

УДК 621.43

ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Ерохов Виктор Иванович, д-р техн. наук, проф.,
Московский Политех, Россия, 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38,
pdo@mospolytech.ru

Ерохов Никита Сергеевич, студент,
МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1,
nikita1312er@gmail.com

Аннотация. Приведены показатели и критерии парникового эффекта устойчивого общественного развития. Изложен механизм и природа образования парниковых газов транспортных энергетических установок. Целью работы является анализ основных принципов расчета парникового эффекта устойчивого развития человечества.

В задачу проведенного исследования входит формулирование основных понятий и сущности парникового эффекта устойчивого развития, обоснование состава и характеристик компонентов парниковых газов, выброс вредных веществ (ВВ) энергетических установок парниковых газов, анализ механизма, природы и моделей образования парниковых газов энергетических установок НТС, выполнить расчет выброса парниковых газов и оценить его негативное воздействие на ОС, проведение расчетно-аналитических моделей образования парниковых газов, проведение расчетно-экономических и экологических моделей парниковых газов, обобщение отечественного опыта разработки показателей парникового эффекта УР.

Ключевые слова: устойчивое развитие, парниковый эффект, экологическая эффективность энергетических установок, модели образования парниковых газов.

GREENHOUSE EFFECT OF SUSTAINABLE HUMAN DEVELOPMENT

Erokhov Viktor I., Dr. Sc., professor,
Moscow Polytechnic Institute, 38, Bolshaya Semyonovskaya str., Moscow, 107023, Russia,
pdo@mospolytech.ru

Erokhov Nikita S., student,
Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia,
nikita1312er@gmail.com

Abstract. The indicators and criteria of the greenhouse effect of sustainable social development are given. The mechanism and nature of the formation of greenhouse gases of transport power plants are described.

The purpose of the work is to analyze the basic principles of calculating the greenhouse effect of sustainable human development.

The task of the conducted research is to formulate the basic concepts and essence of the greenhouse effect of sustainable development, substantiate the composition and characteristics of greenhouse gas components, the emission of explosives from greenhouse gas power plants, analyze the mechanism, nature and models of greenhouse gas generation of NTS power plants, calculate greenhouse gas emissions and assess its negative impact on the OS, conduct computational and analytical models of greenhouse gas formation, carrying out computational, economic and environmental models of greenhouse gases, generalization of domestic experience in the development of indicators of the greenhouse effect of UR.

Key words: sustainable development, greenhouse effect, ecological efficiency of power plants, greenhouse gas generation models.

Введение

Сохранение и устойчивое развитие (УР) имеет важное значение для обеспечения существования человечества. УР представляет собой процесс развития человечества, удовлетворяющее потребности современного общественного развития без ущемления возможностей будущих поколений. Формирование методологии парникового эффекта УР приобретает ключевую роль повышения энергетической эффективности национальной экономики [1, 2, 3].

Парниковый эффект энергетических установок в жизненном цикле можно представить зависимостью:

$$K_{пэ} = \frac{C_{мт}}{C_{бт}}. \quad (1)$$

где $K_{пэ}$ – показатель экологической эффективности энергетической установки; $C_{мт}$ – содержание углерода в технологическом моторном топливе, %; $C_{бт}$ – концентрация углерода в базовом моторном топливе, %.

Нагрев атмосферы, земной поверхности и мирового океана в значительной степени обусловлены парниковым эффектом. Парниковый

эффект, поддерживающий среднегодовую температуру Земли на уровне 15 °С, обеспечивает нормальный планетарный климат. За последние 100 лет среднегодовая температура увеличилась на 0,3...0,6 °С. Дальнейшее увеличение глобального потепления не должно превышать 1,5...2 °С.

Диоксид углерода (CO_2) поддерживает в биосфере процесс фотосинтеза, образующий растительный мир суши и поверхности мирового океана. В мире CO_2 расходуют на производство удобрений, повышение давлений нефтяных пластов и получении синтетического топлива.

Комитет ЕЭС ООН предложил ввести нормирование содержания CO_2 в ОГ наземных транспортных средств (НТС). Норма выброса CO_2 с 2012 г установлена 135 г/км, в ближайшее время составит 90 г/км, а в перспективе – 60 г/км. Необходима обоснованная углеродная политика, обеспечивающая устойчивое развитие человечества и национальной экономики.

Суммарный выброс CO_2 на планетарном уровне составляет 295,1 млрд. т. Потребление CO_2 на производство кислорода на планетарном уровне достигает 110 млрд. т CO_2 . Остальная часть CO_2 поглощается растениями и морским фитопланктоном, а также накапливается в верхних слоях атмосферы.

