

МЕТОДИКА РАСЧЁТА РАВНОВЕСНОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Маамри Рашид

Докторант*

Контактный тел.: 819 376 5011 (3913).

E-mail: rachid.maamri@uqtr.ca

Ф.И. Абрамчук

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

E-mail: dvs@khadi.kharkov.ua

А.Н. Кабанов

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры

*Кафедра двигателей внутреннего сгорания

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел.: (057) 707-37-25.

E-mail: sashok8282@mail.ru

Дубе Ив

Ph. D., профессор**

Контактный тел.: 819 376 5011 (3938)

E-mail: Yves.Dube@uqtr.ca

Тюбаль Лотфи

Ph. D., профессор**

Кафедра механики

Контактный тел.: 819 376 5011 (3970)

E-mail: lotfi.toubal@uqtr.ca

Коджо Агбоссу

Ph. D., профессор

Кафедра электротехники и информатики*

**Университет Квебека в Труа-Ривьер, Канада

бульвар дес Форджес, 3351, г. Труа-Ривьер, Канада

Контактный тел.: Тел. 819 376 5011 (3911)

E-mail: kodjo.agbossou@uqtr.ca

Наведено методику розрахунку показників токсичності газового двигуна. Виконано порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними

Ключові слова: методика розрахунку, процес згоряння, токсичність

Приведена методика расчёта показателей токсичности газового двигателя. Выполнено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными

Ключевые слова: методика расчета, процесс сгорания, токсичность

The toxic factors calculation method of gas engine has been shown. Comparison of calculation results with experimental data has been performed

Key words: calculation method, combustion process, toxic

1. Введение

Ввиду постоянно ухудшающейся экологической обстановки в мире всё больше внимания уделяется вопросам токсичности двигателей внутреннего сгорания. Соответственно, возникает необходимость расчёта содержания токсичных компонентов в продуктах

сгорания. Обеспечение возможности выполнения этой задачи позволяет существенно экономить человеческие и материальные ресурсы за счёт сокращения количества экспериментальных исследований.

2. Анализ публикаций

В настоящее время для расчёта содержания токсичных компонентов в отработавших газах двигателя с искровым зажиганием в основном используется методика расчёта равновесного состава продуктов сгорания, предложенная проф. Звоновым В.А. [1]. Для расчёта концентрации NOx данная методика дополняется кинетическим уравнением Зельдовича [1].

Математически методика проф. Звонова В.А. представляет собой систему из N нелинейных уравнений с N неизвестными. Для решения такого рода системы используются два основных подхода: численный [2] и алгебраический [3]. Первый подход достаточно сложный при реализации и требует хороших навыков программиста у специалиста, создающего программу для выполнения расчётов. Второй подход, изначально созданный для ручного счёта, таких навыков не требует и достаточно широко используется [4, 5 и др.].

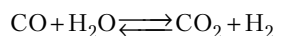
3. Цель исследования

Целью данного исследования является анализ существующих подходов решения системы нелинейных уравнений в методике расчёта содержания токсичных компонентов в отработавших газах двигателя с искровым зажиганием и разработка рекомендаций по выбору методики решения.

4. Выбор количества неизвестных в методике Зельдовича-Полярного

Так как механизм развития цепных реакций в процессе сгорания смесей воздуха и углеводородов изучен не до конца и в основном представляет собой теоретические допущения, у разных авторов предполагается разное количество уравнений. Так, в [6] использовалась система из 155 элементарных реакций для 39 компонентов. Однако, увеличение числа уравнений увеличивает сложность решения системы уравнений. Кроме того, многие авторы указывают, что учитывать многие промежуточные продукты реакций не обязательно [2, 5, 6 и др.].

