DOI: 10.21513/0207-2564-2024-1-2-89-100 УДК 504.3.054

Динамика коэффициента выбросов диоксида углерода от производств этилена в России в 1990-2022 годы

М.В. Михайлов, А.В. Ковешников, Н.И. Зеленцова, Е.В. Илларионова, С.Ю. Васьков*

ООО «ВНИИОС-наука»,
Россия, 109240, Москва, ул. Николоямская, 13 с. 2

*Адрес для переписки: *mmv@vniios-n.ru*

Реферат. С начала XX века наблюдается чрезмерное усиление парникового эффекта, вызванное постоянно растущими объемами сжигаемого ископаемого топлива. Изменения в климатической системе Земли обусловлены ростом атмосферной концентрации основных парниковых газов (углекислого газа, метана, озона, оксида азота и др.) антропогенного происхождения. В 2015 году на конференции ООН по климату в рамках Рамочной конвенции ООН по изменению климата страны-участники подписали Парижское соглашение, целью которого является удержание ежегодного прироста глобальной средней температуры планеты в пределах 2.0°С. Чтобы достигнуть данной цели, участники Парижского соглашения предпринимают максимум усилий для снижения выбросов парниковых газов, включая создание систем учета выбросов парниковых газов на национальном, региональном и отраслевом уровнях.

В процессе научного исследования при анализе технологических схем получения этилена выявлены основные источники выбросов диоксида углерода от нефтехимических предприятий России, владеющих установками пиролиза с различными типами промышленных печей пиролиза и перерабатываемого сырья.

В работе представлены результаты расчетов ежегодных выбросов CO_2 и коэффициентов выбросов CO_2 от производств этилена в России за период с 1990 по 2022 года на основании фактических материальных балансов и теоретических расчетов количества выработанных предприятием продуктов в зависимости от вида перерабатываемого сырья с применением специализированного программного обеспечения для расчета процесса пиролиза. Показана стабильная динамика сокращения суммарного годового коэффициента выбросов диоксида углерода за рассмотренный период.

Рассчитанные коэффициенты выбросов CO_2 по статистическим производственным количественным показателям оказались ниже значения коэффициента Межправительственной группы экспертов по изменению климата.

Ключевые слова. Пиролиз углеводородов, этилен, диоксид углерода, парниковые газы, антропогенные выбросы.

Dynamics of the carbon dioxide emission factor from ethylene production in Russia in 1990-2022

M.V. Mikhailov, A.V. Koveshnikov, N.I. Zelentsova, E.V. Illarionova, S.Yu. Vaskov*

LLC «VNIIOS-science»,
Bld. 13, p. 2, Nikoloyamskaya str., 109240, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: *mmv@vniios-n.ru*

Abstract. Since the beginning of the 20th century, there has been an excessive increase in the greenhouse effect, caused by increasing volumes of fossil fuels burned. Changes in the Earth's climate system are due to an increase in the atmospheric concentration of the main greenhouse gases (water vapor, carbon dioxide, methane, ozone, nitrogen oxide, etc.) of anthropogenic origin. In 2015, the UN signed the Paris Agreement, the purpose of which was to keep the annual increase in the global average temperature of the planet within 2 degrees. In order to achieve this goal, the participating States are making every effort to reduce greenhouse gas emissions, including the creation of greenhouse gas emission accounting systems at the national, regional and sectoral levels.

In the process of scientific research during the analysis of technological schemes for the production of ethylene there were revealed the main sources of carbon dioxide emissions from petrochemical enterprises in Russia that own pyrolysis units with various types of industrial pyrolysis furnaces and processed raw materials.

The research presents the results of calculations of annual CO_2 emissions and emission factors by ethylene plants in Russia for the period from 1990 to 2022 based on actual material balances and theoretical calculations of the quantity of products produced by the enterprise, depending on the type of processed raw materials using specialized software for calculating the pyrolysis process. The stable dynamics of the reduction of the total annual carbon dioxide emission factor for the considered period is presented.

The calculated CO_2 emission factors by statistical production quantitative indicators turned out to be lower than the factor of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Keywords. Hydrocarbon pyrolysis, ethylene, carbon dioxide, greenhouse gases, anthropogenic emissions.