На планетарном уровне природные процессы обеспечивают 88,0...92,4 % парниковых газов. Природный объем выброса CO_2 в атмосферу составляет 272,2 млрд т. Доля антропогенной деятельности в общем выбросе CO_2 составляет 6,5 % (19,2 млрд. т). Удельный выброс CO_2 автомобильным транспортом (АТ) на планетарном уровне составляет 1,3% суммарного выброса парникового газа.

Выброс CO_2 происходит в соответствии с известной химической реакцией окисления углеводородного топлива. Согласно теории химической кинетики из 1 моля С (12 г) и 1 моля O_2 (32 г) образуется 1

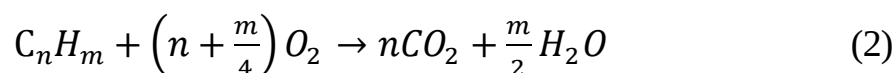
моль CO_2 . Полная трансформация (сжигание) 1 кг С приводит к образованию 3,67 кг ($2,3 \text{ м}^3$) CO_2 .

Ежегодно в мире сжигается 7,5 млрд т органического вещества, в том числе 2 млрд т нефтепродуктов и ПГ, сопровождающееся поступлением в атмосферу 23,28 млрд т CO_2 . Для сравнения отметим, выброс CO_2 одним человеком в год составляет 0,525 т. Концентрация CO_2 в выдыхаемом воздухе составляет 4 %. Ежегодное количество CO_2 , выдыхаемое населением планеты, составляет 3,75 млрд т. Для предотвращения будущих глобальных катастроф предложена идея нулевого прироста парниковых газов, связанная с отсутствием роста экономики и населения планеты.

Основная часть.

На планетарном уровне АТ является основным загрязнителем исключительно городской среды (атмосферы). Удельный вес в структуре вредных выбросов достигает 75 %.

Модель образования CO_2 базируется на основных положениях механизма и природы окисления углеводородного топлива. Образование CO_2 в энергетических установках ДВС происходит путем трансформации углеводородного топлива в газовую среду по механизму:



Снижение выброса парниковых газов осуществляют путем совершенствования рабочего процесса традиционных двигателей, так и созданием новых энергетических технологий. Важное место занимают транспортные средства с высоким потреблением природным ресурсов и прежде всего углеводородного топлива и кислорода [4, 5, 6].

Расход запальной дозы ДТ и газового топлива газодизеля определяют по зависимости:

$$G_{\Sigma}^{\Sigma} = \Delta G_{\Sigma} + G_{\Gamma} \left(\frac{H_{\Gamma}}{H_{\text{ДТ}}} \right) \text{кг/ч} \quad (3)$$

где $\Delta G_{зд}$ – расход запальной дозы дизельного топлива, кг/ч;
 G_r – расход газа, кг/ч; $H_{и}^r$ и $H_{и}^{дт}$ – низшие теплотворные способности газа и дизельного топлива, МДж/кг.

Газодизельный процесс наиболее эффективно реализован в системах Commonrail, а также на автомобилях с электрической системой управления подачи газа и на дизелях с элементами электроники.

Влияние индивидуальных компонентов ОГ на окружающую среду можно оценить по индексу их вредности, представляющим отношение фактическая ($C_{ф}$) к предельно допустимая концентрации ($C_{пдк}$) вредного вещества в рассматриваемой газовой среде.

$$k_p = C_{ф}/C_{пдк} \quad (4)$$

Относительную вредность отдельных компонентов ВВ в общей токсичности ОГ осуществляют по суммарному индексу концентрации [7]:

$$K_{pi} = \frac{K_p}{\sum_i^n T_{cc}^{co}} \cdot 100 \% \quad (5)$$

где K_{pi} – индекс концентрации соответствующего компонента.

Суммарное количество отдельных компонентов характеризуют общую токсичность ОГ современной энергетической установки

$$\sum T_{cc}^{co} = \sum_i^n g_{co}^i m_{o.г} T_{cc}^{co} \quad (6)$$

$$\sum_i^n T_{cc}^{co} = g_{co} m_{o.г} T_{cc}^{co} + g_{CH} m_{o.г} T_{cc}^{CH} + g_{NO_2} m_{o.г} T_{cc}^{NO_2} + g_c m_{o.г} T_{cc}^c + g_{Pb} m_{o.г} T_{cc}^{Pb} + g_{SO} m_{o.г} T_{cc}^{SO} + g_{акр} m_{o.г} T_{cc}^{акр} + g_{Бп} m_{o.г} T_{cc}^{Бп} \quad (7)$$

где $g_{co} \dots g_{Бп}$ – удельный вес единичного компонента ОГ; $m_{o.г}$ – общая масса ОГ; T_{cc}^{co} – относительная вредность ОГ.