В [4] предлагается решать систему из 14 уравнений с 14 неизвестными, из них – 11 химических компонентов. Однако, в данной системе используются избыточные элементы: энтальпии компонентов, кажущаяся молярная масса смеси. Кроме того, в [4] при горении с $\alpha \geq 1$ используется «реакция водяного газа»



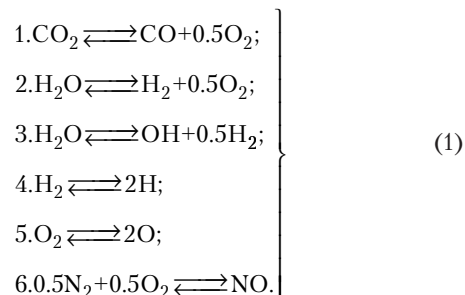
Однако, в условиях газового ДВС с искровым зажиганием проведение такой реакции при $\alpha \geq 1$ прохождения такой реакции практически невозможно.

Наиболее целесообразным является подход, предложенный в [5]. Здесь используется система из 10 уравнений с 10-ю неизвестными. Система содержит необходимый минимум уравнений для нахождения парциальных давлений CO и NOx, при этом данные

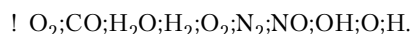
уравнения пригодны для использования в условиях газового ДВС с искровым зажиганием.

5. Описание расчётной методики

Предполагается, что в продуктах сгорания проходят следующие реакции



Также считается, что в качестве топлива используется метан и в состав продуктов сгорания входят следующие 10 газов:



Основу системы уравнений составляют уравнения химического равновесия

$$\frac{P_{\text{CO}} \cdot P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}}}{P_{\text{CO}_2}} = K_1 \quad (2),$$

$$\frac{P_{\text{H}_2} \cdot P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} = K_2 \quad (3)$$

$$\frac{P_{\text{OH}} \cdot P_{\text{H}_2}^{\frac{1}{2}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} = K_3 \quad (4)$$

$$\frac{P_{\text{H}}^2}{P_{\text{H}_2}} = K_4 \quad (5)$$

$$\frac{P_{\text{O}}^2}{P_{\text{O}_2}} = K_5 \quad (6)$$

$$\frac{P_{\text{NO}}}{P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \cdot P_{\text{N}_2}^{\frac{1}{2}}} = K_6 \quad (7)$$

где $K_1 \dots K_6$ – константы равновесия химических реакций (1); P_i – парциальное давление i-го компонента газовой смеси.

Значения констант равновесия $K_1 \dots K_6$ вычисляются из таблиц, приведенных в [5, 7].

Уравнения (2)...(7) дополняются тремя уравнениями материального баланса (8)...(10)

$$\frac{\text{O}_T + \chi_{\text{OC}} \text{O}_{\text{ВОЗ}}}{C_T + \chi_{\text{OC}} \text{O}_{\text{ВОЗ}}} = \frac{\mu_{\text{O}} (2P_{\text{CO}_2} + P_{\text{CO}} + A)}{\mu_{\text{C}} (P_{\text{CO}_2} + P_{\text{CO}})} \quad (8)$$

где $A = P_{H_2O} + 2P_{O_2} + P_{OH} + P_{NO} + P_O$; От – массовая

доля атома кислорода в топливе; Овозд – массовая доля атома кислорода в воздухе; Ст – массовая доля атома углерода в топливе; Свозд – массовая доля атома углерода в воздухе; χ_{OC} – действительное соотношение масс атомов О и С в несгоревшей смеси; μ_O – молекулярная масса атома кислорода, кг/кмоль; μ_C – молекулярная масса атома углерода, кг/кмоль;

$$\frac{H_T + \chi_{HC} \cdot H_{BOZ}}{C_T + \chi_{HC} \cdot C_{BOZ}} = \frac{\mu_H \cdot (B)}{\mu_C \cdot (P_{CO_2} + P_{CO})} \quad (9)$$

где $B = 2 \cdot P_{H_2O} + 2 \cdot P_{H_2} + P_{OH} + P_H$; Нт – массовая доля

атома водорода в топливе; Нвозд – массовая доля атома водорода в воздухе; χ_{HC} – действительное соотношение масс атомов Н и С в несгоревшей смеси; μ_H – молекулярная масса атома водорода, кг/кмоль;

$$\frac{N_T + \chi_{NC} \cdot N_{BOZ}}{C_T + \chi_{NC} \cdot C_{BOZ}} = \frac{\mu_N \cdot (2 \cdot P_{N_2} + P_{NO})}{\mu_C \cdot (P_{CO_2} + P_{CO})} \quad (10)$$

где Нт – массовая доля атома азота в топливе; Нвозд – массовая доля атома азота в воздухе; χ_{NC} – действительное соотношение масс атомов Н и С в несгоревшей смеси; μ_N – молекулярная масса атома азота, кг/кмоль.

