DOI:10.21513/0207-2564-2024-1-2-73-88 УДК 504.3.054/504.38

Разработка национальных коэффициентов выбросов CO_2 от производства на предприятиях Российской Федерации

Б.М. Аникушин[1,2], Э.Ю. Бакурова[1], С.В. Валов[1,2], А.Р. Давлетшина[1,2], К.А. Заволокин[1,2], Е.В. Имшенник [1], М.Х. Сосна[1,2]*

[1]Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

[2]Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 65, к. 1

*Адрес для переписки: *ekimsh@rambler.ru*

Реферат. Предприятия нефтехимической промышленности являются существенным источником выбросов парниковых газов в Российской Федерации. Основной вклад в выбросы вносят предприятия-производители этилена, метанола и технического углерода. Уточнение оценки выбросов парниковых газов от этих источников имеет большое значение для правильной оценки выбросов парниковых газов в российском национальном кадастре выбросов и абсорбции парниковых газов. В статье на основе данных предприятий-производителей представлены результаты расчетов коэффициентов выбросов диоксида углерода от производства метанола. Коэффициенты выбросов CO_2 оцениваются по методике МГЭИК, основанной на массовом балансе углерода, введенного в производственный процесс с сырьевыми материалами и выходящего из процесса в составе нефтехимических продуктов. Полученные в результате расчета коэффициенты выбросов для отдельных предприятий зависят от используемой на предприятии технологии производства метанола и могут изменяться в широких пределах: от 0.36 т CO_2/т метанола до 1.24 т CO_2/т метанола. Для предприятий, использующих сходные технологии, полученные в ходе работы, коэффициенты выбросов имеют близкие значения. Среднеквадратичное отклонение от средних значений коэффициентов выбросов для таких предприятий не превышают 10%. Национальные коэффициенты выбросов рассчитывались для 1995, 2000, 2005, 2010, 2015-2022 гг. как средневзвешенное по производству метанола значение коэффициентов выбросов отдельных предприятий. За период с 1995 г. по 2020 г. национальный коэффициент выбросов CO_2 от производства метанола существенно (на 25-27%) снизился с 0.801 т CO_2/т метанола до 0.585-0.598 т CO_2/т метанола. Снижение выбросов CO_2 от производства метанола связано с модернизацией существующих предприятий и строительством новых производств, использующих современные технологии. При отсутствии существенных изменений в отрасли, связанных с вводом новых мощностей по производству метанола, модернизацией и закрытием старых, средний коэффициент выбросов CO_2 за

2020-2022 гг., равный 0.59 т CO_2/т метанола, может быть использован для оценки выбросов от производства метанола в стране в ближайшие годы.

Ключевые слова. Нефтехимическая промышленность, производство метанола, выбросы парниковых газов, диоксид углерода.

Developing of national CO_2 emission factors from methanol production at the enterprises of the Russian Federation

B.M. Anikushin[1,2], E.Yu. Bakurova [1], S.V. Valov[1,2], A.R. Davletshina[1,2], K.A. Zavolokin [1,2], E.V. Imshennik [1], M.H. Sosna[1,2]*

[1]Yu. A. Israel Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., Moscow, 107258, Russian Federation

[2]Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University),
65, Leninsky prospect, Moscow, 119991, Russian Federation

*Correspondence address: *ekimsh@rambler.ru*

Abstract. Petrochemical industry is a significant source of greenhouse gas emissions in the Russian Federation. The main contribution to emissions comes from ethylene, methanol and carbon black production enterprises. Improvement of greenhouse gas emissions estimation from these sources is very important for the correct assessment of greenhouse gas emissions in the Russian national greenhouse gas inventory. In the article carbon dioxide emission factors from methanol production in the Russian Federation are developed. Developed emission factors are based on the data provided by the methanol producers. CO_2 emission factors are estimated using the IPCC carbon mass balance methodology, which calculates emission as difference between carbon input into the production process with feedstock and carbon leaving the process as part of petrochemical products. The calculated emission factors for individual enterprises depend on the methanol production technology used at the enterprises and can vary widely: from 0.36 t CO_2/t methanol to 1.24 t CO_2/t methanol. Enterprises using similar technologies are characterized by similar values of emission factors. The standard deviation from the average emission factor value for such enterprises does not exceed 10%. National emission factors were calculated for 1995, 2000, 2005, 2010, 2015-2022 as a methanol production-weighted average of individual plant emission factors. Over the period from 1995 to 2020, the national CO_2 emission factor from methanol industry decreased significantly (by 25-27%) from 0.801 t CO_2/t of methanol to 0.585-0.598 t CO_2/t of methanol. The reduction in CO_2 emissions from methanol production occurred as a result of the modernization of existing enterprises and the construction of new production facilities using modern technologies. In the absence of significant changes in the industry, such as introduction of new methanol production facilities, modernization and closure of

methanol can be used to estimate CO_2 emissions from methanol production in the country during next several years.

