

13. Гордиенко Т. Б., Величко О. Н. Сравнение оценки неопределенности в международных метрологических и экологических руководствах // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. семинара “Математическая, статистическая и компьютерная поддержка качества измерений”. – С.-Петербург, 2006. – С. 130–135.
14. Величко О. Н., Гордиенко Т. Б. Сравнение оценки неопределенности в международных метрологических и экологических руководствах // Измерит. техника. – 2007. – № 5. – С. 22–26.
15. Gordiyenko T., Velychko O. Peculiarities of Using Uncertainty in Environmental Guides // Intern. Workshop on Advanced Methods for Uncertainty Estimation in Measurement (AMUEM 2006). – Sardagna, Trento, Italy, 2006. – P. 52–56.
16. Velychko O., Gordiyenko T. The Use of Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement for Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories // International Journal of Greenhouse Gas Control. – Vol. 3. – Issue 4. – July, 2009. – P. 514–517.
17. Velychko O., Gordiyenko T. Estimation of uncertainty with correlation values in international metrological and environmental guides // 1st IMEKO TC19 Intern. Symp. on Measurements and Instrumentation for Environmental Monitoring. – Proceeding. – Iasi, Romania, 2007. – P. 8–12.
18. Velychko O. M., Gordiyenko T. B. Uncertainty estimation at determination of pollutant emission // 7th Intern. Symp. “Metrology 2008”. – Havana, Cuba. – 2008. – CD. – 12 p.
19. Гордиенко Т. Б. Идентификация составляющих неопределенности при оценке выбросов парниковых газов // Тез. докл. Междунар. конф. “Метрология и метрологическое обеспечение”. – Минск. – 2007. – С. 67–71.

УДК 389.14

Величко О. Н., Гордиенко Т. Б. (Украина, Киев)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ МОБИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В Резолюции 2, принятой 23-й Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ), указано, что одним из первоочередных приоритетных направлений деятельности в рамках Метрической конвенции является поддержка экологических измерений. Высокие уровни локального загрязнения атмосферы вредными веществами (ВВ) из стационарных и мобильных источников отрицательно влияют на окружающую среду и здоровье населения. Повышение достоверности оценки выбросов дает возможность более точно оценить степень влияния загрязняющих веществ (ЗВ) на состояние окружающей среды. При этом важным элементом анализа полученных данных является оценка как составляющих неопределенности, так и общей неопределенности результатов измерений с целью их минимизации.

Для расчета выбросов ЗВ в атмосферу и неопределенности полученных результатов на международном и региональном уровнях применяют специальное Руководство по инвентаризации вредных выбросов в атмосферу (CORINAIR) [1, 2]. На его основе разработаны и другие аналогичные документы, в частности, Руководство Межправительственной группы экспертов по вопросам изменения климата (IPCC 2006) [2, 3] для подготовки национальных кадастров выбросов парниковых газов (ПГ). Актуальным является вопрос достоверной оценки выбросов ЗВ от мобильных источников (МИ) [4, 5] с учетом неопределенности всех составляющих общей неопределенности такой оценки.

1. Упрощенная методика оценки выбросов с использованием данных о потреблении топлива

Для оценки выбросов ЗВ в атмосферу в CORINAIR используют данные о потреблении топлива за определенный период времени, поскольку выполнить прямые измерения для каждого конкретного источника выбросов, особенно МИ, практически невозможно. Выбросы, прежде всего, оксидов азота NO_x , оксида углерода CO , углеводородов CH практически полностью зависят от количества потребленного топлива. При оценке выбросов ПГ в соответствии с положениями Руководства IPCC 2006 учитывают следующие газы: диоксид углерода CO_2 , метан CH_4 , диоксид азота N_2O , NO_x , CO , а также диоксид серы SO_2 .

В соответствии с упрощенной методикой CORINAIR выбросы E_i от МИ определяют из выражения [1, 6–8]:

$$E_i = FC_i \cdot EF_i, \quad (1)$$

где FC_i – потребленное топливо; EF_i – среднее значение выбросов i -го компонента ЗВ на единицу топлива; i – вид компонента (например, CO_2 , NO_x и т. д.).