Замыкается система уравнений десятым уравнением (11), представляющим собой закон Дальтона

$$P_{CO_2} + P_{CO} + P_{H_2O} + P_{H_2} + P_{O_2} + P_{N_2} + P_{OH} + P_{NO} + P_H + P_O = P, \quad (11)$$

где P – давление в камере сгорания на данном расчётном шаге.

Таким образом, уравнения (2)...(11) представляют собой систему из 10-ти нелинейных уравнений с 10-ю неизвестными.

В первом приближении будем считать равными нулю парциальные давления следующих газов

$$P_{O_2} = P_{NO} = P_O = P_H = P_{OH} = 0. \quad (12)$$

Тогда уравнение (8) может быть представлено в виде

$$\frac{2 \cdot P_{CO_2} + P_{CO} + P_{H_2O}}{P_{CO_2} + P_{CO}} = W_1, \quad (13)$$

где

$$W_1 = \frac{\mu_C}{\mu_O} \cdot \frac{O_T + \chi_{OC} \cdot O_{BOZ}}{C_T + \chi_{OC} \cdot C_{BOZ}} \quad (14)$$

Уравнение (9) представим в виде

$$\frac{2 \cdot P_{H_2O} + 2 \cdot P_{H_2}}{P_{CO_2} + P_{CO}} = W_2, \quad (15)$$

где

$$W_2 = \mu_C \cdot \frac{H_T + \chi_{HC} \cdot H_{BOZ}}{C_T + \chi_{HC} \cdot C_{BOZ}} \quad (16)$$

Уравнение (10) примет вид

$$\frac{2 \cdot P_{N_2}}{P_{CO_2} + P_{CO}} = W_3, \quad (17)$$

где

$$W_3 = \frac{\mu_C}{\mu_N} \cdot \frac{N_T + \chi_{NC} \cdot N_{BOZ}}{C_T + \chi_{NC} \cdot C_{BOZ}} \quad (18)$$

С учётом условия (12) закон Дальтона (11) примет вид

$$P_{CO_2} + P_{CO} + P_{H_2O} + P_{H_2} + P_{N_2} = P \quad (19)$$

Разделим уравнение (2) на уравнение (3)

$$\frac{P_{CO} \cdot P_{H_2O}}{P_{CO_2} \cdot P_{H_2}} = \frac{K_1}{K_2}. \quad (20)$$

Преобразуем уравнение (13)

$$2P_{CO_2} + P_{CO} + P_{H_2O} = W_1 P_{CO_2} + W_1 P_{CO} \quad (21)$$

Отсюда

$$P_{H_2O} = P_{CO_2} (W_1 - 2) + P_{CO} (W_1 - 1) \quad (22)$$

$$P_{H_2} = 0,5 W_2 (P_{CO_2} + P_{CO}) - P_{CO_2} (W_1 - 2) - P_{CO} (W_1 - 1) \quad (23)$$

Из уравнения (17) следует, что

$$P_{N_2} = 0,5 \cdot W_3 (P_{CO_2} + P_{CO}). \quad (24)$$

Подставим значения (22)...(24) в уравнение (19)

$$(P_{CO_2} + P_{CO}) + P_{CO_2} (W_1 - 2) + P_{CO} (W_1 - 1) + 0,5 W_2 (P_{CO_2} + P_{CO}) - \dots \quad (25)$$

$$\dots - P_{CO_2} (W_1 - 2) - P_{CO} (W_1 - 1) + 0,5 W_3 (P_{CO_2} + P_{CO}) = P$$