Удельный вес отдельных компонентов в суммарной токсичности современных дизелей приведен на рисунке.

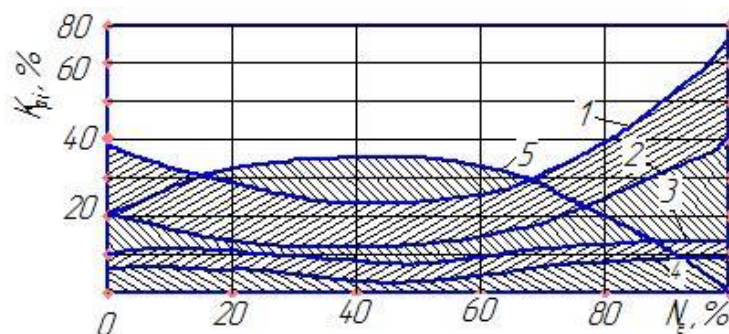


Рис. Удельный вес отдельных компонентов в суммарной токсичности современных дизелей: 1 – окислы азота; 2 – окись углерода; 3 – альдегиды; 4 – сернистый ангидрид; 5 – неучтенные компоненты.

Из рисунка следует, что удельный вес оксида углерода на режимах холостого хода составляет 20 %, средних нагрузок – 10 % и 22 % полной мощности. Содержание оксидов азота на режимах холостого хода составляет 35% и 75 % на режимах полной нагрузки.

Доля оксидов азота в суммарном индексе концентрации на режимах ХХ составляет 35...40 % и 70...75 % на режимах нагрузок свыше 20 %. Доля СО в суммарном индексе концентрации ВВ составляет около 10% на режимах средних нагрузок, возрастая до 22 % на режимах полной мощности и до 20 % на ХХ. Стоимость снижения 1 т CO_2 в промышленности достигает 150 долл.

Коэффициент экологической эффективности представляет собой отношение приведенной суммарной токсичности базового НТС с суммарной токсичности рассматриваемого (газодизеля) НТС.

$$K_{\text{эгд}} = \frac{\sum_i^n T_{\text{дт}}^{\text{со}}}{\sum_i^n T_{\text{гд}}^{\text{со}}} \leq 1,0 \quad (8)$$

где $T_{\text{дт}}^{\text{со}}$ – суммарная приведенная токсичность базового НТС; $T_{\text{гд}}^{\text{со}}$ – суммарная приведенная токсичность сравниваемого НТС.

Коэффициент экологической эффективности представляет собой количество воздуха (м^3), необходимое для разбавления ОГ до безвредного состояния.

Преимущество ПГ в качестве топлива обусловлено высоким содержанием водорода. Углеводородные газы имеют благоприятное соотношение $C:H$ (углерода к водороду). Углеродное число ПГ составляет 2,99. Ежегодное поступление метана в атмосферу оценивают в 2,0 млрд. т.

Выброс CO_2 в окружающую среду при полном сгорании 1 кг ДТ и ПГ составляет 3,16 и 2.8 кг соответственно. Потребление при технологическом преобразовании ДТ и ПГ составляют 3,34 и 3.13 кг.

Склонность ОГ к формированию парникового эффекта характеризуется «потенциалом к возникновению парникового эффекта», представляющим собой условный показатель для сравнительной оценки вредных выбросов. В атмосферу, кроме CO_2 , поступают также парниковые газы N_2O и CH_4 .

Потенциал ОГ НТС к возникновению парникового эффекта можно рассчитать по следующей формуле:

$$I_{\text{пар}} = 1 m_{CO_2} + 320 m_{N_2O} + 25 m_{CH_4} \quad (9)$$

где m_{CO_2} , m_{N_2O} и m_{CH_4} – выбросы ВВ, кг; коэффициенты 1, 320 и 25, характеризуют относительную опасность выбрасываемых ВВ.

Грузовые автомобили на КПГ и дизельные выбрасывают на 25...30 % CO_2 меньше в сравнении с бензиновыми автомобилями.

Результаты расчетов показывает потенциал, выраженный в эквивалентном выбросе CO_2 . Метан, имеющий значительный потенциал парникового эффекта, превышает в 25 раз CO_2 . Фактор характеристики $F_{\text{пар}}$ показывает относительную опасность попадания вещества в окружающую среду. Для количественной оценки поглощения теплового излучения Земли используют следующее выражение:

$$I_{\text{парн}} = \sum_i^n m_i F_{\text{парн } i} \quad (10)$$

где m_i – выброс i вещества, кг; $F_{\text{парн } i}$ – фактор характеристики изменения климата.

