 1 - r_{O_2}^p - r_{NO}^p = 1 - 0,5Z^*. \end{aligned}$$

Значения r_{NO}^p и $r_{O_2}^p$ приведены в табл. 2.

Используя полученные ранее равновесные значения для образования NO (см. табл. 2), запишем уравнение (8) в виде:

$$K_p^* = \frac{(Z^*)^2}{(r_{NO}^*)^2 r_{O_2}^*} \left(\frac{P}{1 - 0,5Z^*} \right)^{-1} = \frac{(Z^*)^2 (1 - 0,5Z^*)}{(r_{NO}^*)^2 r_{O_2}^* P}$$

Решение для определения концентрации двуокиси азота находится из следующего уравнения:

$$K_p^* = (r_{NO}^*)^2 (r_{O_2}^*) P = (Z^*)^2 (1 - 0,5Z^*) \tag{12}$$

Решая уравнение (12), находим $r_{NO_2}^* = Z^*$, а из уравнения (11) определяем r_{NO}^* . Далее находим их сумму $r_{NO}^* + r_{NO_2}^*$. Результаты расчетов приведены в табл. 3 и на рис. 2 при давлении 1 атм и на рис. 3. при давлении 60 атм и 80 атм для карбюраторных и дизельных ДВС соответственно.

Таблица 3
Равновесные концентрации NO₂, NO, и NO_x в продуктах сгорания, м³/м³
Table 3
Equilibrium concentrations of NO₂, NO, and NO_x in the combustion products, m³/m³

Характеристика	Давление, атм	Водород	Этанол	Метанол	Бензин	Дизель	Метан
$r_{NO_2}^*$	1	2,99E-06	2,71E-06	2,37E-06	3,023E-06	2,28E-06	2,33E-06
	60	2,32E-05	2,1E-05	1,836E-05	2,346E-05	–	1,812E-05
	80	–	–	–	–	2,01E-05	–
r_{NO}^*	1	0,00156	0,00147	0,00136	0,00157	0,00136	0,00137
	60	0,001563	0,00149	0,00138	0,00159	–	0,00139
$r_{NO_2}^*$	60	–	–	–	–	0,00138	–
	80	–	–	–	–	–	–

Рис. 2 – Равновесные концентрации NO₂ в продуктах сгорания (P = 1атм)
Fig. 2 – Equilibrium concentrations of NO₂ in the combustion products (P = 1 bar)

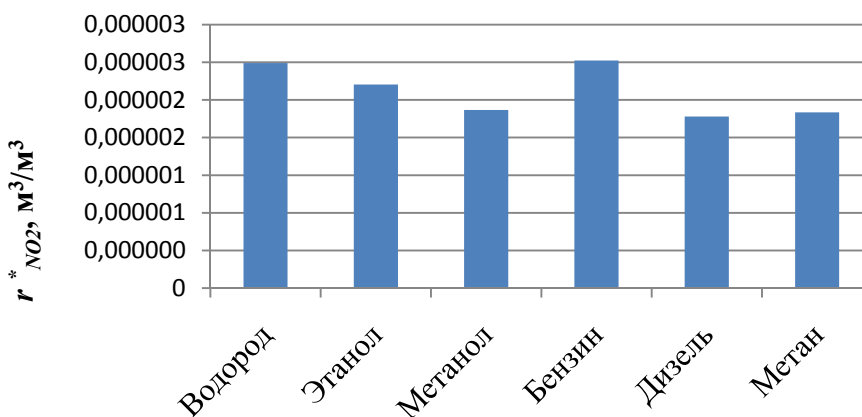
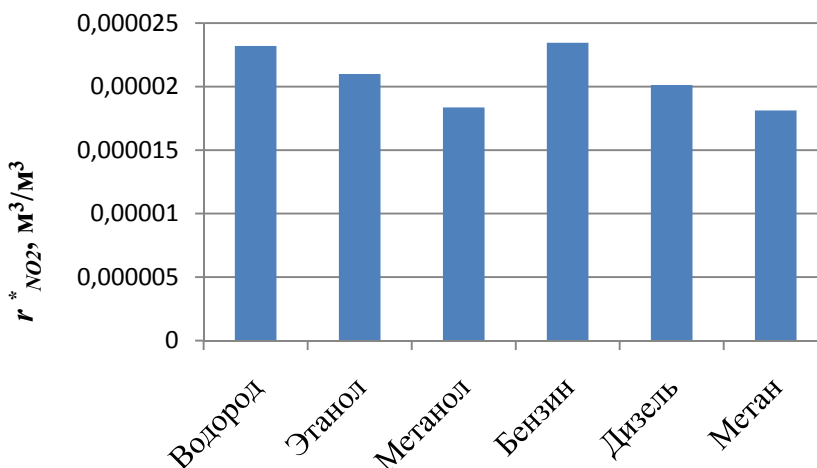