Приведя подобные слагаемые в последнем уравнении (25), получаем

$$P_{CO_2} + P_{CO} + 0,5 W_2 P_{CO_2} + 0,5 W_2 P_{CO} + 0,5 W_3 P_{CO_2} + 0,5 W_3 P_{CO} = P \quad (26)$$

а, упростив последнее равенство, имеем

$$(P_{CO_2} + P_{CO})(1 + 0,5 W_2 + 0,5 W_3) = P \quad (27)$$

или

$$P_{CO_2} + P_{CO} = \frac{P}{1 + 0,5 W_2 + 0,5 W_3} \quad (28)$$

Подставив правую часть уравнения (28) в равенство (24), получим следующее выражение для расчета парциального давления азота

$$P_{N_2} = \frac{0,5W_3P}{1+0,5W_2+0,5W_3} \quad (29)$$

или, вынеся 0,5 за скобки

$$P_{N_2} = \frac{W_3P}{2+W_2+W_3} \quad (30)$$

Чтобы получить выражение для расчета парциального давления CO , воспользуемся уравнением (26). Оставляя в левой части слагаемые с CO и перенося в правую часть слагаемые с CO_2 , получаем

$$P_{CO} + 0,5W_2P_{CO} + 0,5W_3P_{CO} = P - P_{CO_2} - 0,5W_2P_{CO_2} - 0,5W_3P_{CO_2} \quad (31)$$

Перепишем полученное выражение следующим образом

$$0,5P_{CO}(2+W_2+W_3) = 0,5 \cdot 2P - 0,5P_{CO_2}(2+W_2+W_3) \quad (32)$$

Разделив полученное равенство на $0,5(2+W_2+W_3)$

получаем уравнение для расчёта парциального давления CO в продуктах сгорания

$$P_{CO} = \frac{2P}{2+W_2+W_3} - P_{CO_2} \quad (33)$$

Чтобы получить уравнение для расчета парциального давления H_2O в продуктах сгорания, выполним следующие действия.

Подставив выражение (33) в (22), получаем

$$P_{H_2O} = P_{CO_2} \cdot (W_1 - 2) + \left(\frac{2 \cdot P}{2+W_2+W_3} - P_{CO_2} \right) (W_1 - 1) \quad (34)$$

Раскрыв скобки, получим

$$P_{H_2O} = P_{CO_2} W_1 - 2P_{CO_2} + \frac{2W_1P}{2+W_2+W_3} - W_1P_{CO_2} - \frac{2P}{2+W_2+W_3} + P_{CO_2} \quad (35)$$

Приведа подобные слагаемые, окончательно получаем

$$P_{H_2O} = \frac{2P(W_1 - 1)}{2+W_2+W_3} - P_{CO_2} \quad (36)$$

Чтобы получить уравнение для вычисления парциального давления H_2 , выполним подобным образом подстановку выражения (33) в уравнение (23)

$$P_{H_2} = 0,5W_2(P_{CO_2} + C) - P_{CO_2}(W_1 - 2) - C(W_1 - 1) \quad (37)$$

$$\text{где } C = \left(\frac{2P}{2+W_2+W_3} - P_{CO_2} \right)$$

Раскрывая скобки, получим

$$P_{H_2} = 0,5W_2 \frac{2P}{2+W_2+W_3} - W_1P_{CO_2} + 2P_{CO_2} - \frac{W_12P}{2+W_2+W_3} + W_1P_{CO_2} + C \quad (38)$$

Приведа подобные слагаемые, получим

$$P_{H_2} = \frac{W_2P - 2W_1P + 2P}{2+W_2+W_3} + P_{CO_2} \quad (39)$$

или, после перестановок в правой части и группировки

$$P_{H_2} = P_{CO_2} + \frac{P(2 - 2W_1 + W_2)}{2+W_2+W_3} \quad (40)$$

Чтобы составить квадратное уравнение относительно парциального давления CO_2 , воспользуемся равенством (20). Перенеся все компоненты уравнения (20) влево, получим

$$\frac{P_{CO} \cdot P_{H_2O}}{P_{CO_2} \cdot P_{H_2}} - \frac{K_1}{K_2} = 0 \quad (41)$$