Оценка воздействия выбросов парниковых газов учитывает объем выбросов и поглощений CO_2 в углеродных единицах. Различные парниковые газы принято измерять единым эквивалентом в углеродных единицах – эквивалентом тонн выбросов CO_2 .

Уровень показателей автомобиля при жизненном цикле продолжительностью 10 лет позволил определить фактор характеристики для практической деятельности промышленных предприятий.

Повышение температуры поверхности планеты характеризуется потенциалом глобального потепления (GWP). Значительное количество CO_2 выделяется при производстве энергии. Для оценки парникового эффекта разработан критерий «Полного эквивалента глобального потепления» (TEWI – Total Equivalent Global Warming Impact). Целесообразно сократить глобальное потепление в среднем на 1,5...2 °C к 2030.г.

Продолжительность пребывания CO_2 в атмосфере составляет 4 года. Средняя ее концентрация достигает 0,03 % и постоянно увеличивается.

Киотский протокол зафиксировал количественные обязательства по сокращению выброса парниковых газов для промышленно развитых стран и стран с переходной экономикой. Согласно Киотскому протоколу ведущие страны должны сократить выброс CO_2 на 33 %. Выполнение экологических рекомендаций может привести к потере национального дохода и ликвидации рабочих мест [8, 9, 10].

Страны ЕС, обеспечивающие 25 % производимой промышленной продукции, приняли обязательства по снижению выброса всех парниковых газов на 8...14 % по отношению к 1990 г. Киотский протокол обязывает 38 индустриально развитых стран сократить к 2008–2020 г. выбросы CO_2 на 5 % по отношению к уровню 1990 г. Выбросы CO_2 , образуемые при сжигании энергоносителей, составляют 23,1 %.

Вклад парниковых газов в изменение климата оценивают величиной $\text{CO}_2 - 60 \%$, $\text{CH}_4 - 15 \%$, фторхлоруглероды – 12% , $\text{O}_3 - 8 \%$ и $\text{NO}_3 - 5 \%$.

Ущерб от глобального потепления можно определить зависимостью:

$$Y_{\text{пэ}} = \gamma_{\text{CO}_2} \sum_{i=1}^n F_{\text{парн } i} m_i \quad (11)$$

где $Y_{\text{пэ}}$ – (величина парникового эффекта) ущерб от выброса в атмосферу 1 т CO_2 рекомендуемое к использованию значение составляет 32 Евро/т CO_2 ; $F_{\text{парн } i}$ – потенциал изменения климата для i -го компонента газа, m_i – масса выброса загрязнителя, т; n – количество ВВ, обладающих парниковым эффектом.

Потенциал оценивают эквиваленты выбросам CO_2 в килограммах. Оценка экологической эффективности энергоносителя может быть определена по приведенному выбросу ВВ, представляющему выброс 1 кг ВВ на 1 т израсходованного топлива. При работе на бензине приведенный выброс ВВ составляет 2273 кг/т, а на КПГ – 1314 кг/т. Показатель $C_{\Sigma \text{ пар}}$, учитывающий предотвращенный ущерб от парниковых газов CO_2 , CH_4 и N_2O .

Для расчета C_{Σ} необходимо определить цену единицы CO_2 , которая изменяется от 1 до 100 долл. за 1 т.

Международная цена на выброс CO_2 для стран со слабым уровнем равна 25 долл, средним уровнем – 50 долл. и высоким уровнем – 75 долларов за 1 т эквивалентного выброса 1 т CO_2 .

Практический интерес представляют методы утилизации диоксида углерода. CO_2 сжижают и закачивают под давлением на глубину 800 м. Хранилищами служат пористые породы, подземные резервуары газовых или нефтяных скважин, содержавших использованное топливо.

Ресурсная концепция устойчивого свидетельствует о необходимости выбора Россией биосферной концепции устойчивого развития [11].

Концепция перехода РФ к устойчивому развитию определена нормативными и правовыми актами [12].

Выводы и рекомендации.

Разработан метод расчета парникового эффекта устойчивого развития. Изложен отечественный опыт разработки параметров парникового эффекта устойчивого развития. Применение альтернативных видов энергоносителей обеспечивает снижение выброса парниковых газов. Микропроцессорные системы управления современных газодизельной обеспечивают выполнение современных экологических требований.