Keywords. Petrochemical industry, methanol production, greenhouse gas emissions, carbon dioxide.

Введение

В соответствии с руководством МГЭИК (IPCC, 2006) в нефтехимической промышленности оцениваются выбросы CO_2 и CH_4 от следующих источников: производство этилена, производство метанола, производство окиси этилена, производство винилхлорида, производство акрилонитрила и производство технического углерода или сажи. Оценка выбросов CO_2 в российском Национальном кадастре выбросов парниковых газов (НДК, 2023) выполнялась по методике первого уровня МГЭИК в связи с отсутствием необходимых для более точных оценок технологических данных. В РФ в 2021 г. доля выбросов парниковых газов (ПГ) от нефтехимической промышленности в совокупном выбросе ПГ без учета сектора «Землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства» составила 0.81%. В структуре выбросов от нефтехимической промышленности основным ПГ является CO_2. Его доля в выбросах в 2021 г. составила 96.4%. Выбросы CO_2 от нефтехимической промышленности являются ключевой категорией в российском Национальном кадастре выбросов парниковых газов. В связи с этим оценка выбросов CO_2 от основных источников выбросов в нефтехимической промышленности в Национальном кадастре должна быть выполнена по методике второго уровня МГЭИК, которая учитывает технологические особенности производства нефтехимических продуктов в России. Основными источниками выбросов CO_2 в нефтехимии являются производство этилена, производство метанола и производство технического углерода. Выбросы от этих источников в сумме составляют около 95% выбросов CO_2 от нефтехимической промышленности. На рис. 1 представлена структура выбросов CO_2 от нефтехимических производств в 2021 г. по данным российского Национального кадастра выбросов парниковых газов (НДК, 2023).Самым значительным источником выбросов является производство этилена, выбросы CO_2 от которого составляют 59.6% выбросов от нефтехимической промышленности. Выбросы CO_2 от производства метанола и от производства технического углерода также являются значительными и составляют соответственно 18.0% и 17.0% выбросов от нефтехимической промышленности. Значительность выбросов предполагает использование более точных методов оценки выбросов, учитывающих особенности этих производств в стране.

Настоящая работа посвящена разработке национальных коэффициентов выбросов CO_2 от производства метанола на основе данных, полученных от предприятий-производителей. Исследование выполнено в рамках проекта «Российская система климатического мониторинга» (ВИП-ГЗ) в 2023 г. и имеет целью совершенствование оценок выбросов диоксида углерода от

нефтехимической промышленности в национальном кадастре выбросов парниковых газов России.

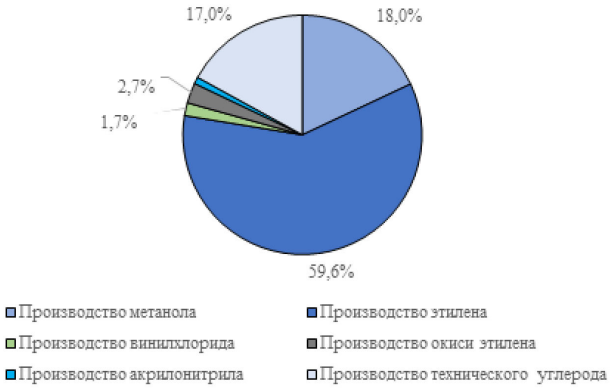

Рисунок 1. Структура выбросов CO_2 в нефтехимической промышленности в 2021 г. *(по данным НДК, 2023)*

Figure 1. Structure CO_2 emissions in the petrochemical industry in 2021 *(according to the NDK, 2023)*

Анализ текущего состояния производства метанола. Обзор предприятий-производителей метанола

Мировая метанольная отрасль является одной из наиболее динамично развивающихся – ее рост за последние 15 лет вдвое превысил динамику мирового ВВП (более 6.5% ежегодно) (VYGON consulting, 2019). Ключевым игроком на рынке метанола является Китай, который является крупнейшим производителем и потребителем (более половины мирового потребления) метанола. Ежегодный прирост потребления метанола в Китае составляет в настоящее время 16%. Собственного производства не хватает, поэтому Китай является крупнейшим импортером этого продукта, на него приходится более трети мирового импорта. Основными производителями метанола, кроме Китая, являются США (8% мирового производства), страны Ближнего Востока (Иран, Саудовская Аравия, Оман и Катар) – 14% мирового производства. Исторически США были чистым импортером метанола, но к 2020 г. они стали его нетто-экспортером благодаря вводу в эксплуатацию новых производственных мощностей. Страны Ближнего Востока являются крупнейшими экспортерами метанола в мире. Внутреннее потребление метанола не превышает 20-25% от производства.