В соответствии с IPCC 2006 выбросы ПГ из МИ вычисляют по общему выражению [3]:

$$E_i = \sum_a \sum_b \sum_c (EF_{abc} \cdot AD_{abc}), \quad (2)$$

где EF_{abc} – коэффициент выбросов (КВ) определенного ПГ, кг/ТДж; AD_{abc} – данные о потребленной энергии, ТДж; a – тип топлива; b – тип МИ (локомотив, автомобиль, морское или речное судно, самолет и т. д.); c – тип оборудования для контроля выбросов ПГ.

Если источник выбросов ЗВ является существенным по вкладу, то необходимо проверить указанную выше репрезентативность, что, возможно, потребует детализации этих данных или повышения их точности. Некоторые данные могут основываться на краткосрочных (почасовых, суточных) измерениях. В этом случае необходимо дополнительно использовать соответствующие экспертные оценки и методы для выработки

приемлемой репрезентативности оценки, применяемой в качестве входной информации при оценке неопределенности полученных данных.

Обобщенный КВ ЗВ – это среднее удельное значение выбросов ЗВ для определенных технологий сжигания топлива, категории двигателя и вида топлива, но при этом не учитываются особенности химического состава топлива. Обобщенные КВ для дизельных двигателей регламентирует CORINAIR, значения которых используют “по умолчанию”, т. е. при отсутствии более конкретных данных.

Специфический КВ представляет собой удельное значение выбросов ЗВ, обусловленное конкретными характеристиками процесса сгорания, определенным типом двигателя с учетом индивидуальных характеристик топлива. Если известны и обобщенный, и специфический КВ, то необходимо выбирать последний, так как это способствует повышению общей точности расчета выбросов и, соответственно, уменьшению составляющих суммарной неопределенности.

Выбросы ЗВ, в т. ч. и ВВ, от МИ практически полностью зависят от количества потребленного топлива. В частности, на железнодорожном транспорте на долю мобильных источников приходится 85 % общего объема выбросов в атмосферу и 15 % – на долю стационарных, причем около 90 % последних составляют котельные [4, 5]. При сжигании топлива в отработанных газах дизельных локомотивов выделяется 97–98 % токсических веществ (CO, NO_x, SO₂ и т. д.) от их общего объема.

2. Методика оценки выбросов от мобильных источников

Разработана специальная методика оценки выбросов от МИ железнодорожного транспорта (далее – Методика) [7, 8], основанная на положениях национальных, отраслевых и международных методик оценки выбросов ЗВ в атмосферу (в т. ч. и ПГ), в частности [1, 3]. Она содержит три варианта Методики оценки для дизельных двигателей эксплуатируемых магистральных и маневровых локомотивов и т. п. В [9] приведены рекомендации по применению Методики для оценки выбросов от других дизельных МИ (автомобиль, морское или речное судно, самолет и т. д.).

В первом варианте Методики (Методика 1) используют данные общего потребления топлива и обобщенные КВ, а также предусмотрен расчет выбросов в атмосферу NO_x, CO, CH₄, CO₂, летучих неметановых органических соединений (ЛНОС) и твердых частиц. При учете выбросов SO₂ применяют данные о потреблении топлива и содержании в нем серы. Методика 1 является усредненной для всех типов двигателей и видов топлива и обеспечивает довольно приблизительные расчеты. При этом необходимо применять конечные данные, которые в значительной мере определяют требования к классификации источников [10]. В этом случае выбросы ЗВ (в граммах) определяются с помощью выражения:

$$E_i = \sum_i (A_i \cdot AD \cdot EF_i), \quad (3)$$

где A_i – усредненные удельные выбросы на единицу топлива, кг/т; AD – объем потребленного топлива, т; EF_i – коэффициент использования топлива (0,89); i – вид компонента ЗВ (NO_x, ЛНОС, CH₄, CO, SO₂, С).

В соответствии с требованиями отраслевого стандарта [11] коэффициенты EF_i принимают значения (г/кг): NO_x – 39,6; CO – 10,7; CH₄ – 0,18; ЛНОС – 4,65.