Введение

Основной причиной антропогенного накопления углекислого газа в атмосфере является сжигание ископаемых видов топлива (уголь, нефть, природный газ и т.д.) для производства энергии промышленными предприятиями для обеспечения технологических процессов и в двигателях внутреннего сгорания наземных, воздушных и водных транспортных средств (Фёдоров и др.,

2022). Кроме того, выбросами CO_2 сопровождаются некоторые промышленные процессы, связанные с использованием углеродосодержащего сырья. Накопление CO_2 в атмосфере приводит к парниковому эффекту, способствуя глобальному изменению климата (Щербань, 2021).

Согласно Федеральному закону от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», распоряжению Правительства РФ от 1 марта 2006 г. № 278-р, а также Приказу Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 25.04.2022 № 298 «Об утверждении порядка подготовки кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов» специалистами Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ») разрабатываются общие и детализированные оценки выбросов и абсорбции парниковых газов (ПГ) на территории Российской Федерации. В настоящее время для оценки выбросов диоксида углерода от производств этилена используется коэффициент выбросов по умолчанию, предоставленный Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Производство этилена является одной из ведущих частей нефтехимической отрасли в России. На 2024 год на территории Российской Федерации эксплуатируется 11 нефтехимических предприятий (общей мощностью более 4 млн тонн этилена в год) с установками пиролиза:

– 7 предприятий в Приволжском федеральном округе;
– 1 предприятие в Северо-Кавказском федеральном округе;
– 1 предприятие в Уральском федеральном округе;
– 2 предприятия в Сибирском федеральном округе.

В активной фазе строительства находятся 3 нефтехимических предприятия с установками пиролиза (в Приволжском, Сибирском, Дальневосточном федеральных округах), на стадии проектирования – 2 предприятия (в Северо-Западном и Сибирском федеральных округах).

Сырьем для получения этилена методом пиролиза являются различные углеводороды и их смеси от этана до гидроподготовленных атмосферных газойлей.

На 2022 год по данным ООО «ВНИИОС-наука» за последние 20 лет структура сырья пиролиза в РФ практически неизменна: 46-54 % бензинового сырья, 39-49 % газового сырья, 5-9 % этана. На большинстве этиленовых производств на печах пиролиза перерабатывается нескольких типов сырья.

Для уточнения в национальном кадастре оценок выбросов диоксида углерода от объектов нефтехимии в Российской Федерации, компанией ООО «ВНИИОС-наука» было произведено исследование и расчет выбросов CO_2 за период с 1990 по 2022 годы от предприятий России, эксплуатирующих промышленные установки производства мономеров с различными типами крупнотоннажных печей пиролиза.

Полученные в рамках работы результаты позволят оценить целесообразность использования коэффициента выбросов, установленного МГЭИК, для оценки выбросов диоксида углерода от производств этилена на территории

Российской Федерации и исключить систематические погрешности, связанные с принятыми для России географическим поправочным коэффициентом и видом сырья.

Основы процесса пиролиза и получения этилена

Распространенный и единственный используемый в промышленности РФ способ получения этилена – пиролиз углеводородного сырья. Пиролиз – термический паровой крекинг углеводородного сырья (этана, широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ), бензиновых фракций) – эндотермический процесс, который осуществляется в змеевиках трубчатых печей при температурах 750-880°С в присутствии водяного пара. В результате протекания реакций образуется смесь углеводородов различного строения (пирогаз), из которого выделяют этилен и другие побочные продукты (пропилен, пироконденсат, смолу пиролизную тяжелую, бутилен-бутадиеновую (ББФ) и метано-водородную фракции (МВФ)). На состав пирогаза (в том числе количество получаемых этилена и метана) влияет ряд факторов – состав сырья, тип печи пиролиза (конфигурация радиантного змеевика и время пребывания в реакционной зоне), температура пиролиза, давление в радиантном змеевике, количество пара разбавления, расход сырья. Дополнительно на количество выбросов CO_2 влияет термический коэффициент полезного действия (КПД) печи пиролиза.