Приведем последнее уравнение к общему знаменателю

$$K_2P_{CO}P_{H_2O} - K_1P_{CO_2}P_{H_2} = 0 \quad (42)$$

Преобразуем полученное равенство. Введем промежуточные параметры. В уравнении (33) обозначим

$$\frac{2P}{2+W_2+W_3} = M_1 \quad (43)$$

В уравнении (36) обозначим

$$\frac{2P(W_1 - 1)}{2+W_2+W_3} = M_2 \quad (44)$$

В уравнении (40) обозначим

$$\frac{P(2 - 2W_1 + W_2)}{2+W_2+W_3} = M_3 \quad (45)$$

Перепишем уравнение (42) так, чтобы все парциальные давления в нем были выражены через парциальное давление CO_2

$$K_2(M_1 - P_{CO_2})(M_2 - P_{CO_2}) - K_1P_{CO_2}(P_{CO_2} + M_3) = 0 \quad (46)$$

Раскрыв скобки, получим

$$K_2M_1M_2 - K_2M_1P_{CO_2} - K_2M_2P_{CO_2} + K_2P_{CO_2}^2 - K_1P_{CO_2}^2 - K_1P_{CO_2}M_3 = 0 \quad (47)$$

Приведа подобные слагаемые и выполнив их группировку, получаем квадратное уравнение относительно P_{CO_2}

$$P_{CO_2}^2(K_2 - K_1) + K_2M_1M_2 - P_{CO_2}(K_2M_1 + K_2M_2 + K_1M_3) = 0 \quad (48)$$

Дискриминант данного уравнения находим по формуле

$$D = -(K_2M_1 + K_2M_2 + K_1M_3) - 4(K_2 - K_1)K_2M_1M_2 \quad (49)$$

Корень уравнения (48), имеющий физический смысл, определяется при помощи зависимости

$$P_{CO_2} = \frac{K_2M_1 + K_2M_2 + K_1M_3 - \sqrt{D}}{2(K_2 - K_1)} \quad (50)$$

Найдя по формуле (30) парциальное давление N_2 и решив уравнение (48) относительно CO_2 , находим парциальные давления CO , H_2O и H_2 по формулам (33), (36) и (40) соответственно.

Далее переходим ко второму приближению и вычисляем значения парциальных давлений оставшихся пяти компонентов продуктов сгорания.

Парциальное давление O_2

$$P_{O_2} = \left(\frac{K_1 \cdot P_{CO_2}}{P_{CO}} \right)^2 \quad (51)$$

Парциальное давление гидроксильной группы OH

$$P_{OH} = \frac{K_3 \cdot P_{H_2O}}{\sqrt{P_{H_2}}} \quad (52)$$

Парциальное давление атомарного водорода

$$P_H = \sqrt{K_4 \cdot P_{H_2}} \quad (53)$$

Парциальное давление атомарного кислорода

$$P_O = \sqrt{K_5 \cdot P_{O_2}} \quad (54)$$

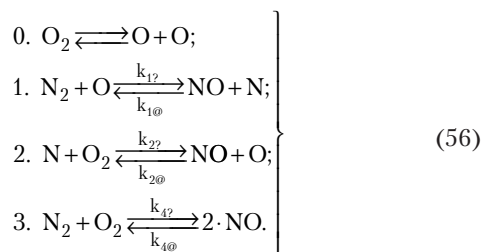
Парциальное давление NO

$$P_{NO} = K_6 \sqrt{P_{N_2} \cdot P_{O_2}} \quad (55)$$

6. Методика расчёта выбросов оксидов азота

Так как в ДВС с искровым зажиганием монооксид азота NO составляет более 97 % выбросов оксидов азота, то при определении концентраций NO_x принимается допущение, что в цилиндре газового двигателя с искровым зажиганием из всех оксидов азота образуется только этот компонент [1].