По второму варианту Методики (Методика 2) определяют выбросы (в тоннах) в атмосферу от МИ углеводов (C_xH_y), CO, NO_x с учетом статистических данных по грузовым и пассажирским перевозкам [7, 8]:

$$E_i = \sum_i (D_f \cdot EF_{fi} + D_p \cdot EF_{pi}) / 10^6, \quad (4)$$

где D_f , D_p – сведения о работе МИ при грузовых (ткм) и пассажирских (пкм) перевозках соответственно; EF_{fi} , EF_{pi} – КВ для грузового (г/ткм) и пассажирского (г/пкм) транспорта соответственно; i – тип ЗВ.

КВ имеют следующие значения: для грузовых перевозок (г/ткм) NO_x – 1,507; CO – 0,342; C_xH_y – 0,137; для пассажирских перевозок (г/пкм) NO_x – 0,975; CO – 0,22; C_xH_y – 0,086.

В третьем варианте Методики (Методика 3) используют данные об эксплуатации МИ и комплексный подход CORINAIR. Здесь предусмотрено определение выбросов в атмосферу NO_x, CO, CH₄, CO₂, SO₂, ЛНОС, твердых частиц при учете типов дизельного двигателя и самого МИ, сроков эксплуатации и мощности двигателя, а также количества рабочих дней в году каждого типа МИ в зависимости от индивидуального режима работы [7, 8]. Выбросы ЗВ от дизельных двигателей (в граммах) рассчитывают как:

$$E_i = N \cdot T \cdot P \cdot LF \cdot EF_i, \quad (5)$$

где N – количество транспортных единиц; T – количество рабочих часов в году; P – средняя мощность, кВт; LF – типовой коэффициент загрузки; EF_i – среднее значение выбросов i -го компонента на единицу измерения, г/(кВт·ч).

Количество МИ N классифицируют по сроку эксплуатации и мощности; количество рабочих часов в году T определяют для каждого типа МИ в зависимости от индивидуального режима работы и срока эксплуатации; рекомендуемый типовой коэффициент загрузки LF составляет 0,25 – для номинальных оборотов, 0,15 – для промежуточных; 0,6 – для режима холостого хода. Среднее значение выбросов для каждого ЗВ зависит от срока эксплуатации и мощности дизельного двигателя.

Среднеэксплуатационные удельные выбросы устанавливает стандарт [11], они приведены в разработанной методике [7, 8]. На базе имеющихся данных рассчитаны значения КВ – EF_i для конкретных видов МИ,

експлуатируемых на железных дорогах стран СНГ (8-ми типов магистральных и маневровых локомотивов в г/(кВт·ч) для NO_x, CO и CH), с учетом их типа и мощности дизельного двигателя, которые использованы в IPCC 2006 [3].

3. Общая неопределенность методики оценки выбросов от мобильных источников железнодорожного транспорта

К типовым составляющим общей неопределенности относятся источники, указанные в [8, 10, 12], где приведены также и специфические составляющие неопределенности, требующие уточнения. Прагматический подход к качественной и количественной оценкам суммарной неопределенности состоит в оценке имеющихся данных, полученных в результате либо прямых измерений, либо расчетов и экспертных оценок.

Результаты измерения с целью установления КВ определенных ЗВ (NO_x, N₂O, CO, CH, CH₄, NO₃, SO₂ и др.) при потреблении конкретного вида топлива (бензин; сжиженный нефтяной газ, дизельное топливо, сжатый природный газ, мазут), полученные в условиях, отличающихся от нормальных, также являются источниками дополнительной неопределенности. Поэтому корректное определение значений КВ позволяет минимизировать эту составляющую общей неопределенности.

Особенностью оценки общей неопределенности расчета выбросов ЗВ от МИ в атмосферу является разделение ее основных составляющих на общие неопределенности данных о потреблении топлива AD и КВ – EF [8, 10, 12]. С учетом указанных подходов оценена общая неопределенность оценки выбросов, ее основные составляющие для рассмотренных вариантов Методики. Общая неопределенность этих оценок составила менее 20 % при 95 % доверительном интервале. IPCC 2006 предлагает для данных о потреблении топлива значение общей неопределенности до 7 %, а для КВ ПГ – до 10 %.