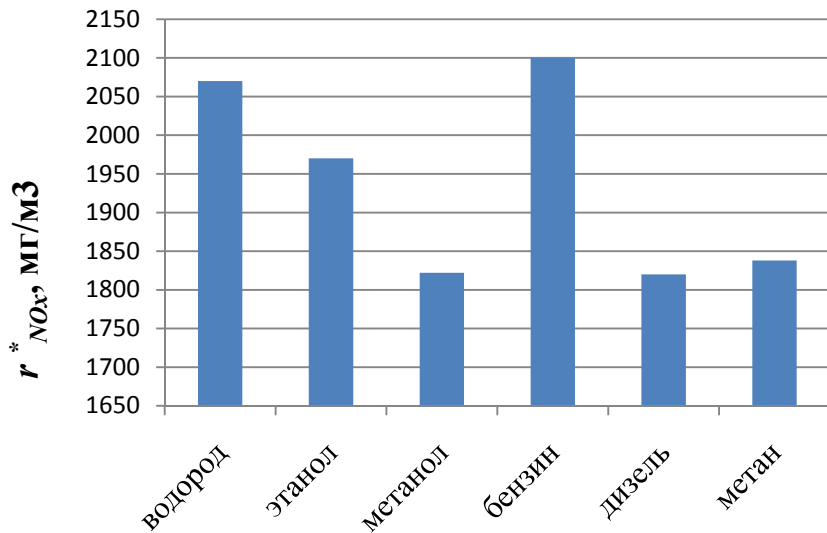
Рис. 3 – Равновесные концентрации NO₂ в продуктах сгорания (карбюраторные ДВС P = 60 атм, дизельные ДВС P = 80 атм)
Fig. 3 – Equilibrium concentrations of NO₂ in the combustion products (carburetor ICE P = 60 bar, diesel ICE P = 80 bar)



Как и следовало ожидать, повышение давления приводит к росту равновесной концентрации NO_2 более чем в 10 раз. Следовательно, увеличение термодинамических параметров сгорания топлива в

ДВС, как способ повышения их энергетической эффективности, одновременно приводит к негативным экологическим последствиям (рис. 4).

Рис. 4 – Равновесные концентрации NO_x в продуктах сгорания (карбюраторные ДВС $P = 60$ атм, дизельные ДВС $P = 80$ атм)
Fig. 4 – Equilibrium concentrations of NO_x in the combustion products (carburetor ICE $P = 60$ bar, diesel ICE $P = 80$ bar)



Этот эффект требует создания более эффективных методов нейтрализации продуктов сгорания для всех рассмотренных видов топлива.

3. Результаты и их обсуждение

Наиболее опасным для человека является двуокись азота (NO_2), относящаяся к химическим веществам 2-го класса опасности. По международным нормам (CAS 10102-44-02) и Российским национальным нормам (ГН 2.1.6.695-8) максимальная разовая концентрация этого вещества не должна превышать 0,085, а среднесуточная – 0,04 мг/м³ [6, 7, 12, 13]. Однако многочисленные экспериментальные исследования, выполненные в последние годы в разных странах мира, показывают значительное превышение данных уровней [30–34], что связано в основном с резким ростом автомобильного парка. Особенно тревожная ситуация наблюдается в мегаполисах и странах с бурным развитием экономики [35]. С целью снижения концентрации NO_x разрабатываются каталитические и некаталитические методы нейтрализации. Так, компанией Exon Research Engineering разработан и запатентован метод восстановления NO до молекулярного азота путем добавки в выхлопные газы аммиака или мочевины [36–41]. Выходом из данной ситуации может также явиться более широкое развитие электротранспорта, низкотемпературных технологий использования топлива,

мер по совершенствованию и административному регулированию использования автотранспорта и промышленных производств в населенных пунктах [42, 43]. С этой точки зрения интересен опыт Канады, где за период с 1988 г. по 2013 г., вследствие проведения ряда административных мер, удалось снизить концентрацию NO_2 в населенных пунктах более чем в 2 раза [44].