Сравнение экспериментальных и расчётных данных по образованию оксидов азота показывает, что равновесная модель образования NO не является достаточно точной. Этот факт соответствует основной теории процессов образования оксидов азота, разработанной Я.Б. Зельдовичем, согласно которой скорость горения существенно превышает скорость окисления атмосферного азота [1]. Таким образом, для более точных расчётов необходимо использовать кинетическую модель образования NO . Последняя базируется на четырёх основных обратимых реакциях [1]



В системе химических реакций (56) $k_{1n}, k_{1p}, k_{2n}, k_{2p}, k_{4n}, k_{4p}$ – константы скоростей реакций (1), (2) и (3) соответственно.

Расчётное кинетическое уравнение для образования NO для системы реакций (56) имеет следующий вид [1]

$$\frac{dr_{NO}}{d\phi} = \frac{P \cdot r_{N_2}}{254.4nT_{п.с.}} \left(1 - \frac{r_{NO}^2}{K_4(NO)r_{O_2}r_{N_2}} \right) \left(\frac{k_{1n} \cdot r_O}{1 + \frac{k_{1p} \cdot r_{NO}}{k_{2n} \cdot r_{O_2}}} + \frac{k_{4n} \cdot r_{O_2}}{2} \right) \quad (57)$$

где p – текущее значение давления в цилиндре, МПа; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹; $T_{п.с.}$ – текущее значение температуры в зоне продуктов сгорания, К; $K_4(NO)$ – константа равновесия для реакции 3 (56); $k_{1n}, k_{1p}, k_{2n}, k_{4n}$ – константы скоростей прямых (n) и обратных (p) реакций 1-3 системы (56); r – объёмная доля компонента в смеси.

Для расчетов были приняты следующие зависимости констант скоростей реакций системы (56) в зависимости от температуры смеси [1]

$$K_{1n} = 1,36 \cdot 10^{14} \exp(-315700 / (RT_{п.с.})) \quad (58)$$

$$K_{1p} = 3,12 \cdot 10^{13} \exp(-1670 / (RT_{п.с.})) \quad (59)$$

$$K_{2n} = 1,33 \cdot 10^{10} T_{п.с.} \exp(-29600 / (RT_{п.с.})) \quad (60)$$

$$K_{4(NO)} = 21,12 \exp(-181000 / (RT_{п.с.})) \quad (61)$$

$$K_{4p} = 9,1 \cdot 10^{24} T^{-5/2} \exp(-538000 / (RT_{п.с.})) \quad (62)$$

В [1] указывается, что происходит «замораживание» оксидов азота NO в зоне максимальных температур, то есть при снижении температуры продуктов сгорания концентрация NO не уменьшается. Соответственно, концентрация NO в отработавших газах принимается равной концентрации NO в продуктах сгорания при максимальной температуре сгоревшей зоны в цилиндре двигателя.

Соответственно, расчёт концентрации NO в продуктах сгорания проводится в следующем порядке [1]. Сначала выполняется расчёт равновесного состава продуктов сгорания. Затем выполняется расчёт NO по кинетическому уравнению Зельдовича. Полученное значение NO «замораживается», и выполняется повторный расчёт равновесного состава с «замороженными» значениями NO , которые принимаются константами. Алгоритм расчёта равновесного состава продуктов сгорания при помощи методики Зельдовича-Поляра-

ного с использованием кинетического уравнения для расчёта концентрации NO приведен на рис. 1.