Россия является одним из крупнейших производителей метанола в мире. Суммарные производственные мощности составляют более 5.6 млн т/год. Объем производства метанола существенно выше уровня внутреннего спроса. 60% производимого метанола используется на внутреннем рынке, 40% – экспортируется (VYGON consulting, 2019).

В Российской Федерации девять крупных производителей метанола (Сосна и др., 2018). Четыре производителя обеспечивают более 80% выпуска метанола. Это АО «Метафракс Кемикалс» (г. Губаха, Пермский край), АО «Щекиноазот» (р/п Первомайский, Тульская область), ООО «Газпром метанол» (г. Томск) и ООО «Томет» (с. Зеленовка, Самарская область). Помимо указанных производств действуют также: АО «Ангарская нефтехимическая компания» (г. Ангарск, Иркутская область), АО «Аммоний» (г. Менделеевск, Татарстан), ПАО «Акрон» (г. Великий Новгород), АО «НАК «Азот» (г. Новомосковск, Тульская область) и АО «Невинномысский Азот» (г. Невинномысск, Ставропольский край).

Кроме того, существуют малотоннажные производства метанола ПАО «НОВАТЭК», которые в рамках настоящей работы не рассматриваются, так как их суммарные мощности оцениваются в 50 тыс. т/год, что составляет менее 1% от суммарного производства метанола в России. Производимый ПАО «НОВАТЭК» метанол в полном объёме используется в газотранспортной системе компании как ингибитор гидратообразования.

Основные российские предприятия-производители метанола, их производственная мощность, технологии и сырье, которые используются для получения метанола, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Предприятия-производители метанола в Российской Федерации

Table 1. Methanol producers in the Russian Federation

№	Название предприятия	Производственная мощность, тыс. т/год	Исходное сырье для производства метанола	Технология получения синтез газа	Лицензиар
1	АО «Щекиноазот»	1 400	Природный газ	паровая конверсия метана с предварительным риформингом (установка М-500); совместное производство аммиака и метанола, паровая и паровоздушная конверсия с предварительным риформингом (установка МиА), паровая и парокислородная конверсия метана с предварительным риформингом (установка М-450)	Haldor Topsoe, Дания
2	АО «Метафракс Кемикалс»	1 230	Природный газ	паровая конверсия метана и парциальное окисление природного газа кислородом	Johnson Matthey (ICI), Великобритания

Продолжение таблицы 1

№	Название предприятия	Производственная мощность, тыс. т/год	Исходное сырье для производства метанола	Технология получения синтез газа	Лицензиар
3	ООО «Томет»	1 000	Природный газ	пароуглекислотная конверсия метана	METHANOL CASALE S.A., Швейцария
4	ООО «Газпром метанол»	840	Природный газ	паровая конверсия природного газа	Johnson Matthey (ICI), Великобритания
5	АО «НАК «Азот»	300	Природный газ	паровая конверсия природного газа	ГНИИ “Химтехнология” (г. Северодонецк)
6	АО «Аммоний»	233.8	Природный газ	совместное производство аммиака и метанола паровая конверсия метана и вторичный риформинг (паровоздушная конверсия)	Haldor Topsoe, Дания
7	АО «Невинномысский Азот»	130	Синтез-газ от производства ацетилена	производство синтез- газа отсутствует	ГосНИИМетанолпроект г. Северодонецк
8	ПАО «Акрон»	110	Природный газ	нет данных	нет данных
9	АО «АНХК»	70	Продувочные и танковые газы других производств	паровая конверсия углеводородных газов	АО «Ангарск нефтехимпроект»

В России было заявлено к реализации большое количество метанольных проектов. Ожидалось, что к 2030 году в России будет реализовано шесть крупных проектов по производству метанола: АО «НЗМУ» (Приморский край, 1.8 млн т/год к 2025 г.), ГК «ЕСН» (Амурская область, 2.2 млн т/год к 2028 г.), «АЕОН» (Волгоградская область, 1.5 млн т/год к 2025 г.), два проекта на Балтике по 1.8 млн т/год каждый к 2027 г., «Аммоний-2» (Татарстан, 500 тыс. т/год к 2028 г.). Их совокупная мощность, таким образом, составила бы 9.6 млн т/год.

В настоящее время из-за внешнеполитической обстановки и санкционных ограничений заморожены все известные проекты по строительству новых производств метанола.

