

УДК 621.433:662.767.2

И.П. Васильев, канд. техн. наук

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДВС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА МЕТАНА

### Постановка проблемы

Одной из проблем человечества является изменение климата, которое, предположительно, вызвано увеличением выбросов парниковых газов. Это чревато увеличением засушливых периодов, затоплением прибрежных территорий, что ведет к снижению урожаев. Есть предположение, что роль парниковых выбросов, которые образуются в результате деятельности человечества, является определяющей. Некоторые исследователи считают, что на фоне выбросов от вулканов и других природных источников составляющая вредных выбросов человечества незначительная, а потепления и похолодания вызваны определенными циклами, которые не зависят от деятельности человека. Но существует гипотеза, согласно которой в период нестабильности выбросы от деятельности человека являются резонансным фактором и могут провоцировать изменения климата [1].

Но очевидно то, что чем меньше будет вредное воздействие от деятельности человека, тем лучше это будет для планеты.

В настоящее время интенсивно ведется использование метана, который является невозобновляемым энергоносителем, находящимся в подземных слоях земного шара. Он широко используется в промышленности и как топливо для автомобильного транспорта [2]. Это объясняется его доступностью и относительно низкой стоимостью. Но использование новых топлив должно сопровождаться анализом их вредного воздействия на окружающую среду. Выявлено, что за последние 250 лет выбросы в атмосферу  $\text{CO}_2$  увеличились на 35%, а метана на 20% [3].

Метан является парниковым газом и его утечки во время заправки транспортных средств и несгоревший метан, поступающий в атмосферу из цилиндра двигателя, приводят к усилению парникового эффекта на планете [4].

В свете этого возникает необходимость в разработке методики определения вредного воздействия отработавших газов двигателя при работе на метане и оценке мероприятий по снижению содержания метана, как в цилиндре двигателя, так и в системе нейтрализации отработавших газов.

### Использование метана различного происхождения

В настоящее время используются два вида метана – подземного происхождения и органического, например, из биогаза. В первом случае происходит добыча углеродосодержащего вещества и его сжигание, что приводит к увеличению содержания парниковых газов. Во втором случае наблюдается сохранение баланса по углероду. Рис.1 демонстрирует этот процесс. После выращивания сельскохозяйственных культур по определенному севообороту [5] они идут на корм скоту, а затем остатки жизнедеятельности и биомасса закладывается в биореакторы, в которых получают биогаз, горючим компонентом, которого является в основном метан.

Он используется как топливо, а  $\text{CO}_2$ , образовавшийся в процессе сгорания, поглощается растениями на полях. Это обеспечивает кругооборот углерода в природе. Только несгоревший метан может оказывать парниковое воздействие, что требует применения мероприятий по его уменьшению.

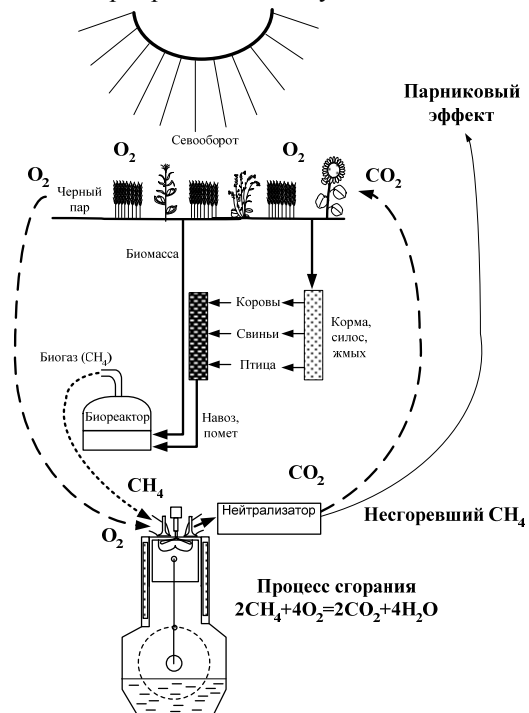
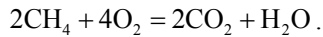


Рис.1. Схема баланса углерода при использовании биогаза

Одним из таких способов является сгорание метана, которое происходит по реакции:



Согласно приведенному уравнению, при сжигании из 32 т  $\text{CH}_4$  образуется 88 т  $\text{CO}_2$ . Исходя из того, что вредное воздействие  $\text{CO}_2$  в 23 раза меньше, чем  $\text{CH}_4$ , то вредное воздействие  $\text{CH}_4$  после сжигания снижается в 8,4 раз.

При этом следует отметить, что метан относится к одному из трудно окисляемых углеводородов [6]. Для его окисления необходимо использование специальных катализаторов.

Другим парниковым газом, который может образовываться в камере сгорания дизеля является закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ). В работе [7] отмечается, что одним из способов образования оксидов азот является механизм « $\text{N}_2\text{O}$ », согласно которому в бедных смесях при низких температурах на этот механизм приходится до 40% образования оксидов азота. Следует предположить, что в отработавших газах будет находиться и непрореагировавшая  $\text{N}_2\text{O}$ .