Список литературы

1. Марфенин, Н.Н. Устойчивое развитие человечества: учеб. / Н.Н. Марфенин. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 624 с.
2. ГОСТ 56267-2014 Газы парниковые / ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 72 с.
3. Об ограничении парниковых газов Федеральный закон от 02.07.2021 Т 296-ФЗ, 2021. – 20 с.
4. Ерохов, В.И. Экологическая эффективность газобаллонного автомобиля на сжатом природном газе / В.И. Ерохов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 2. – С 21-32.
5. Выбор рабочего процесса для среднеоборотного двигателя, питаемого природным газом / М.Г. Шатров, В.В. Синявский, И.Г. Шишлов [и др.] // XI международная научно-практическая конференция: Тезисы докладов, Москва, 26–27 июня 2018 года / НПО "Турботехника". – М.: Издательский дом "Научная библиотека", 2018. – С. 11-13.
6. Ерохов, В.И. Технично-эксплуатационные показатели газобаллонных автомобилей нового поколения. Лекция № 1. часть 2. экологические показатели газобаллонных автомобилей нового поколения / В.И. Ерохов // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2017. – Т. 16. – № 10. – С. 435-451.
7. Ерохов, В.И. Токсичность современных автомобилей (методы и средства снижения вредных выбросов в атмосферу) / В.И. Ерохов; Издательство "Форум", издательство "ИНФРА-М". – М.: Форум, 2013. – 448 с. – ISBN 978-5-91134-801-4.
8. Декларации ООН Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию. – URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodec
9. Ерохов, В.И. Экономическая модель оценки качества окружающей среды / В.И. Ерохов, А.В. Николаенко // Современные проблемы экологии: доклады Всероссийской научно-технической конференции. – Тула: ТулГУ, 2009. – С. 5-9
10. Трофименко, Ю.В. Пути сокращения углеродного следа и ПЕРСПЕКТИВЫ достижения углеродной нейтральности в жизненном цикле автомагистрали / Ю.В. Трофименко, А. С. Виноградова // Дороги и мосты. – 2021. – № 2(46). – С. 303-314.

11. О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития [Текст]: Указ Президента Российской Федерации от 4 февраля 1994 г. № 236.
12. О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию: Указ Президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 г. № 440.

Reference

1. Marfenin N.N. *Ustoychivoye razvitiye chelovechestva* (Sustainable development of mankind), Moscow, Izd-vo MGU, 2006, 624 p.
2. Gazy parnikovyye, GOST 56267-2014 (Greenhouse gases, GOST 56267-2014), Moscow, FGUP «Standartinform», 2015, 72 p.
3. Ob ogranichenii parnikovykh gazov. Federal'nyy zakon ot 02.07.2021, № T 296-FZ (On the limitation of greenhouse gases. Federal Law of 02.07.2021, no. T 296-FZ), 2021, 20 p
4. Yerokhov V.I. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2017, no. 2, pp. 21-32.
5. M.G. Shatrov, V.V. Sinyavskiy, I.G. Shishlov et al. *XI mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*,: Moscow, Izdatelskiy dom "Nauchnaya biblioteka", 2018, pp. 11-13.
6. Yerokhov V.I. *AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al'ternativnoye toplivo*, 2017, T. 16, no. 10, pp. 435-451..
7. Yerokhov, V.I., Izdatel'stvo "Forum", izdatel'stvo "INFRA-M" *Toksichnost' sovremennykh avtomobiley (metody i sredstva snizheniya vrednykh vybrosov v atmosferu)*, (Toxicity of modern cars (methods and means of reducing harmful emissions into the atmosphere)), Moscow, Forum, 2013, 448 p.
8. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodec
9. Yerokhov V.I., Nikolayenko A.V. *Sovremennyye problemy ekologii*, Tula, TulGU, 2009, pp. 5-9.
10. Trofimenko Yu. V., Vinogradova A. S. *Dorogi i mosty*, 2021, no. 2(46), pp. 303-314.
11. O gosudarstvennoy strategii Rossiyskoy Federatsii po okhrane okruzhayushchey sredy i obespecheniyu ustoychivogo razvitiya, Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii no. 236 ot 04.02. 1994, (On the State Strategy of the Russian Federation for Environmental Protection and Sustainable Development, Decree of the President of the Russian Federation, no. 236 of 04.02.1994).
12. O Kontseptsii perekhoda Rossiyskoy Federatsii k ustoychivomu razvitiyu, Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii no. 440 ot 01.04.1996 (On the Concept of the Transition of the Russian Federation to Sustainable Development, Decree of the President of the Russian Federation no. 440 of 01.04.1996).

Рецензент: В.А. Марков, д-р техн. наук, проф., МВТУ им. Н.Э. Баумана