Сравнение по эмиссии окислов азота различных видов натуральных и искусственных топлив целесообразно осуществлять с учетом их различной энергетической ценности и, соответственно, различных объемов требуемого окислителя (воздуха) для получения равной энергетической эффективности (расхода топлива на 100 км пробега).

На рис. 5 и 6 показаны удельные выбросы NO_2 и NO_x , рассчитанные с учетом реальной теплоты сгорания топлива.

Из представленных данных (см. рис. 5, 6) видно, что самый низкий уровень эмиссии наиболее опасного газа (NO_2) имеют метанол и метан.

Полученные результаты могут использоваться при комплексной оптимизации энергетической и экологической эффективности современных и перспективных ДВС в сочетании с другими факторами, характеризующими влияние термодинамических параметров на удельные расходы топлива и образование других антропогенных продуктов сгорания [46].



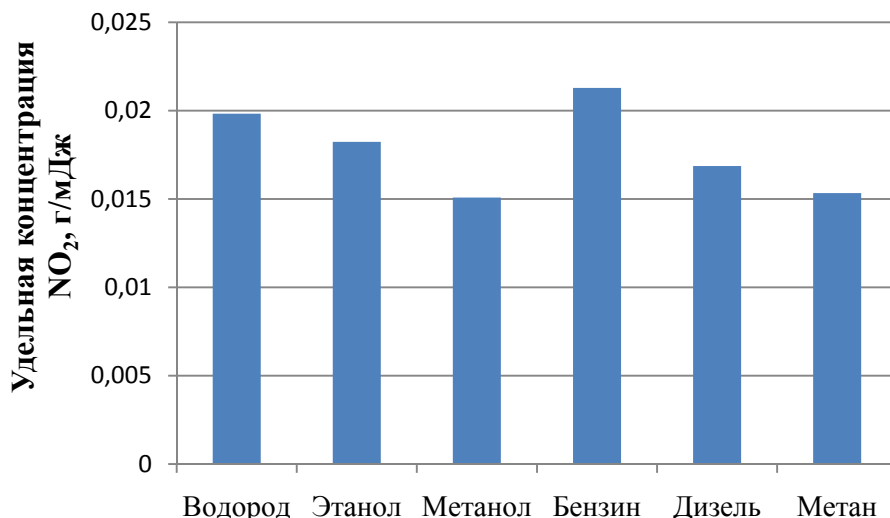


Рис. 5 – Удельные концентрации NO₂ в продуктах сгорания (карбюраторные ДВС P = 60 атм, дизельные ДВС P = 80 атм)

Fig. 5 – Unit NO₂ concentrations in flue gases (carburetor ICE P = 60 bar, diesel ICE P = 80 bar)

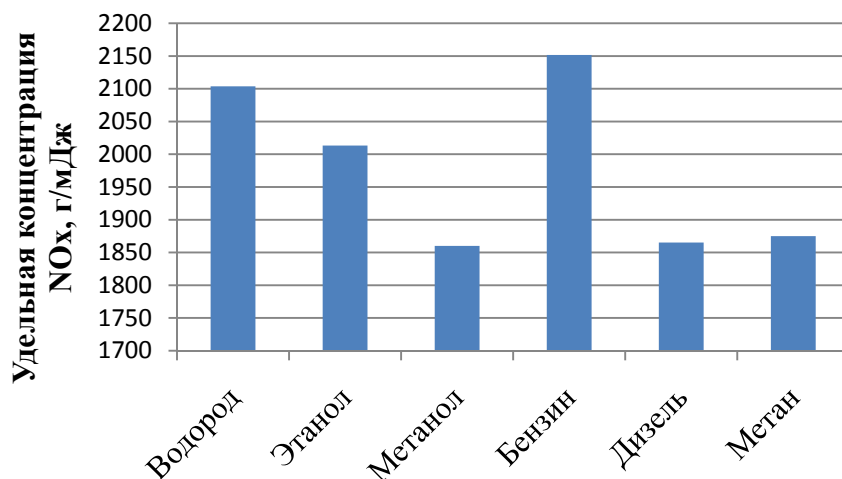


Рис. 6 – Удельные концентрации NO_x в продуктах сгорания (карбюраторные ДВС P = 60 атм, дизельные ДВС P = 80 атм)

Fig. 6 – Unit NO_x concentrations in flue gases (carburetor ICE P = 60 bar, diesel ICE P = 80 bar)

Однако радикальным путем уменьшения эмиссии окислов азота может стать снижение температуры окисления топлива. Например, использование водорода в качестве топлива для электрохимических генераторов тока позволяет отказаться от ДВС в транспортных средствах и снизить эмиссию окислов азота более чем на порядок. Так, выполненные по данной методике расчеты для энергетической установки с высокотемпературным электрохимическим генератором ($t_d = 1058$ K), использующей в качестве топлива водород, а окислителя атмосферный воздух [45], показали, что общая концентрация NO_x в продуктах сгорания по сравнению с ДВС снижается в 32 раза.