Основное влияние на количество продуктов пиролиза оказывает состав сырья (табл. 1). Сырьевая база этиленовых производств определяется первоначальным проектом или может быть изменена при реконструкции предприятия. Трубчатые печи могут перерабатывать как жидкое, так и газообразное сырье, при этом переход от одного типа сырья к другому не требует каких-либо кардинальных изменений в конструкции печного блока. В случае переработки на одном производстве нескольких типов сырья (например, ШФЛУ и бензина) их соотношение редко существенно меняется в течение года и зависит от текущих рыночных или экономических показателей. Продукты пиролиза с печного блока, состоящего из нескольких печей пиролиза, осуществляющих процесс на разном сырье, поступают в коллектор пирогаза, откуда одним потоком направляются в цех газоразделения.

Выход метана (за проход) варьируется от 9.66% масс. для чистого этана до 23.9% масс. для пропана. Для более тяжелых сырьевых углеводородов выход метана лежит в пределах указанного выше диапазона.

Большая часть российских пиролизных производств ориентирована на получение этилена и пропилена, что предполагает ведение процесса пиролиза при высоких температурах порядка 830-860°С. При пиролизе этана выход этилена на ~28% абс. выше, чем при пиролизе бензина, и на ~22% абс. выше, чем при пиролизе пропана или бутана.

Таблица 1. Содержание этилена и МВФ в пирогазе, полученного пиролизом различного сырья

Table 1. Ethylene and IMF content in pyrolysis gas obtained by pyrolysis of various raw materials

Продукты, % масс.	Этан	Пропан	н-Бутан	Изобутан	ШФЛУ	Бензин
Температура пиролиза, °С	845	850	850	760	850	840
C_2H_4	54.80	33.50	31.00	2.70	32.25	26.40
H_2	5.72	1.40	0.80	0.70	1.10	1.10
CH_4	9.66	23.90	20.40	12.80	22.15	15.30
$\sum H_2+CH_4$ (МВФ)	15.38	25.30	21.40	13.50	23.25	16.40

Основные источники выбросов CO_2 на этиленовых производствах

Основными источниками углекислого газа на производствах пиролиза являются дымовые газы печей пиролиза, нагревательных печей газа регенерации и выбросы от сжигания углеводородов на факеле.

Полученная при разделении пирогаза метано-водородная фракция используется как топливный газ в печах пиролиза и нагревательных печах. Избыток МВФ сжигается на факеле или используется в качестве топлива на смежных производствах. В случае нехватки топливного газа на производство этилена подается природный газ или другой газ из топливной сети предприятия. Печи пиролиза являются главным источником выбросов CO_2, а получаемый в процессе производства мономеров метан (в составе МВФ) – основным ресурсом синтеза диоксида углерода.

Расход стороннего топливного газа (поступающего на производство, а не вырабатываемого в процессе производства) крайне мал и практически не оказывает влияния на суммарный выброс CO_2 от предприятия при нормальном режиме работы ввиду того, что выработка метано-водородной фракции больше необходимой потребности в топливе. В качестве стороннего топливного газа этиленовые производства используют природный газ.

Потребность в дополнительном, стороннем топливе для печей пиролиза может возникнуть лишь во время пуска производственной линии (продолжительность 4-7 суток 1 раз в год), при значительном дефиците сырья пиролиза или при пиролизе этана, при котором создаётся дефицит топливного газа ввиду низкого выхода метано-водородной фракции (Салохиддинов, 2023).На предприятиях, имеющих в своей сырьевой корзине большую долю этановой фракции 45-70%, выход этилена выше на 20-30%, а выход метана ниже, чем при переработке ШФЛУ (сжиженных углеводородных газов (СУГ)) или бензина. В случае переработки на предприятиях исключительно этановой фракции создается дефицит топливного газа, который компенсируется вовлечением стороннего природного газа. В России переработка этана осу-

ществляется только в составе смешанного сырья (этан и СУГ). Количество вырабатываемого МВФ в процессе переработки СУГ исключает возникающий дефицит топливного газа при пиролизе этана, поэтому потребление дополнительного природного газа в течение годового цикла производства незначительно. На основании низких расходных норм импортируемого газа в сравнении с МВФ, поступающей в топливную систему с блока газоразделения, природный газ не учитывается в расчете суммарных выбросов CO_2 от производств этилена при нормальном режиме работы.