Уже существуют методики раздельного определения  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}$  [8, 9]. Вследствие этого возникает необходимость учета воздействия указанных парниковых газов.

#### Методика расчета ущерба

При решении вопроса об анализе использования альтернативных топлив необходима комплексная оценка, отнесенная к единице мощности за единицу времени [10].

Она должна учитывать стоимость топлива, экологического ущерба от вредных выбросов и выбросов парниковых газов. Уже существуют методики оценки вредного воздействия отработавших газов, но они не учитывают особенности эксплуатации двигателя при работе на метане [11].

В отработавших газах двигателя при работе на метане наряду с традиционными вредными веществами (оксидами азота,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$  и дизельными частицами) присутствуют и парниковые газы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ ). При этом следует отметить, что если  $\text{CO}_2$  оказывает только парниковое воздействие, то  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  оказывают ущерб и как парниковые газы и как вредные вещества. Для метана существует предельно-допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны, которая составляет  $7000 \text{ мг/м}^3$ . Также существуют нормы на выбросы метана при работе двигателя на метане, которые согласно требованию «Евро-5» не должны превышать  $1,1 \text{ г/(кВт ч)}$ .

Разделение этих воздействий является предметом дальнейших исследований. На данный момент времени предлагается учитывать эти воздействия по формуле:

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_{\text{ВВ}}^{\Sigma} + C_{\text{парн}}^{\Sigma},$$

где  $C_1$  – стоимость топлива, которая определяется как произведение массового расхода топлива на стоимость 1 кг топлива ( $\text{грн/(кВт ч)}$ );  $C_{\text{ВВ}}^{\Sigma}$  – суммарный ущерб от выделения вредных веществ с отработавшими газами ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , дизельных частиц), которые определяются с учетом массового выброса и показателей агрессивности ( $\text{грн/(кВт ч)}$ );  $C_{\text{парн}}^{\Sigma}$  – суммарный парниковый ущерб от отработавших газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ ) ( $\text{грн/(кВт ч)}$ ).

Расчет показателя  $C_{\text{ВВ}}^{\Sigma}$  производится по формуле, приведенной в работе [4]:

$$C_{\text{ВВ}}^{\Sigma} = \delta \sum_{i=1}^{i=n} (A_i \cdot K_i \cdot C_i) \cdot V_{\text{ог}} \cdot 10^{-6} / N_e,$$

где  $\delta$  – размерный коэффициент, служащий для перевода бальной оценки ущерба в стоимостную и принимается равной стоимости топлива;

$A_i$  – коэффициент агрессивности  $i$ -того компонента;  $K_i$  – коэффициент пересчета объемной концентрации в массовую  $i$ -того компонента;  $C_i$  – объемная концентрация  $i$ -того компонента, %;  $V_{\text{ог}}$  – расход отработавших газов, приведенный к нормальным условиям, л/ч;  $N_e$  – мощность двигателя, кВт;

Для расчета  $C_{\text{парн}}^{\Sigma}$  необходимо определить цену единицы  $\text{CO}_2$ . По разным источникам она в разные годы колебалась от 1 до 100 долларов за 1 тонну [2, 12]. Сейчас она составляет около 7 евро/т [2].

В табл. приведены индексы относительной агрессивности этих веществ и цена.

Таблица. Показатели относительной агрессивности и цена  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  как парниковых газов

Парниковые газы	Показатель агрессивности	Цена, евро/т	Цена, грн/кг
$\text{CO}_2$	1	7	0,07
$\text{CH}_4$	23	161	1,61
$\text{N}_2\text{O}$	296	2072	20,72

Расчет показателя  $C_{\text{парн}}^{\Sigma}$ , учитывающего ущерб от парниковых газов, в частности  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , производится по формуле:

$$C_{\text{парн}}^{\Sigma} = C_{\text{парн}}^{\text{CO}_2} + C_{\text{парн}}^{\text{N}_2\text{O}} + C_{\text{парн}}^{\text{CH}_4},$$

где  $C_{\text{парн}}^{\text{CO}_2}$  – ущерб от парникового газа  $\text{CO}_2$  (грн/(кВт ч));  $C_{\text{парн}}^{\text{N}_2\text{O}}$  – ущерб от  $\text{N}_2\text{O}$ , как парникового газа (грн/(кВт ч));  $C_{\text{парн}}^{\text{CH}_4}$  – ущерб от  $\text{CH}_4$ , как парникового газа (грн/(кВт ч)).

В общем виде расчет производится по формуле:

$$C_{\text{парн}}^i = C_i \cdot K_i \cdot V_{\text{ог}} \cdot C_i / N_e,$$

где  $C_i$  – объемная концентрация  $i$ -го компонента в отработавшем газе, % об.;  $K_i$  – коэффициент пересчета объемной концентрации в массовую;  $V_{\text{ог}}$  – расход отработавших газов, приведенный к нормальным условиям, л/ч;  $N_e$  – мощность двигателя, кВт;  $C_i$  – цена  $i$ -того компонента (грн/кг).