4. Заключение

Современные высокотемпературные методы использования натуральных и искусственных топлив с применением в качестве окислителя атмосферного воздуха неизбежно приводят к образованию значительных объемов разнообразных окислов азота.

Чем выше концентрация N₂ и O₂ в продуктах окисления топлива, тем больше в выхлопных газах NO и NO₂. Например, при окислении бензина концентрация азота на 8,8 %, а кислорода на 22 % больше, чем при окислении метанола, поэтому выход оксида азота на 14 %, а диоксида азота на 21 % больше, чем при окислении метанола.

Повышение давления с 1 атм до 80 атм при окислении дизельного топлива увеличивает концентрацию NO₂ в 8,8 раза, у остальных рассмотренных видов топлива с 1 атм до 60 атм – в 7,8 раза.

Основным загрязняющим компонентом атмосферы является NO. Однако, так как наиболее опасным для человека является двуокись азота (NO₂), относящаяся к химическим веществам 2-го класса опасности, целесообразно шире использовать те виды топлива, которые характеризуются наименьшим выходом диоксида азота (метан и метанол).

Снижение температур окисления с использованием водорода в качестве топлива для электрохимических генераторов тока может явиться радикальным путем, который позволит снизить эмиссию окислов



азота более чем на порядок по сравнению с лучшими результатами для ДВС.

Список литературы

[1] Sun, J. Oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fuelled diesel engines / J. Sun, J.A. Caton, T.J. Jacobs // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2010. – Vol. 36. – Iss. 6. – P. 677–695.

[2] Tomić, M., Effects of accelerated oxidation on the selected fuel properties and composition of biodiesel / M. Tomić [et al.] // *Fuel*. – 2019. – Vol. 235. – P. 269–276.

[3] Miller, B.G. Formation and Control of Nitrogen. *Clean Coal Engineering Technology (Second Edition)* / B.G. Miller. – Butterworth-Heinemann, 2017. – P. 507–538.

[4] Ringsmuth, A.K. Can photosynthesis enable a global transition from fossil fuels to solar fuels, to mitigate climate change and fuel-supply limitations / A.K. Ringsmuth, M.J. Landsberg, B. Hankamer // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – Vol. 62. – P. 134–163.

[5] Ganesh, I. Solar fuels vis- Г-vis electricity generation from sunlight: The current state-of-the-art (a review) / I. Ganesh // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – Vol. 44. – P. 904–932.

[6] Chong, H.S., Park, Y., Kwon, S., Hong, Y. Analysis of real driving gaseous emissions from light-duty diesel vehicles / H.S. Chong [et al.] // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. – 2018. – P. 485–499.

[7] Miller, B. Nitrogen oxides formation and control. *Fossil Fuel Emissions Control Technologies* / B. Miller. – Butterworth-Heinemann, 2015. – P. 243–280.

[8] Артамонова, В.Г. Интоксикации веществами раздражающего действия (хлор, хлороводород, сернистый ангидрид, сероводород, оксиды азота) / В.Г. Артамонова, Н.А. Мухин // *Профессиональные болезни*. – М.: Медицина, 2004. – 480 с.

[9] Shelef, M. Prospects of hydrogen-fueled vehicles / M. Shelef, C.A. Kukkonen // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 1994. – Vol. 20. – Iss. 2. – P. 139–148.

[10] Verhelst, S. Methanol as a fuel for internal combustion engines / S. Verhelst [et al.] // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2019. – Vol. 70. – P. 43–88.

[11] Dell, R.M. Chapter 3: Unconventional Fuels / R.M. Dell, P.T. Moseley, D.A.J. Rand. – *Towards Sustainable Road Transport*, Academic Press, 2014. – P. 86–108.

[12] Simmons, W.A. Estimations of primary nitrogen dioxide exhaust emissions from chemiluminescence NO_x measurements in a UK road tunnel / W.A. Simmons, P.W. Seakins // *Science of the Total Environment*. – 2012. – P. 438. – P. 248–259.

[13] Khann, T. Comparison of real-world and certification emission rates for light duty gasoline vehicles / T. Khann, H.C. Frey // *Science of The Total Environment*. – 2018. – Vol. 622. – P. 790–800.