Разработка коэффициентов выбросов CO_2 на основе данных предприятий, анализ полученных результатов с учетом технологий производства

Коэффициенты выбросов диоксида углерода рассчитывались по методике МГЭИК, основанной на массовом балансе углерода, введенного в производственный процесс с сырьевыми материалами и выходящего из процесса в составе нефтехимических продуктов (IPCC, 2006). Методика, основанная на балансе углерода, включает допущение о том, что весь углерод, введенный в процесс, либо вошел в состав первичных или вторичных продуктов производства, либо превратился в диоксид углерода. В случае производства метанола уравнение (1) используется для расчета выбросов CO_2.

$$E_{CO_2} = (NG \cdot C_{NG} - MT \cdot C_{MT}) \cdot \frac{44}{12}, \qquad (1)$$

где E_{CO_2} – выбросы CO_2 от производства метанола, тонны;

NG – годовое потребление природного газа или другого углеродсодержащего сырья, тонны;

MT – годовое производство метанола, тонны;

C_{NG}, C_{MT} – содержание углерода в сырье и метаноле, т С/т сырья или метанола.

Вторичных продуктов при производстве метанола не образуется. Коэффициент выбросов CO_2 рассчитывался по формуле (2):

$$EF_{CO_2} = \frac{E_{CO_2}}{MT}, \qquad (2)$$

где EF_{CO_2} – коэффициент выбросов CO_2 от производства метанола, т CO_2/т метанола;

E_{CO_2} – выбросы CO_2 от производства метанола за год, тонны;

MT – годовое производство метанола, тонны.

Расчеты коэффициентов выбросов проводились для 1995, 2000, 2005, 2010 и 2015-2022 гг.

Необходимые для расчетов данные были получены благодаря сотрудничеству предприятий-производителей, которые передали авторам следующую информацию о работе предприятий за эти годы:

1. Технологический регламент производства метанола.
2. Принципиальная технологическая схема производства метанола.
3. Установленная мощность производства.
4. Полный расход природного газа на производство метанола за год.
5. Годовой выпуск метанола-ректификата.
6. Паспорта качества природного газа или другого углеводородного сырья.
7. Расходные коэффициенты по природному газу среднегодовые.

Данные от ПАО «Акрон» (доля в производстве метанола в стране 2.0%) не получены. Кроме того, не удалось использовать в расчетах данные, полученные от АО «Ангарская нефтехимическая компания», доля которой в производстве метанола в стране 1.25%. Отсутствие этих данных не окажет существенного влияния на качество расчета национального коэффициента выбросов, так как доля этих предприятий в производстве метанола в стране незначительная.

ООО «Газпром метанол» передал только технологический регламент производства с указанием максимального удельного расхода природного газа на производство метанола в 2017-2022 гг. Отсутствие данных по ежегодному производству метанола и расходу природного газа на его производство приводит к тому, что оценка выбросов CO_2 от производства метанола на этом предприятии является не точной.

Данные, полученные от остальных предприятий, были использованы в расчетах коэффициентов выбросов. Предприятия не всегда имели возможность передать данные за весь период исследования. Доля предприятий в производстве метанола в стране, данные которых были учтены при расчете национального коэффициента выбросов за 1995 г., составляла 51%. В последующие годы она постепенно повышалась и в 2017-2022 гг. составила 88-93%.

Все предприятия, за исключением АО «Невинномысский Азот» и АО «Ангарская нефтехимическая компания», в качестве сырья и топлива для производства метанола используют природный газ. АО «Невинномысский Азот» в качестве сырья использует синтез-газ, отходящий от производства ацетилена, а АО «Ангарская нефтехимическая компания» использует продувочные и танковые газы от других производств предприятия.

Данные, переданные предприятиями, не могут быть приведены в данной статье по причине их конфиденциальности. Рассчитанные с использованием этих данных значения среднего удельного расхода природного газа на производство тонны метанола для всей отрасли учитывают, в том числе, расход природного газа при технологических простоях (см. далее табл. 4).

Для всех предприятий содержание углерода в природном газе, использованном для производства метанола, рассчитывалось на основании данных о среднем за год компонентном (молярном) составе природного газа, представленном в паспортах качества природного газа или синтез-газа, переданных предприятиями. В обобщенном виде эти данные представлены в табл. 2

Таблица 2. Молярный состав природного газа, используемого в качестве сырья на предприятиях-производителях метанола, по данным паспортов качества природного газа

Table 2. Molar composition of natural gas used as a raw material at methanol producing enterprises, according to natural gas quality certificates