На факельные системы предусмотрены сбросы топливного газа при образовании его избытка или при проведении регламентных операций технологического процесса и из технологических установок от предохранительных клапанов в аварийных ситуациях.

Расчет коэффициентов выбросов CO_2 на установках пиролиза

При сжигании метано-водородной фракции образование диоксида углерода возможно лишь из метана.

Содержание метана в МВФ на всех этиленовых производствах различается и в среднем варьируется в пределах 90-97% масс. Для определения количества метана, ежегодно сжигаемого на предприятии с установкой пиролиза, учитывался расход МВФ, вырабатываемой конкретным предприятием, и коэффициент содержания метана для каждого предприятия:

$$F_{CH_4} = F_{\text{МВФ}} \cdot k_{CH_4}, \qquad (1)$$

где F_{CH_4} – расход метана, сжигаемого на этиленовом производстве, т г$^{-1}$ $F_{\text{МВФ}}$ – расход метано-водородной фракции, вырабатываемой этиленовым производством, т г$^{-1}$; k – коэффициент содержания метана в метано-водородной фракции, массовая доля.

Количество углекислого газа, полученного в процессе сжигания метана за год рассчитывается по формуле:

$$F_{CO_2} = \frac{F_{CH_4} \cdot M_{CO_2}}{M_{CH_4}}, \qquad (2)$$

где F_{CO_2} – количество углекислого газа, полученного при сжигании метана на этиленовом производстве, т г$^{-1}$; M_{CO_2} – молярная масса углекислого газа, г моль$^{-1}$; M_{CH_4} – молярная масса метана, г моль$^{-1}$.

Коэффициент выбросов CO_2 согласно руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК рассчитывается как отношение количества диоксида углерода к количеству полученного этилена:

$$K = \frac{F_{CO_2}}{F_{C_2H_4}}, \quad (3)$$

где K – коэффициент выбросов CO_2 от годового производства этилена, тонна диоксида углерода на тонну этилена (т CO_2/т C_2H_4); $F_{C_2H_4}$ – количество этилена, полученного на нефтехимическом предприятии с установкой пиролиза, т год$^{-1}$.

Коэффициент выбросов CO_2 от производств этилена Российской Федерации за период 1990-2022 гг.

В процессе исследовательской работы обработан массив статистических данных по работе тринадцати этиленовых производств России за 32 года (2 нефтехимических предприятия прекратили производство этилена после 1994 г.), включающий количество и тип перерабатываемого сырья, выработку этилена и метано-водородной фракции, состав МВФ. Расчет коэффициентов выбросов CO_2 проведен по статистическим данным для каждого этиленового производства и для всей отрасли производства этилена в России (национальный коэффициент выбросов). При отсутствии данных по выработке МВФ на отдельных производствах были произведены теоретические расчеты количества выработанной производством метано-водородной фракции в зависимости от вида перерабатываемого сырья с применением программы ТЕРРА-СУГ МБ (специализированное программное обеспечение собственной разработки ООО «ВНИИОС-наука» для расчета процесса пиролиза).

Национальные коэффициенты выбросов CO_2 для всех этиленовых производствв РФ за период 1990-2022 гг. варьируются от 1.23 до 1.69т CO_2/ т C_2H_4 (рис. 1). В рассматриваемый период наблюдается тренд на снижение коэффициента за счет постепенного повышения эффективности этиленовых производств.

Причиной значительного роста значения коэффициента в период с 1991 по 1993 годы являются общее снижение мощности производства на фоне происходивших экономических событий и переход большинства этиленовых производств на газовое сырье (ШФЛУ или СУГ). Снижение и стабилизация значения коэффициента в период 1993-1998 гг. обусловлены нормализацией режима работы производства этилена в условиях сниженной нагрузки по сырью. Рост значения коэффициента в 1999 г. связан с изменением нагрузки производств этилена по сырью: в период с 1999 по 2006 год экономическая обстановка в стране стабилизировалась и этиленовые производства постепенно вернулись к объемам переработки сырья, сопоставимым с 1990 годом. В период с 2006 по 2014 гг. произошло четыре аварии на трёх крупнотоннажных этиленовых производствах, во время которых значительно сокращалась выработка этилена, влияющая на годовой коэффициент выбросов от этиленовых производств. Причиной минимума в 2010 г. является появление данных от крупнотоннажного этиленового производства, чья сырьевая корзина на тот

год почти на 70 % состояла из этана, переработка которого обеспечивает высокую выработку этилена и низкий выход МВФ.