[14] Warnatz, J. *Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation* / J. Warnatz, U. Maas, R.W. Dibble. – Springer, 2006. – 378 p.

[15] Lefebvre A.H., Ballal D.R. *Gas Turbine Combustion: Alternative Fuels and Emissions*. 3rd Edition / A.H. Lefebvre, D.R. Ballal. – CRC Press, 2010. – 538 p.

[16] Reid, H. Staggering reductions in atmospheric nitrogen dioxide across Canada in response to legislated transportation emissions reductions / H. Reid, J. Aherne // *Atmospheric Environment*. – 2016. – Vol. 146. – P. 252–260.

[17] Huang, X. Emission factors of air pollutants from CNG-gasoline bi-fuel vehicles: Part II. CO, HC and NO_x / X. Huang [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2016. – Vol. 565. – P. 698–705.

[18] Lenner, M. Nitrogen dioxide in exhaust emissions from motor vehicles / M. Lenner // *Atmospheric Environment*. – 1987. – Vol. 21. – Iss. 1. – P. 37–43.

[19] Баскаков, А.П. Котлы и топки с кипящим слоем / А.П. Баскаков, В.В. Манцев, И.В. Распопов. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 352 с.

[20] Зельдович, Я.Б. Окисление азота при горении / Я.Б. Зельдович, П.Я. Садовников, Д.А. Франк-Каменецкий. – М.-Л.: Издательство АН СССР, 1947. – 148 с.

[21] Краткий справочник физико-химических величин. 12-е издание / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – М.: ООО ТИД «АРИС», 2010. – 240 с.

[22] Жуховицкий, Л.А. *Физическая химия* / Л.А. Жуховицкий, Л.А. Шварцман. – М.: Металлургия, 2001. – 688 с.

[23] Карапетьянц, М.Х. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ / М.Х. Карапетьянц, М.Л. Карапетьянц. – М.: Химия, 1968. – 470 с.

[24] Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: Учебное пособие для энергомашиностроительных спец. вузов / В.Н. Афанасьев, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; под ред. В.И. Крутова и Г.Б. Петражицкого. – М.: Высш. школа, 1986. – 383 с.

[25] Киреев, В.А. Методы практических расчетов в термодинамике и химических реакциях / В.А. Киреев. – М.: Химия, 1975.

[26] Мунц, В.А. Основы горения: Учебное пособие / В.А. Мунц, Е.Ю. Павлюк. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 102 с.

[27] Основы практической теории горения: Учебное пособие для вузов / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др.; под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.

[28] Глушко, В.П. Термодинамические константы веществ / В.П. Глушко. – М.: АН СССР, 1978. – 534 с.

[29] Баскаков, А.П. Нагрев и охлаждение металлов в кипящем слое / А.П. Баскаков. – М.: Металлургия, 1974. – 272 с.



[30] Горбачева, Л.А. Что смог столичный нам готовит / Л.А. Горбачева // *Энергия*. – 2011. – № 1. – С. 48–52.

[31] Литвинова, Н.А. Влияние выбросов автотранспорта на заболеваемость и риск здоровью населения г. Тюмени / Н.А. Литвинова, С.А. Молотилова // *Экология человека*. – 2018. – № 8. – С. 11–16.

[32] Sinay, J. Reduction of the NO_x emissions in vehicle diesel engine in order to fulfill future rules concerning emissions released into air / J. Sinay, M. Puškár, M. Kopas // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 624. – С. 1421–1428.

[33] Verhels, S. Methanol as a fuel for internal combustion engines / S. Verhels [et al.] // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2019. – Vol. 70. – P. 43–88.

[34] Salvi B.L., Subramanian K.A., Panwar N.L. Alternative fuels for transportation vehicles: A technical review / B.L. Salvi, K.A. Subramanian, N.L. Panwar // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2013. – Vol. 25. – P. 404–419.

[35] He, L. Real-world gaseous emissions of high-mileage taxi fleets in China / L. He [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2019. – 659. – P. 267–274.

[36] Miller, J.A. Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion / J.A. Miller, C.T. Bowman // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 1989. – Vol. 15. – No. 4. – P. 287–338.

[37] Wüning J. A., Wüning J. G. Flameless oxidation to reduce thermal NO-formation // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 1997. – Vol. 23. – No. 1. – P. 83–94.

[38] Smoot, L.D. NO_x control through reburning / L.D. Smoot, S.C. Hill, H. Xu // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 1998. – Vol. 24. – No. 5. – P. 385–408.