Год	Молярные доли компонентов природного газа, %				
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	CO_2
1995	97.5 – 98.7	0.4 – 1.1	0.15 – 0.33	0.05 – 0.12	0.078
2000	97.5 – 98.6	0.5 – 1.1	0.11 – 0.33	0.03 – 0.12	0.078
2005	97.5 – 98.5	0.5 – 1.1	0.15 – 0.33	0.09 – 0.12	0.078
2010	97.1 – 97.7	1.0 – 1.5	0.30 – 0.43	0.09 – 0.14	0.07 – 1.0
2015	95.5 – 96.8	1.7 – 2.5	0.53 – 0.88	0.18 – 0.25	0.16 – 0.17
2016	95.4 – 96.7	1.7 – 2.5	0.55 – 0.82	0.17 – 0.26	0.12 – 0.18
2017	95.8 – 96.6	1.6 – 2.3	0.51 – 0.79	0.16 – 0.19	0.12 – 0.16
2018	96.2 – 96.8	1.6 – 2.1	0.52 – 0.66	0.16 – 0.20	0.14 – 0.16
2019	96.3 – 96.8	1.6 – 2.0	0.51 – 0.62	0.15 – 0.20	0.13 – 0.16
2020	95.8 – 96.3	2.0 – 2.3	0.63 – 0.75	0.18 – 0.27	0.15 – 0.18
2021	95.7 – 96.3	2.0 – 2.4	0.57 – 0.76	0.17 – 0.22	0.16 – 0.20
2022	94.0 – 95.5	2.6 – 3.5	0.78 – 1.11	0.23 – 0.37	0.21 – 0.30

По данным, переданным предприятиями, по методике баланса углерода были рассчитаны коэффициенты выбросов для каждого предприятия и для каждого года, для которого данные были представлены предприятиями. В результате расчетов получены 68 значений коэффициентов выбросов CO_2 от предприятий. Полученные значения характеризуются широким диапазоном: от 0.36 до 1.24 т CO_2/т произведенного метанола. При этом значения коэффициентов выбросов для каждого предприятия при условии отсутствия модернизации или ввода новых мощностей производства остаются стабильными для всего периода времени. Таким образом, значения коэффициентов выбросов определяются технологиями производства метанола, применяемыми на предприятиях.

На рис. 2 представлена гистограмма распределения полученных расчетных значений коэффициентов выбросов CO_2 для всех входящих в исследование предприятий для всего периода времени (1995-2022 гг.).

Минимальные значения коэффициентов выбросов (0.36-0.39 т CO_2/т метанола) характерны для новых предприятий (год запуска производства 2011-2016 гг.), использующих технологии паровой, паровой и паровоздушной, паровой и парокислородной конверсии метана с установками адиабатического предриформинга.

Несколько более высокими (0.45-0.61 т CO_2/т метанола) коэффициентами выбросов характеризуются производства, использующие следующие технологии:

– паровая конверсия метана и парциальное окисление метана кислородом;

– совместное производство аммиака и метана, паровая конверсия метана с установкой вторичного риформинга.

Предприятия, использующие технологии паровой и пароуглекислотной конверсии метана, характеризуются коэффициентами выбросов CO_2 от 0.64 до 0.86 т CO_2/т метанола. Одно из предприятий имеет аномально высокие коэффициенты выбросов – от 1.03 до 1.24 т CO_2/т метанола для разных лет своей работы.

Предприятие, использующее в качестве сырья синтез-газ от производства ацетилена, характеризуется такими же коэффициентами выбросов, как и предприятия, использующие технологию паровой конверсии метана.

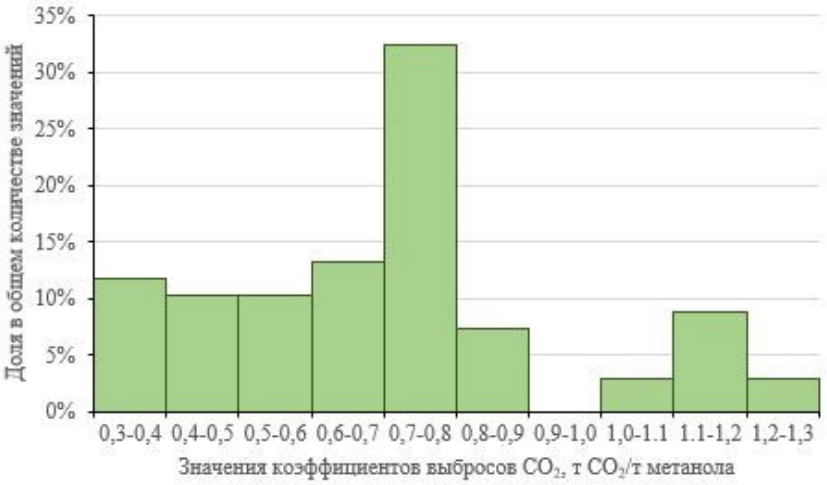

Рисунок 2. Гистограмма распределения расчетных значений коэффициентов выбросов CO_2 на российских предприятиях-производителях метанола в период 1995-2022 гг.