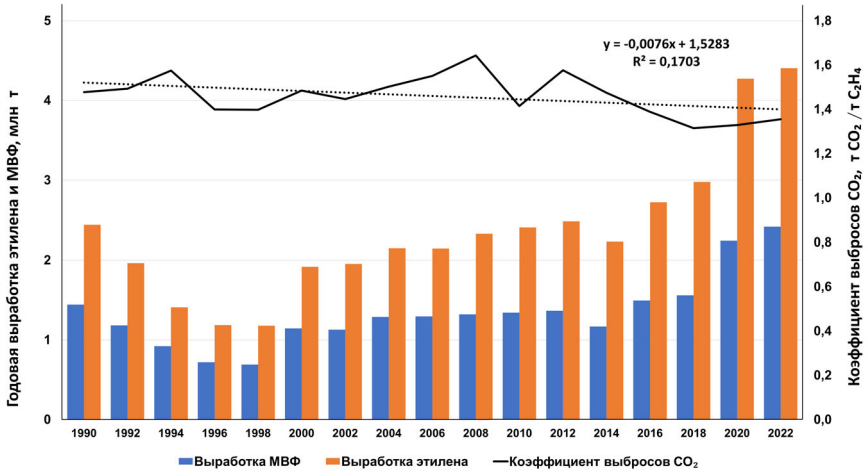

Рисунок 1. Динамика изменения годового коэффициента выбросов от этиленовых производств в 1990-2022 гг. и количество выработанного этилена и МВФ

Figure 1. Dynamics of changes in the annual emission factor from ethylene production in 1990 to 2022 and the quantity of produced ethylene and methane-hydrogen fraction (HMF)

Снижение значения годового коэффициента после 2012 года обусловлено незначительными изменениями в сырьевых корзинах производств этилена за указанный период – доля переработки этана увеличилась с 7% до 9%, ШФЛУ (СУГ) – с 39% до 40%, жидких бензиновых фракций уменьшилась с 54% до 51%. Рост значения коэффициента после 2019 г. является следствием введения в эксплуатацию новой установки в Уральском Федеральном округе и проведением реконструкций по наращиванию мощностей уже работающих производств.

Основываясь на полученной выборке коэффициентов выбросов CO_2 в период 1990-2022 гг., среднегодовой коэффициент выбросов диоксида углерода от производств этилена в России составил 1.49 т CO_2/т C_2H_4.

При отсутствии существенных изменений в отрасли (ввод в эксплуатацию новых крупнотоннажных этиленовых производств, аварийных ситуаций) и сохранении структуры текущей сырьевой корзины при дальнейшей оценке выбросов и абсорбции парниковых газов на территории Российской Федерации от этиленовых производств следует использовать коэффициент выбросов CO_2 для 2022 года – 1.36 т CO_2/т C_2H_4.

В случае увеличения доли этана в сырьевой корзине этиленовых производств необходимо провести корректировку среднегодового коэффициента выбросов диоксида углерода, основываясь на статистических данных производств со схожей структурой сырья.

Для эффективности решений в области климатической политики РФ необходимо осуществлять регулярные мониторинги и расчет выбросов парниковых газов от этиленовых производств, основываясь на фактических данных производств.

Обсуждение полученных результатов

Межправительственной группой экспертов по изменению климата согласно Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов (МГЭИК, 2006) для Российской Федерации коэффициент выбросов CO_2 от производства этилена паровым крекингом (пиролизом) установлен 2.25 т CO_2/т C_2H_4 (1.74т CO_2/т C_2H_4 + 30 %). Для оценки выбросов CO_2 от нефтехимического производства представители МГЭИК из-за отсутствия статистических данных по видам перерабатываемого сырья на всех этиленовых производствах по умолчанию используют коэффициенты выбросов, установленные для каждого континента с конкретным видом перерабатываемого сырья. Согласно МГЭИК сырьём для установок парового крекинга в России служит нафта, а соответствующий ей коэффициент выбросов диоксида углерода равен 1.74т CO_2/т C_2H_4. Чтобы учесть разницу в энергетической эффективности установок парового крекинга для различных стран и регионов дополнительно вводится географический поправочный коэффициент. Для России он составляет 130%, что сопоставимо со странами Африки и Азии.