7. Сравнение результатов расчётов с экспериментальными данными

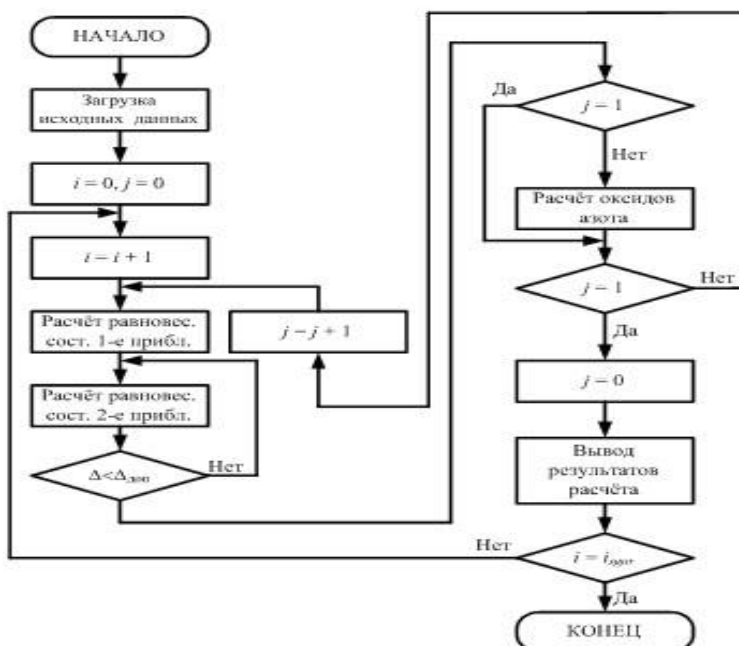


Рис. 1. Алгоритм расчёта равновесного состава продуктов сгорания газового двигателя при помощи методики Зельдовича-Полярного

На рис. 2 на примере нагрузочной характеристики двигателя 4ГЧ7,5/7,35 приведено сравнение результатов решения системы уравнений для расчёта равновесного состава продуктов сгорания по приведенной методике Зельдовича-Полярного и численной методике Ньютона [2] в сравнении с результатами эксперимента. При расчётах использовалась методика расчёта процесса сгорания с переменным показателем сгорания [8].

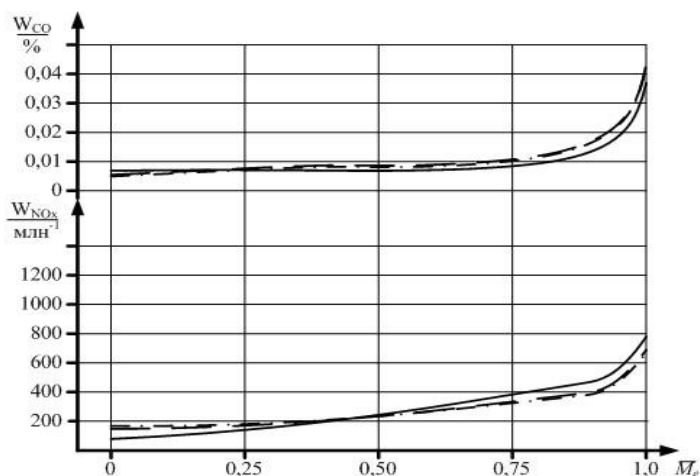


Рис. 2. Результаты расчётов токсичности двигателя 4ГЧ7,5/7,35 ($n = 3650 \text{ мин}^{-1}$): 1 — методика Зельдовича-Полярного; 2 — методика Куценко; 3 — эксперимент

Как видно из рис. 2, разница в результатах расчёта по численному методу Ньютона и по методике Зельдовича-Полярного практически отсутствует. Погрешность расчётов в сравнении с экспериментом в обоих случаях составляет до 10 %. При этом методика Зельдовича-Полярного намного проще в реализации и не требует от специалиста, выполняющего расчёты, высокой квалификации программиста и допускает использование простых математических программных комплексов.

Выводы

1. Для определения равновесного состава продуктов сгорания в газовом двигателе с искровым зажиганием предлагается использовать систему из 10 уравнений с 10 неизвестными, основанную на 6 химических реакциях, 3 уравнениях материального баланса и уравнении закона Дальтона.

2. Для решения этой системы уравнения рекомендуется использовать методику Зельдовича-Полярного. Непосредственно алгоритм решения предлагается использовать приведенный в [5].

3. Сравнение результатов расчётов с результатами экспериментов показало, что разница в результатах расчёта по численному методу Ньютона и по методике Зельдовича-Полярного практически отсутствует. Погрешность расчётов в сравнении с экспериментом в обоих случаях составляет до 10 %. При этом методика Зельдовича-Полярного намного проще в реализации.