Figure 2. Bar chart distribution of calculated CO_2 emission factors for Russian methanol producing enterprises in 1995-2022

Для предприятий, использующих сходные технологии, полученные в ходе работы коэффициенты выбросов имеют близкие значения. Среднеквадратичное отклонение от средних значений коэффициентов выбросов для таких предприятий не превышают 10%.

Результаты оценки выбросов CO_2 от предприятий, использующих различные технологии производства метанола, представлены в табл. 3.

В руководстве МГЭИК (IPCC, 2006) представлены 2 коэффициента выбросов CO_2 от производства метанола, которые могут быть сопоставлены с полученными в результате настоящего исследования:

1. Коэффициент выбросов для технологии паровой конверсии природного газа без установки предварительного риформинга (0.67 т CO_2/т метанола) на 10% ниже полученного нами коэффициента выбросов для этой технологии (0.746 т CO_2/т метанола);

2. Коэффициент выбросов для технологии паровой конверсии природного газа с установкой предварительного риформинга (0.497 т CO_2/т метанола) на 31% выше полученного нами для той же технологии (0.378 т CO_2/т метанола).

Таблица 3. Расчетные коэффициенты выбросов CO_2 от предприятий-производителей метанола, использующих различные технологии производства

Table 3. Estimated CO_2 emission factors from methanol producing enterprises using various production technologies

Технология производства метанола	Среднее значение коэффициента выбросов, т CO_2/т метанола	Среднеквадратичное отклонение, т CO_2/т метанола
Паровая, паровая и паровоздушная, паровая и парокислородная конверсии метана с предварительным риформингом	0.378	± 0.013 (±3.4%)
Паровая конверсия метана и парциальное окисление метана кислородом; Совместное производство аммиака и метанола, паровая конверсия метана с установкой вторичного риформинга	0.515	± 0.045 (±8.7%)
Паровая и пароуглекислотная конверсия метана	0.746	± 0.069 (±9.2%)
Паровая конверсия метана	1.160*)	± 0.060 (±5.2%)

*) Единственное предприятие с аномально высоким средним значением коэффициента выбросов

Такая относительно большая разница может быть связана с тем, что коэффициенты выбросов МГЭИК получены по результатам исследования, опубликованного в 1996 г., в то время как полученные нами коэффициенты выбросов рассчитаны для предприятий, запущенных после 2010 г.

В доступной авторам научно-технической литературе данные по коэффициентам выбросов CO_2 от производства метанола отсутствуют.

В специализированной базе данных коэффициентов выбросов МГЭИК (доступна в интернете по адресу: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB) представлены только коэффициенты выбросов из руководства МГЭИК (IPCC, 2006). В других авторитетных базах данных (CORINAIR, EPA) коэффициенты выбросов при производстве метанола не представлены.

Разработка национальных коэффициентов выбросов CO_2 от производства метанола в Российской Федерации

Полученные расчетные коэффициенты выбросов предприятий были использованы для разработки национальных коэффициентов выбросов CO_2 от производства метанола в Российской Федерации. Национальные коэффициенты выбросов рассчитывались для 1995, 2000, 2005, 2010, 2015-2022 гг. как средневзвешенное по производству метанола значение коэффициентов

выбросов отдельных предприятий. Доля предприятий, коэффициенты выбросов которых были использованы для расчета национальных коэффициентов выбросов CO_2 от производства метанола, в производстве метанола в стране изменяется от 51% в 1995 г. до 93% в 2022 г. Результаты расчетов национальных коэффициентов выбросов CO_2 от производства метанола представлены в табл. 4.

Таблица 4. Производство метанола в Российской Федерации, средний удельный расход природного газа на его производство и значение национального коэффициента выбросов

Table 4. Methanol production in the Russian Federation, the average specific consumption of natural gas for its production and the national emission factor

Год	Производство метанола в стране по данным Росстата, тыс. тонн	Производство метанола на предприятиях, передавших данные для расчета национальных коэффициентов, тыс. тонн (доля от производства в стране, %)	Средний удельный расход природного газа на производство метанола в стране по данным предприятий*), ст. $м^3$/т метанола	Значение национального коэффициента выбросов CO_2 от производства метанола, т CO_2/т метанола
1995	1522.9	782.8 (51)	1183.8	0.801
2000	1914.1	1122.2 (59)	1143.6	0.731
2005	2943.1	1987.0 (68)	1150.4	0.745
2010	2941.9	2163.5 (74)	1132.3	0.722
2015	3598.3	2535.9 (70)	1071.0	0.656
2016	3658.8	2769.6 (76)	1082.1	0.675
2017	4081.2	3582.5 (88)	1067.8	0.641
2018	4387.9	3878.3 (88)	1065.7	0.637
2019	4529.3	4019.8 (89)	1054.4	0.615
2020	4421.0	3920.9 (89)	1034.1	0.585
2021	4507.1	4065.1 (90)	1034.4	0.586
2022	4509.2	4186.8 (93)	1026.9	0.598

*) Средний удельный расход природного газа рассчитывался только для предприятий, использующих природный газ в качестве сырья. Измеряется в $м^3$ при стандартных условиях.