Проведенные исследования показывают, что среднегодовой коэффициент выбросов диоксида углерода от производств этилена составил 1.49 т CO_2/ т C_2H_4 в период 1990-2022 гг., что на 33.8% ниже установленного МГЭИК коэффициента выброса CO_2 для Российской Федерации. Учитывая диапазон неопределенности для коэффициентов выбросов и данных о деятельности, который составляет ±30 % для производств этилена, рассчитанные коэффициенты выбросов в 72% случаях не вписываются в рамки установленной неопределенности МГЭИК рис. 2).

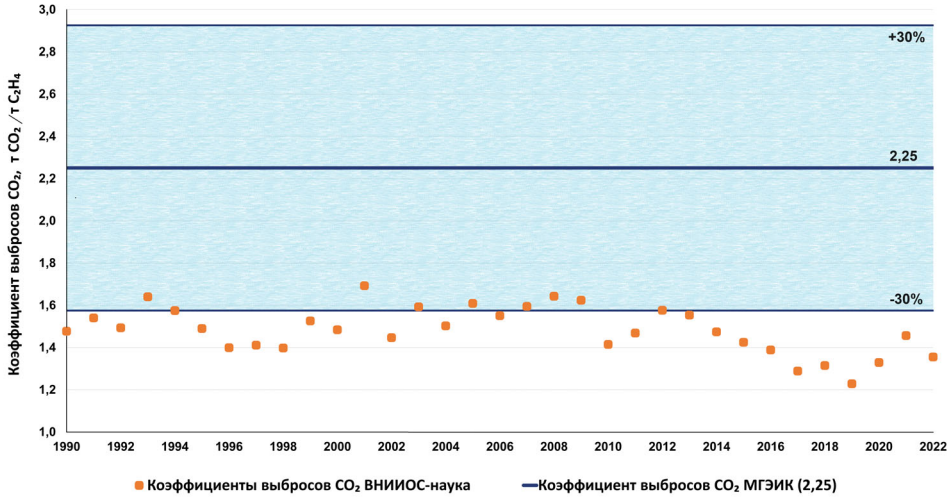

Рисунок 2. Сопоставление расчетных коэффициентов выбросов диоксида углерода от этиленовых производств в 1990-2022 гг. с коэффициентом выбросов CO_2 МГЭИК

Figure 2. Comparison of calculated carbon dioxide emission factors from ethylene plants in 1990 to 2022 with the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) CO_2 emission factor

Расхождения коэффициента выбросов МГЭИК с коэффициентами, полученными в рамках работы на основании фактических данных, указывают на неадекватность коэффициента МГЭИК условиям РФ и на отсутствие необходимости использования предлагаемого МГЭИК коэффициента выбросов CO_2, ввиду его завышенного значения.

Заключение

В ходе исследования были произведены расчеты и анализ динамики изменений коэффициентов выбросов CO_2 для отдельных производств этилена в 1990-2022 гг., а также расчет ежегодных коэффициентов выбросов для всех этиленовых производств с учётом их фактических данных в рассматриваемый период. Показана отрицательная динамика национального коэффициента выброса CO_2 в России за рассматриваемый период.

Среднегодовой коэффициент выбросов диоксида углерода от производств этилена в период 1990-2022 гг. составил 1.49 т CO_2/т C_2H_4, что на 33.8 % ниже коэффициента, рекомендованного МГЭИК.

Полученные результаты исключают систематическую погрешность, связанную с поправочным географическим коэффициентом, и представляются более объективными для проведения расчетных оценок выбросов CO_2 от производства этилена, чем установленные для Российской Федерации коэффициенты выбросов, предлагаемые МГЭИК.

При дальнейшем использовании представленных в работе коэффициентов выбросов CO_2 от этиленовых производств необходимо указывать наименование сектора «Промышленные процессы использования продукции» (ППИП), к которому относятся выбросы от сжигания МВФ, вырабатываемого в процессе производства этилена. В случае потребности производства в дополнительном (стороннем) топливе, образующиеся выбросы CO_2 будут относиться к сектору «Энергетика».