Литература

1. Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. Учеб. пособие для ВУЗов [Текст] / В.А. Звонов // 2-е изд., перераб. и дополн.: – М.: «Машиностроение», 1981. – 154 с.
2. Куценко, А.С. Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания на ЭВМ [Текст] / А.С. Куценко. - К.: Наукова думка, 1988. – 104 с.
3. Зельдович, Я.Б. Расчёты тепловых процессов при высокой температуре [Текст] / Я.Б. Зельдович, А.И. Полярный. М.: НИИ №1, 1947. – 67 с.
4. Синярёв, Г.Б. Жидкостные ракетные двигатели [Текст] / Г.Б. Синярёв, М.В. Добровольский. М.: Государственное изд-во оборонной промышленности, 1955. – 488 с.
5. Квасников, В.А. Теория жидкостных ракетных двигателей / В.А. Квасников. Л.: Государственное союзное изд-во судостроительной промышленности, 1959. – 542 с.
6. Bade Shrestha S.O. A Predictive Model for Gas Fueled Spark Ignition Engine Applications / Bade

Shrestha S.O., Karim G.A. – Calgary, CA: University of Calgary, 1999. – 18 p. – (Preprint / University of Calgary: SAE 1999-01-3482).

7. Гурвич, Л.В. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание: в 4-х т. [Текст] / Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев и др. – 3-е изд., перераб. и расшир. М.: Наука, 1978.
8. Т. 1: Элементы О, Н (D, T), F, Cl и их соединения. – 1978. – 496 с.
9. Абрамчук, Ф.І. Двзонна модель процесу згоряння малолітражного газового двигуна з іскровим запалюванням [Текст] / Ф.І. Абрамчук, О.М. Кабанов, А.П. Кузьменко, М.С. Липинський, В.М. Муратов // Вісник національного транспортного університету. – 2011. – № 23. – С. 56-65.

Розглянуті питання отримання та проведено фізико-хімічні дослідження пористих керамічних гранул, які можуть бути використані в якості адсорбційних тіл для аплікацій на шкірного призначення

Ключові слова: керамічні гранули, вульнеросорбенти

Рассмотрены вопросы получения и проведены физико-химические исследования пористых керамических гранул, которые могут быть использованы в качестве адсорбционных тел для аппликаций кожного назначения

Ключові слова: керамические гранулы, вульнеросорбенты

Reviewed points of fabrication and undertaken number physico-chemical investigations of porous ceramic granules which can be used as adsorbative bodies for skin applications

Key words: ceramic granules, vulnerosorbition

УДК 661.183.1

ОТРИМАННЯ ПОРИСТИХ КЕРАМІЧНИХ ГРАНУЛ В ЯКОСТІ КОМПОНЕНТА РАНОЗАГОЮВАЛЬНИХ ПОВ'ЯЗОК

І. В. Солоха

Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: 067-672-8470

М. Г. Пона

Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: 067-672-8511

А.І. Чверенчук

Аспірант*

Контактний тел.: 097-860-1648

E-mail : andriichverenchuk@ukr.net

*Кафедра хімічної технології силікатів

Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

О.М. Сірий

Кандидат медичних наук, доцент**

Центр стоматології імплантації та протезування

Р.С. Кіс

Провізор центру стоматології імплантації та протезування

Контактний тел.: 067-370-6494

**ТзОВ «ММ», м. Львів, вул. Пасічна 36а

Вступ

Сорбенти природного і штучного походження відіграють важливу роль в багатьох сферах людської діяльності. Одним із перспективних напрямків для їх застосування є медицина. Для лікувальних цілей адсорбенти ділять на три основні класи: ентеросорбенти, гемосорбенти та вульнеросорбенти [1]. Перші два типи добре вивчені і знайшли широке застосування для

лікування хвороб, пов'язаних з органами травлення та крові. Щодо вульнеросорбентів, або аплікаційних сорбентів, їхнє використання поширюється на лікування покривних тканин тіла людини. В даний час до пошкодження шкірних покривів людини можуть призвести багато факторів (електромагнітне випромінювання, термічне та хімічне ураження). В зв'язку з втратою працездатності актуальним є розгляд питань пришвидшення загоювання ран та полегшення