[39] Glarborg, P. Fuel nitrogen conversion in solid fuel fired systems / P. Glarborg, A.D. Jensen, J.E. Johnsson // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2003. – Vol. 29. – No. 2. – P. 89–113.

[40] Konnov, A.A. NO_x Formation, Control and Reduction Techniques / Handbook of Combustion. Vol. 2: Combustion Diagnostics and Pollutants / A.A. Konnov. – Wiley, 2010. – P. 439–464.

[41] Glarborg, P. Modeling nitrogen chemistry in combustion / P. Glarborg [et al.] // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2018. – Vol. 67. – P. 31–68.

[42] Sobrino, F.H. Critical analysis on hydrogen as an alternative to fossil fuels and biofuels for vehicles in Europe / F.H. Sobrino, C.M. Monroy, J.L.H. Perez // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2010. – Vol. 14. – P. 772–780.

[43] Bernaya, C. Prospects of different fuel cell technologies for vehicle applications / C. Bernaya, M. Marchanda, M. Cassir // *Journal of Power Sources*. – 2002. – Vol. 108. – P. 139–152.

[44] Reid, H. Staggering reductions in atmospheric nitrogen dioxide across Canada in response to legislated transportation emissions reductions / H. Reid, J. Aherne

// *Atmospheric Environment*. – 2016. – Vol. 146. – P. 252–260.

[45] Щеклеин, С.Е. Исследование влияния вида топлива на энергетические показатели электрохимического генератора в составе когенерационной установки / С.Е. Щеклеин, А.М. Дубинин // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ)*. – 2018. – № 16–18. – С. 12–22.

[46] Shcheklein, S.E. Stoichiometric analysis of air oxygen consumption in modern vehicles using natural and synthetic fuels / S.E. Shcheklein, A.M. Dubinin // 2018 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 177. – No. 1. – P. 012020.

References

[1] Sun J., Caton J.A., Jacobs T.J. Oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fuelled diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2010;36(6):677–695.

[2] Tomić M., Đurišić-Mladenović N., Mičić R., Simikić M., Savin L. Effects of accelerated oxidation on the selected fuel properties and composition of biodiesel. *Fuel*, 2019;235:269–276.

[3] Bruce G., Miller B.G. Formation and Control of Nitrogen. *Clean Coal Engineering Technology (Second Edition)*, Butterworth-Heinemann, 2017; pp. 507–538.

[4] Ringsmuth A.K., Landsberg M.J., Hankamer B. Can photosynthesis enable a global transition from fossil fuels to solar fuels, to mitigate climate change and fuel-supply limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016;62:134–163.

[5] Ganesh I. Solar fuels vis- G-vis electricity generation from sunlight: The current state-of-the-art (a review). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015;44:904–932.

[6] Chong H.S., Park Y., Kwon S., Hong Y. Analysis of real driving gaseous emissions from light-duty diesel vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018;65:485–499.

[7] Miller B. Nitrogen oxides formation and control. *Fossil Fuel Emissions Control Technologies*. Butterworth-Heinemann, 2015; pp. 243–280.

[8] Artamonova V.G., Muhin N.A. Intoxication irritant substances (chlorine, take, sulphur dioxide, hydrogen sulphide, nitrogen oxides (Intoksikacii veshchestvami razdrzhayushchego deistviya (hlor, hlorovodorod, sernisty angidrid, serovodorod, oksidy azota) / Professional'nye bolezni. Moscow: Medicina, 2004; 480 p. (in Russ.).

[9] Shelef M., Kukkonen C.A. Prospects of hydrogen-fueled vehicles. *Progress in Energy and Combustion Science*, 1994;20(2):139–148.

[10] Verhelst S., Turner J.W.G., Sileghem L., Vancoillie J. Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2019;70:43–88.