Результат оценки общей неопределенности с учетом погрешности ДД грузопассажирского транспорта в развитых странах наиболее вероятно находится в диапазоне до 5 % для определенного вида топлива. Для стран с переходной экономикой это же значение должно составлять менее 10 %. Статистические данные о потреблении топлива крупными источниками, полученные в результате прямых измерений или обязательных отчетов, наиболее вероятно будут менее 3 %.

Неопределенность расчета КВ для CO₂ не превышает 5 %, поскольку определяется только содержанием углерода в топливе и фракции окисления. Для конкретного вида топлива она зависит, в основном, от двух главных факторов: точности измеренных значений и непостоянства источников поставки топлива и его качества. В типичном случае неопределенность КВ для CO₂ составляет около 2 %. В то же время, неопределенность КВ других ЗВ гораздо больше, так как даже само значение КВ (например для CH₄ и, особенно, N₂O) колеблется в довольно широких пределах (иногда до 30–50 %).

Общая неопределенность Методики 1 составляет 16–19 %; Методики 2 – 10–13 %; Методики 3 – 7–11 % [8, 10, 12].

Выводы

1. Методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от мобильных источников применяют в зависимости от имеющихся входных данных с учетом необходимой точности таких расчетов и их неопределенности. Основными составляющими общей неопределенности этих методик являются неопределенности данных о потреблении топлива и коэффициентов выбросов загрязняющих веществ.
2. Для более достоверного учета составляющих общей неопределенности учета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от мобильных источников целесообразно использовать качественный и количественный анализ всех ее существенных составляющих. Предложенная методика позволяет упростить процедуру определения общей неопределенности оценки выбросов загрязняющих веществ и ее основных составляющих.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. – 3th Ed. – EEA. – Copenhagen, 2003.
2. Величко О. М., Гордієнко Т. Б. Міжнародна стандартизація методик оцінки антропогенних викидів парникових газів // В зб. наук. праць КУЕТТ. – Сер. “Транспортні системи і технології”. – 2003. – Вип. 4. – С. 249–255.
3. IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. – Japan: IGES, 2006. – Vol/ 1–5.
4. Величко О. М., Гордієнко Т. Б. Оцінка викидів парникових газів у транспортному секторі // В зб. “Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля”. – 2003. – № 10 (68). – Част. 2. – С. 31–34.
5. Величко О. М., Гордієнко Т. Б., Павлюк А. М., Яновський П. О., Кулешов В. П. Джерела викидів шкідливих газів в атмосферне повітря на залізницях України // В зб. наук. праць КУЕТТ. – Сер. “Транспортні системи і технології”. – 2004. – Вип. 6. – С. 174–187.
6. Величко О. Методики оцінки викидів парникових газів на залізничному транспорті та їх застосування // В зб. наук. праць КУЕТТ. – Сер. “Транспортні системи і технології”. – 2003. – Вип. 3. – С. 141–150.
7. Величко О. М., Гордієнко Т. Б., Кулешов В. П. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин від залізничних тягових транспортних засобів // В зб. наук. праць КУЕТТ. – Сер. “Транспортні системи і технології”. – 2005. – Вип. 8. – С. 202–207.
8. Величко О. Н., Гордієнко Т. Б. Методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и оценка их неопределенности // Измерит. техника. – 2009. – № 2. – С. 55–60.

9. Velychko O., Gordiyenko T. Methodologies of Evaluation of the Greenhouse Gases Emission from Diesel Transport // Proc. of Intern. 17th Symp. IMEKO TC 4, 3rd Symp. IMEKO TC 19 and 15th IWADC Workshop Instrumentation for the ICT Era. – September 8–10, 2010, Kosice, Slovakia. – 5 p.
10. Величко О. М., Гордиенко Т. Б. Неопределенность методик оценки выбросов в атмосферу загрязняющих веществ на железнодорожном транспорте // Системи обробки інформації. – Харків. – 2006. – Вип. 6 (56). – С. 13–18.
11. ГСТУ 32.001–94. Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми і методи визначення.
12. Гордиенко Т. Б., Величко О. Н. Неопределенность методик выбросов в атмосферу загрязняющих веществ от мобильных источников // Системи обробки інформації. – Харків. – 2008. – Вип. 4 (71). – С. 88–91.