Неопределенность оценки национальных коэффициентов выбросов при использовании балансового метода по данным отдельных предприятий, согласно (IPCC, 2006), составляет ±5%.

Полученные результаты показывают, что в 1995 г. коэффициент выбросов CO_2 в целом по отрасли существенно (на 20%) превосходил коэффициент выбросов МГЭИК по умолчанию (0.67 т CO_2/т метанола) (IPCC, 2006). За период с 1995 г. по 2020 г. коэффициент выбросов диоксида углерода от производства метанола в стране значительно (на 25-27%) снизился и в 2020-2022 гг. достиг уровня в 0.585-0.598 т CO_2/т метанола. В 2020-2022 гг. значения полученного национального коэффициента выбросов являются стабильными и на 11-13% ниже коэффициента выбросов МГЭИК по умолчанию. Такое существенное снижение выбросов CO_2 от производства метанола (на 25-27%)

за период времени с 1995 г. по 2022 г. связано с модернизацией существующих предприятий и строительством новых производств, использующих современные технологии.

При отсутствии существенных изменений в отрасли, связанных с вводом новых мощностей по производству метанола, модернизацией и закрытием старых, средний коэффициент выбросов CO_2 за 2020-2022 гг., равный 0.59 т CO_2/т метанола может быть использован для оценки выбросов от производства метанола в стране в ближайшие годы.

Полученные национальные коэффициенты выбросов были использованы для оценки выбросов CO_2 от производства метанола в 1990-2022 гг. На рис. 3 представлено сравнение результатов оценки выбросов CO_2 от производства метанола по методике 1 уровня МГЭИК (Национальный доклад, 2023) с использованием коэффициента выбросов по умолчанию и оценки выбросов с использованием полученных национальных коэффициентов.

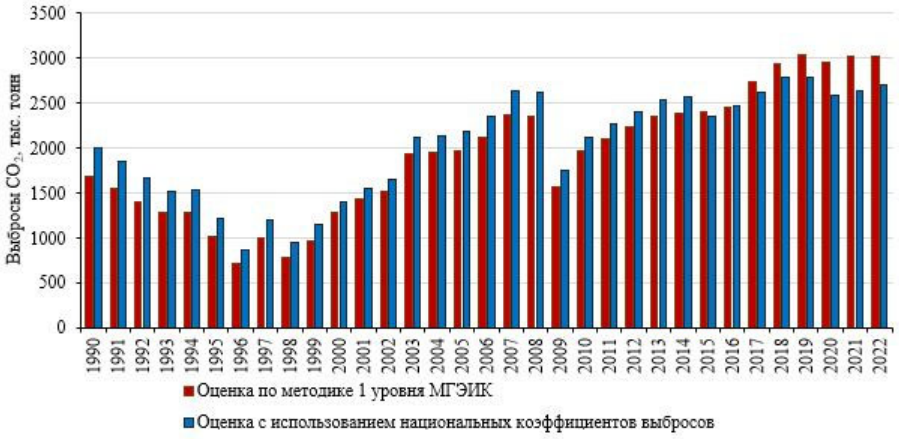

Рисунок 3. Сравнение результатов оценки выбросов CO_2 от производства метанола по методике 1 уровня МГЭИК и с использованием разработанных национальных коэффициентов выбросов, Гг

Figure 3. Comparison of CO_2 emission estimations from methanol production using the IPCC Tier 1 methodology and using developed national emission factors, Gg

Выводы

Коэффициенты выбросов диоксида углерода оценивались по методике МГЭИК, основанной на балансе углерода, введенного в производственный процесс с сырьевыми материалами и выходящего из процесса в составе нефтехимических продуктов. В расчетах использовались данные предприятий за 1995, 2000, 2005, 2010, 2015-2022 гг. Доля предприятий, данные которых использованы для оценки национальных коэффициентов выбросов, в производстве метанола в стране составляет от 51% в 1995 г. до 93% в 2022 г.

Полученные в результате расчетов коэффициенты выбросов для отдельных предприятий характеризуются широким диапазоном значений: от 0.36 до 1.24 т CO_2/т произведенного метанола. При этом значения коэффициентов выбросов для одного предприятия при условии отсутствия модернизации или ввода новых мощностей производства остаются стабильными для всего периода времени.