- [11] Dell R.M., Moseley P.T., Rand D.A.J. Chapter 3 – Unconventional Fuels. Towards Sustainable Road Transport, Academic Press, 2014; pp. 86–108.
- [12] Simmons W.A., Seakins P.W. Estimations of primary nitrogen dioxide exhaust emissions from chemiluminescence NO_x measurements in a UK road tunnel. *Science of the Total Environment*, 2012;438:248–259.
- [13] Khann T., Frey H. C. Comparison of real-world and certification emission rates for light duty gasoline vehicles. *Science of The Total Environment*, 2018;622:790–800.
- [14] Warnatz J., Maas U., Dibble R.W. Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation. Springer, 2006; 378 p.
- [15] Lefebvre A.H., Ballal D.R. Gas Turbine Combustion: Alternative Fuels and Emissions. 3rd Edition. CRC Press, 2010; 538 p.
- [16] Reid H., Aherne J. Staggering reductions in atmospheric nitrogen dioxide across Canada in response to legislated transportation emissions reductions. *Atmospheric Environment*, 2016;146:252–260.
- [17] Huang X., Wang Y., Xing Z., Du K. Emission factors of air pollutants from CNG-gasoline bi-fuel vehicles: Part II. CO, HC and NO_x . *Science of The Total Environment*, 2016;565:698–705.
- [18] Lenner M. Nitrogen dioxide in exhaust emissions from motor vehicles. *Atmospheric Environment*, 1987;21(1):37–43.
- [19] Baskakov A.P., Mancev V.V., Raspopov I.V. Boilers and fluidized bed combustion (Kotly i topki s kipyashchim sloem). Moscow: EHnergoatomizdat Publ., 1996; 352 p. (in Russ.).
- [20] Zel'dovich Ya.B., Sadovnikov P.Ya., Frank-Kameneckij D. A. Nitrogen oxidation during combustion (Okislenie azota pri gorenii). Moscow-Leningrad: Izdatel'stvo AN USSR, 1947; 148 p. (in Russ.).
- [21] Quick reference guide of physical and chemical quantities (Kratkij spravochnik fiziko- himicheskikh velichin). 12-e izdanie. Ed. A.A. Ravdel' i A.M. Ponomareva. Moscow: OOO TID "ARIS", 2010; 240 p. (in Russ.).
- [22] Zhuhovickij L.A., Shvarcman L.A. Physical chemistry (Fizicheskaya himiya). Moscow: Metallurgiya Publ., 2001; 688 p. (in Russ.).
- [23] Karapet'yantc M.H., Karapet'yantc M.L. The basic thermodynamic constants of inorganic and organic substances (Osnovnye termodinamicheskie konstanty neorganicheskikh i organicheskikh veshchestv). Moscow: Himiya, 1968; 470 p. (in Russ.).
- [24] Task book for technical thermodynamics and theory of heat and mass transfer (Zadachnik po tekhnicheskoy termodinamike i teorii teplomassoobmena: Uchebnoe posobie dlya ehnergomashinostroitel'nyh spec. vuzov). V.N. Afanas'ev, S.I. Isaev, I.A. Kozhinov, et al.; Ed. V.I. Krutov, G.B. Petrazhickii. Moscow: Vyssh. Shkola Publ.. 1986; 383 p. (in Russ.).
- [25] Kireev V.A. Practical methods of calculations in thermodynamics and chemical reactions (Metody prakti-
- chekih raschetov v termodinamike i himicheskikh reakciyah). Moscow: Himiya Publ., 1975 (in Russ.).
- [26] Munc V.A., Pavlyuk E.Yu. Burning basics: a tutorial (Osnovy gorenija: Uchebnoe posobie). Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2005; 102 p. (in Russ.).
- [27] The basics of practical theory of combustion: a textbook for universities (Osnovy prakticheskoy teorii gorenija: Uchebnoe posobie dlya vuzov) / V.V. Pomerancev, K.M. Aref'ev, D.B. Ahmedov [et al.]; Ed. V.V. Pomerancev. Leningrad: Ehnergoatomizdat Publ., 1986; 312 p. (in Russ.).
- [28] Glushko V.P. Thermodynamic constants substances (Termodinamicheskie konstanty veshchestv). Moscow: AN USSR, 1978; 534 p. (in Russ.).
- [29] Baskakov A.P. Heating and cooling of metals in a fluidized bed (Nagrev i ohlazhdenie metallov v kipyashchem sloe). Moscow: Metallurgiya Publ., 1974; 272 p. (in Russ.).
- [30] Gorbacheva L.A. What could us capital prepares (Chto smog stolichnyj nam gotovit). *Energiya*, 2011;(1);48–52 (in Russ.).
- [31] Litvinova N. A., Molotilova S. A. Impact of emissions of motor transport on morbidity and risk the health of the population of Tyumen (Vliyanie vybrosov avtotransporta na zabolevaemost' i risk zdorov'yu naseleniya g. Tyumeni). *Ekologiya cheloveka*, 2018;(8):11–16 (in Russ.).
- [32] Sinay J., Puškár M., Kopas M. Reduction of the NO_x emissions in vehicle diesel engine in order to fulfill future rules concerning emissions released into air. *Science of the Total Environment*, 2018;624:1421–1428.
- [33] Verhels S., Turner J.W.G., Sileghem L., Vancoillie J. Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2019;70:43–88.
- [34] Salvi B.L., Subramanian K.A., Panwar N.L. Alternative fuels for transportation vehicles: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013;25:404–419.
- [35] He L., Jingnan Hub J., Yang L., Li Z., Zheng X., Xie S., Zub L., Chen J., Li Y., Wua Y. Real-world gaseous emissions of high-mileage taxi fleets in China. *Science of the Total Environment*, 2019;659:267–274.
- [36] Miller J.A., Bowman C.T. Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 1989;15(4):287–338.
- [37] Wüning J.A., Wüning J.G. Flameless oxidation to reduce thermal NO-formation. *Progress in Energy and Combustion Science*, 1997;23(1):83–94.
- [38] Smoot L.D., Hill S.C., Xu H. NO_x control through reburning. *Progress in Energy and Combustion Science*, 1998;24(5):385–408.
- [39] Glarborg P., Jensen A.D., Johnsson J.E. Fuel nitrogen conversion in solid fuel fired. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2003;29(2):89–113.
- [40] Konnov A.A., Javed M.T., Kassman H., Irfan N. NO_x Formation, Control and Reduction Techniques. Handbook of Combustion. Vol. 2: Combustion Diagnostics and Pollutants. Wiley, 2010; pp. 439–464.