Данная методика позволяет оценивать ущерб с учетом всех составляющих отработавших газов в том числе и парниковых.

#### Пути уменьшения выбросов метана с отработавшими газами

Учитывая, что вредное воздействие от метана в 23 раза выше, чем от  $\text{CO}_2$ , необходимо предусмотреть мероприятия по его снижению. Одним из таких путей является качественное сжигание в цилиндре и дожигание в системах нейтрализации метана. Для этого возможно использовать внутрицилиндровый катализ [13].

Более простой способ – это применение специальной ступени катализатора в нейтрализаторе. В качестве катализаторов окисления метана возможно использовать платину, палладий. Но из-за дефицита благородных металлов следует отдавать предпочтение катализаторам из неблагородных металлов.

#### Заключение

При эксплуатации двигателя с использованием метана необходимо учитывать не только ущерб от традиционных вредных составляющих отработавших газов, но и вредное воздействие парниковых газов, а именно,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ . Метан из биогаза не оказывает парникового воздействия, поскольку углерод метана после окисления в  $\text{CO}_2$  поглощается растениями на полях. Исключение составляет несгоревший метан, который не окислился в нейтрализаторе. Одним из способов снижения концентрации этого газа является внутрицилиндровый катализ или более доступный способ – использование специальных ступеней окисления метана в нейтрализаторах.

#### Список литературы:

- 1 Терез Э. И. Глобальное потепление – миф или реальность? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.news2000.org.ua/c/31904>.
- 2 Гайворонский А. И. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / А. И. Гайворонский, В. А. Марков., Ю. В. Илатовский. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 480 с.
- 3 Нефть России: Настоящее и будущее. IV Международный нефтяной форум, 16-17 ноября 2006 [Электронный ресурс] / Нефтяное обозрение = oilru.com. М., OILRU. RU, 2006.- Режим доступа: WWW.URL:«Нефть России» <http://www.oilru.com/> - 17.11.2006.
- 4 Екологія автомобільних двигунів внутрішнього згорання: навчальний посібник / В. О. Звонов, Л. С. Заїраєв, В. І. Черних, А. В. Козлов; під ред. В. О. Звонова. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. – 268 с.
- 5 Васильев И. П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля: монография / И. П. Васильев. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2009. – 240 с.
- 6 Терещенко А. Д. Каталитическое сжигание как способ предотвращения образования оксидов азота / А. Д. Терещенко, Т. А. Леванюк, И. Н. Карп, В. И. Избаи, В. Г. Соляник, В. Н. Коломеев, Б. И. Педько, А. А. Шамрай // Тезисы докладов III украинской научно-технической конференции по катализу «Укркатализ III». – Славяногорск, 7–10 октября 2002 г. – Северодонецк. – 2002. – С. 142 – 144.
- 7 Звонов В. А. Исследование механизмов образования оксидов азота в условиях камеры сгорания / В. А. Звонов, М. П. Гиринович // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 1. – С. 29 – 33.
- 8 Ткаченко Г.В. Хроматографическое раздельное определение закиси азота, азота и окиси азота и их смеси / Г.В. Ткаченко, С.И. Кричмор, В.Е. Степаненко // Азотная промышленность: Техн.-эконом. информация. – М.: ГИАП, 1972. – №1. – С. 32 – 35.
- 9 Близнюк О. Н. Эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  в атмосферу и уменьшение выбросов оксида азота (I) в азотнокислых установках / О. Н. Близнюк, А. С. Савенков, Л. Н. Ратушная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 5. – С. 65 – 68.
- 10 Парсаданов І. В. Наукові основи комплексного поліпшення показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин: автореф. д-ра техн. наук: 05.05.03 / І. В. Парсаданов – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2003. – 37 с.
- 11 Крайнюк А. И. Комплексная оценка эффективности использования топлив растительного происхождения в дизелях / А. И. Крайнюк, И. П. Васильев // Двигатели внутреннего сгорания, 2007. – № 2. – С. 77–81.
- 12 Паніхава Е. С. Перспективи використання біомаси в енергетиці Росії і експорті палива / Е. С. Паніхава, В. А. Пожарнов // Мала енергетика. – 2005. – № 1 – 2. – С. 74 – 72.
- 13 Васильев И. П. Внутрицилиндровый катализ в дизелях / И. П. Васильев, О. В. Ключ. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2008. – 133 с.
- 14 Патент 35497 А Україна, МКІ F 02 В 75/10, F 23 С 1/08. Спосіб зниження концентрації метану у шаттних виробітках / Васильєв І. П., Зотов О. В., Злобін В. М., Васильєв В. І.; заявник і патентовласник Східноукраїнський державний університет (UA). – № 99105744; заяв. 19.10.99; опубл. 15.03.01, Бюл. 2.