Работа выполнена в рамках проекта "Российская система климатического мониторинга" (ВИП-ГЗ).

Список литературы

Ковешников, А.В.,. Корнеев, М.А., Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ВНИИОС-наука» (2023) *Программа для ЭВМ «ТЕРРАСУГ МБ»*. № 2023610621. заявл. 17.01.2023. опубл. 06.02.2023, аявитель, эектронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности ФИПС, элекронный ресурс, URL: https://www.fips.ru/publication-web/publications/document?type=doc&tab=PrEVM&id=3A327FE5-675A-49A8-B06C-32AB482F356C (дата обращения 26.03.2024).

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата*. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов, т. 1-5.

Салохиддинов, Ф.А. (2023) Анализ основных показателей печей пиролиза, *Аллея науки, электрон. науч. журн*. т. 1, № 6 (81), с. 40-43.

Щербань, А.В.(2021) Парниковый эффект и его воздействие на окружающую среду, *Экономика и экология территориальных образований*, т. 5, № 2, с. 5965.

Фёдоров, В.М., Алтунин, И.В., Фролов, Д.М. (2022) Влияние диоксида углерода антропогенного генезиса на термический режим атмосферы и его изменения, *Жизнь Земли*, т. 44, № 4, с. 402414, Doi: 10.29003/m3115.0514-7468.2022_44_4/402-414.

References

Koveshnikov, A.V., Korneev, M.F. (2023) Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «VNIIOS-nauka» [LLC «VNIIOS-science»] Patent № 2023612578 Russian Federation. *Programma dlya EVM «TERRASUG MB»* [Computer program«ТЕРРАСУГМБ»]: № 2023610621, filed 17.01.2023, application. 06.02.2023 / «VNIIOS-science»] – FIPS: [website], URL: https://www.fips.ru/publication-web/publications/documenttype=doc&tab=PrEVM&id=3A327FE5-675A-49A8-B06C-32AB482F356C (date of the application 26.03.2024).

IPCC (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, The National Greenhouse Gas Inventories Programme*, vol. 1-5.

Salohiddinov, F.A. (2023) Analiz osnovnyh pokazatelej pechej piroliza [Analysis of the main indicators of pyrolysis furnaces], *Alleya nauki* [Alley of Science], electron. scien. journal, vol. 1, no. 6 (81), pp. 40-43.

Fedorov, V.M., Altunin, I.V., Frolov, D.M. (2022) Vliyanie dioksida ugleroda antropogennogo genezisa na termicheskij rezhim atmosfery i ego izmeneniya [Influence of anthropogenic carbon dioxide on the thermal regime of the atmosphere and its changes], *Zhizn Zemli* [Life of the Earth], vol. 44, no. 4, pp. 402-414 (in Russ., abstract in Engl.). doi: 10.29003/m3115.0514-7468.2022_44_4/402-414.

Scherban', A.V. (2021). Parnikovyj effekt i ego vozdejstvie na okruzhayushchuyu sredu [The greenhouse effect and its impacts on environment]. *Ekonomika I ekologiya territorial'nyh obrazovanij* [Economy and ecology of territorial formations], vol. 5, no. 2, pp. 59-65.

Статья поступила в редакцию (Received):05.04.2024.
Статья доработана после рецензирования (Revised): 22.05.2024.

Для цитирования / Forcitation

Михайлов, М.В., Ковешников, А.В., Зеленцова, Н.И., Илларионова, А.В., Васьков С.Ю. (2024) Динамика коэффициента выбросов диоксида угле-

рода от производств, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем,* т. XXXV, № 1-2, с. 89-100, doi:10.21513/0207-2564-2024-1-2-89-100.

Mikhailov, M.V., Koveshnikov, A.V., Zelentsova, N.I., Illarionova, E.V., Vaskov, S.Yu. (2024) Dynamics of the carbon dioxide emission factor from ethylene production in Russia in 1990-2022, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXV, no. 1-2, c. 89-100, doi:10.21513/0207-2564-2024-1-2-89-100.