[41] Glarborg P., Miller J.A., Ruscic B., Klippenstein S.J. Modeling nitrogen chemistry in combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2018;67:31–68.

[42] Sobrino F.H., Monroy C.M., Perrez J.L.H. Critical analysis on hydrogen as an alternative to fossil fuels and biofuels for vehicles in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010;14:772–780.

[43] Bernaya C., Marchanda M., Cassir M. Prospects of different fuel cell technologies for vehicle applications. *Journal of Power Sources*, 2002;108:139–152.

[44] Reid H., Aherne J. Staggering reductions in atmospheric nitrogen dioxide across Canada in response to

legislated transportation emissions reductions. *Atmospheric Environment*, 2016;146:252–260.

[45] Shcheklein S.E., Dubinin A.M. Study of the influence of fuel to energy indicators electrochemical generator consisting of cogeneration plant (Issledovanie vliyaniya vida topliva na ehnergeticheskie pokazateli ehlektrohimicheskogo generatora v sostave kogeneracionnoj ustanovki). *International Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2018;(16–18):12–22 (in Russ.).

[46] Shcheklein S.E., Dubinin A.M. Stoichiometric analysis of air oxygen consumption in modern vehicles using natural and synthetic fuels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018;177(1):012020.

Транслитерация по BSI



Международная научная конференция
по электротехническим комплексам и системам (ICOECS 2019)

22–25 октября 2019 года

Кафедра электромеханики Уфимского государственного авиационного технического университета в рамках Российского энергетического форума проводит с 22 по 25 октября 2019 года Международную научную конференцию по электротехническим комплексам и системам.

За последние 15 лет эта конференция стала событием в области электротехнических комплексов и систем, электромеханики, электроэнергетики, электрооборудования, электротранспорта и электрооборудования летательных аппаратов.

Основная цель конференции – организовать научную площадку для обсуждения последних работ, охватывающих широкий спектр областей электротехники.

Темы:

- Электротехнические комплексы и системы;
- Электромеханика и электрические аппараты;
- Электрооборудование летательных аппаратов;
- Электрические транспортные средства;
- Электроэнергетические системы и сети.

Важные даты:

15 мая 2019 г. – подача статьи на рассмотрение;

15 июня 2019 г. – уведомление о принятии;

15 июля 2019 г. – окончательная подача документов;

15 августа 2019 г. – срок оплаты участия;

22 октября 2019 года – 25 октября 2019 года: Проведение конференции

Контакты

Исмагилов Флюр Рашитович
электронная почта: 2019icoecs@gmail.com
телефон: +7 (347) 273-77-87
450008, Россия, Республика Башкортостан, Уфа,
К. Маркса, 12, стр.4, ауд. 207

Гусаков Денис Валерьевич
электронная почта: gusakov.den@mail.ru (личная),
телефон: + 7917-401-4545 (мобильный)
450008, Россия, Республика Башкортостан, Уфа,
К. Маркса, 12, стр.4, ауд. 317

<http://www.icoecs.com/index-rus.html>