Современные предприятия, использующие технологии паровой, паровой и паровоздушной, паровой и парокислородной конверсии метана с установками адиабатического предриформинга характеризуются минимальными значениями коэффициента выбросов (0.36-0.39 т CO_2/т метанола); более высокие значения (0.45-0.61 т CO_2/т метанола) характерны для предприятий, использующих технологии паровой конверсия метана и парциального окисление метана кислородом и паровой конверсия метана с установкой вторичного риформинга; максимальные значения коэффициентов выбросов (0.64-0.86 т CO_2/т метанола) характерны для предприятий, использующих технологии паровой и пароуглекислотной конверсии метана.

Для предприятий, использующих сходные технологии, полученные в ходе работы коэффициенты выбросов имеют близкие значения. Среднеквадратичное отклонение от средних значений коэффициентов выбросов для таких предприятий не превышают 10%.

Национальные коэффициенты выбросов рассчитывались для 1995, 2000, 2005, 2010, 2015-2022 гг. как средневзвешенное по производству метанола значение коэффициентов выбросов отдельных предприятий. За период с 1995 г. по 2020 г. национальный коэффициент выбросов CO_2 от производства метанола существенно (на 25-27%) снизился с 0.801 т CO_2/т метанола в 1995 г. до 0.585-0.598 т CO_2/т метанола в 2020-2022 гг.

Полученные национальные коэффициенты выбросов CO_2 от производства метанола отражают технологические особенности российских предприятий и существенно снижают неопределенность оценки выбросов от производства метанола в национальном кадастре с 30% (методика 1 уровня МГЭИК) до 10%.

При отсутствии существенных изменений в отрасли, связанных с вводом новых мощностей по производству метанола, модернизацией и закрытием старых, средний коэффициент выбросов CO_2 за 2020-2022 гг., равный 0.59 т CO_2/т метанола, может быть использован для оценки выбросов от производства метанола в стране в ближайшие годы.

Благодарности

Авторы выражают благодарность к.ф.-м. н. А.И. Нахутину за помощь, оказанную при проведении исследований и подготовке статьи.

Работа выполнена в рамках проекта "Российская система климатического мониторинга" (ВИП-ГЗ) и темы 3.3 плана НИТР Росгидромета на 2023 год.

Список литературы

НДК (2023) *Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2021 гг. в 2 томах,* М.

Сосна, М.Х., Заволокин, К.Х., Хаманова, А.А. (2018) Повышение эффективности производства метанола путем утилизации продувочного газа, *НефтеГазоХимия*, № 3, с. 35-38.

VYGON consulting (2019) *Газохимия России. Часть 1. Метанол, пока только планы.* М., ООО «Выгон колсантинг», 52 с.

IPCC (2006) 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, in Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (eds), Published, IGES, Japan.

References

NDK (2023) *Nacional'nyj doklad o kadastre antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom za 1990-2021 gg. v 2 tomah* [National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990-2021 in 2 volumes], Moscow, Russia.

Sosna, M.H., Zavolokin, K.H., Hamanova, A.A. (2018) Povyshenie effektivnosti proizvodstva metanola putem utilizacii produvochnogo gaza. [Improving the efficiency of methanol production by recycling purge gas] *NefteGazoHimiya – Petrochemistry*, no. 3, pp. 35-38.

VYGON consulting (2019) *Gazohimiya Rossii, Chast' 1. Metanol, poka tol'ko plany* [Gas chemistry of Russia. Part 1. Methanol, only plans so far.], OOO VYGON consulting, Moscow, Russia.52 p.

IPCC (2006) 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, in Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (eds), Published, IGES, Japan.

Статья поступила в редакцию (Received):25.12.2023.
Статья доработана после рецензирования (Revised): 27.05.2024).

Для цитирования / For citation

Аникушин, Б.М., Бакурова, Э.Ю., Валов, С.В., Давлетшина, А.Р., Заволокин, К.А., Имшенник, Е.В., Сосна, М.Х. (2024) Разработка национальных

коэффициентов выбросов CO_2 от производства на предприятиях Российской Федерации, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXV, № 1-2, с. 73-88, doi:10.21513/0207-2564-2024-1-2-73-88.

Anikushin, B.M., Bakurova, E.Yu., Valov, S.V., Davletshina, A.R., Zavolokin, K.A., Imshennik, E.V., Sosna, M.H. (2024) Developing of national CO_2 emission factors from methanol production at the enteprises of the Russian Federation, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXV, no. 1-2, c. 73-88, doi:10.21513/0207-2564-2024-1-2-73-88.