УДК 662.761:662.762:662.763

Концевой А. Л., Голубева М. В. (Україна, Київ)

ТЕРМОДИНАМІЧНІ АСПЕКТИ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ З ВРАХУВАННЯМ ЙОГО СКЛАДУ ТА СКЛАДУ ДУГТЯ

В умовах обмежених запасів нафти і газу в Україні виникає необхідність перегляду структури паливно-енергетичного комплексу країни і переорієнтація його на більш широке застосування вугілля.

Рациональне використання твердого палива передбачає переробку твердого палива у вуглеводневу сировину та водень шляхом його газифікації. За геологічними запасами викопного вугілля Україна посідає перше місце в Європі і восьме місце в світі. Розвідані запаси вугілля в Україні складають 34,0 млрд. т умовного палива або близько 50 млрд. т (станом на 1998 р.). Прогнозні запаси – близько 120 млрд. т. В структурі балансових запасів представлені всі марки вугілля від бурого до високометаморфізованих антрацитів. Вугілля характеризується порівняно великою зольністю – близько 25% і високою сірчистістю – 2,5%.

Газифікація палива частково вирішує завдання боротьби із забрудненням атмосфери при використанні сірчистих палив на електростанціях оскільки можливе проведення газифікації високосірчистого і високозольного вугілля з подальшим очищенням газу від сірчистих сполук і спаленням на теплових електростанціях. У вугіллі, що видобувається щорічно в Україні, міститься понад 1,0 млн. т сірки, більша частина якої при спаленні викидається в атмосферу у вигляді токсичних оксидів. При газифікації вугілля в більшості випадків утворюється сірководень, який легко вилучати і переробляти на товарну сірку або сірчану кислоту.

Методами газифікації твердого палива можна отримувати горючі гази будь-якого складу, починаючи з чистих водню, оксиду водню (II), метану, їх сумішей у різноманітних пропорціях, придатних для синтезу аміаку, метанолу, оксосинтезу, і закінчуючи генераторним газом, який можна використовувати для енергетичних установок різноманітних типів і призначення.

Важливою особливістю методів газифікації твердого палива є їх масштабні зміни. Газогенераторні установки можуть обслуговувати великі хімічні комбінати, які випускають мільйони тон у рік аміаку або метанолу, постачати горючий газ на ТЕЦ і в той же час забезпечувати газом невеликі автономні енергетичні та хімічні установки, селища і міста, невеликі машинобудівні, хімічні та інші заводи.

Газифікація – високотемпературний процес взаємодії вуглецю палива з окиснювачами, що проводиться з метою отримання суміші горючих газів (H_2 , CO , CH_4). Як окиснювачі або газифікуючі агенти застосовують кисень, водяну пару або суміш цих речовин. У залежності від складу, співвідношення початкових речовин, температури, тиску і тривалості взаємодії можна отримати газові суміші різного складу. Вибір виду газифікації визначається багатьма факторами, такими як склад генераторного газу, який необхідно отримати, подальше його використання (газ для енергетичних установок, синтез-газ для виробництва аміаку, метанолу чи водню та ін.) [1].

З термодинамічної точки зору реакції (1 – 3) достатньо повно описують різноманітні методи газифікації [2]:



Рівняння констант рівноваги для цих реакцій мають наступний вигляд:

$$K_{p1} = \frac{P_{CO}^2}{P_{CO_2}}, \quad C + CO_2 \leftrightarrow 2CO; \quad (4)$$

$$K_{p2} = \frac{(P_{CO} \cdot P_{H_2O})}{(P_{CO_2} \cdot P_{H_2})}, \quad CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2; \quad (5)$$