

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



УДК 621.311.22

DOI:10.30724/1998-9903-2024-26-3-3-15

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ВЫБРОСОВ ТЭСИ КОТЕЛЬНЫХ

Иваницкий М.С.

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Волжском, Россия

ORCID*: <http://orcid.org/0000-0002-8779-5453>, mseiv@yandex.ru

Резюме: АКТУАЛЬНОСТЬ данного исследования заключается в необходимости практической реализации отечественной государственной стратегии экологического развития, позволяющей обеспечить функционирование основных отраслей экономики с низким уровнем выбросов парниковых газов с учетом мировых климатических изменений для постепенного перехода к полной углеродной нейтральности. Природоохранная политика в области охраны окружающей среды направлена на ограничение поступления выбросов парниковых газов в атмосферу посредством разработки и совершенствования организационных и технологических мероприятий. Таким образом, на основе сформированной стратегии энергетические предприятия могут участвовать в проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ с целью определения нормативов допустимых выбросов парниковых газов в атмосферу для котельных установок тепловых электрических станций. ЦЕЛЬ. В работе проанализирована законодательная база, нормативно-технические документы и методические подходы к установлению норм и оценке технологических показателей выбросов парниковых газов в атмосферу для котельных установок. МЕТОДЫ. Расчеты выбросов углекислого газа в атмосферу при работе котельных установок тепловых электрических станций, использующих в качестве топлива каменный и бурый уголь (варианты), выполнены в соответствии с методическими рекомендациями, основанными на балансовых уравнениях, учитывающих теплотехнические характеристики топлива. Массовые и удельные выбросы углекислого газа определены для наиболее распространенных типов углей, используемых на российских ТЭС. РЕЗУЛЬТАТЫ. С учетом состава и низшей теплоты сгорания топлива, входной тепловой мощности (50 МВт и более) и показателей тепловой экономичности ТЭС различного типа рассчитаны массовые и удельные выбросы углекислого газа в пересчете на тонну натурального и условного топлива. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты исследования могут быть использованы на энергетических предприятиях и ТЭС при разработке программы повышения экологической эффективности и обосновании участия в государственном эксперименте по квотированию выбросов, в том числе постепенному переходу к полной углеродной нейтральности процесса производства энергии.

Ключевые слова: экологическая безопасность ТЭС, технологическое нормирование выбросов, массовые и удельные выбросы, индикативные показатели, парниковые газы

Для цитирования: Иваницкий М.С. Технологические нормативы и показатели выбросов ТЭСИ котельных // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т.26. № 3. С. 3-15. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-3-3-15.

TECHNOLOGICAL STANDARDS AND EMISSION INDICATORS THERMAL POWER PLANTS AND BOILER HOUSES

Ivanitskiy M.S.

Volzhsky Branch of the National Research University

«Moscow Power Engineering Institute», Russia

ORCID*: <http://orcid.org/0000-0002-8779-5453>, mseiv@yandex.ru

Abstract: **RELEVANCE** this study is based on the need for the practical implementation of the national state strategy for environmental development, which allows for the functioning of the main sectors of the economy with low greenhouse gas emissions, taking into account global climate change, for a gradual transition to full carbon neutrality. Environmental protection policy in the field of environmental protection is aimed at limiting the entry of greenhouse gas emissions into the atmosphere through the development and improvement of organizational and technological measures. Thus, based on the formed strategy, energy enterprises can participate in conducting an experiment on quotas for emissions of pollutants in order to determine the standards for permissible greenhouse gas emissions into the atmosphere for boiler installations of thermal power plants. **PURPOSE.** The paper analyzes the legislative framework, regulatory and technical documents and methodological approaches to setting standards and evaluating technological indicators of greenhouse gas emissions into the atmosphere for boiler plants. **METHODS.** Calculations of carbon dioxide emissions into the atmosphere during the operation of boiler installations of thermal power plants using coal and natural gas as fuel (options) are performed in accordance with methodological recommendations based on balance equations. Mass and specific carbon dioxide emissions have been determined for the most common types of coal and natural gas used at Russian thermal power plants. **RESULTS.** Taking into account the composition and lower heat of combustion of fuel, input thermal power (50 MW or more) and thermal efficiency indicators of thermal power plants of various types, mass and specific carbon dioxide emissions in terms of a ton of natural and conventional fuel are calculated. **CONCLUSION.** The obtained research results can be used at energy enterprises and thermal power plants in the development of a program to improve environmental efficiency and justify participation in a state experiment on emission quotas, including a gradual transition to full carbon neutrality of the energy production process.

Keywords: environmental safety of thermal power plants, technological regulation of emissions, mass and specific emissions, indicative indicators, greenhouse gases

For citation: Ivanitskiy M.S. Technological standards and emission indicators thermal power plants and boiler houses. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2024; 26 (3): 3-15. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-3-3-15.

Введение (Introduction)

Постепенный переход технологий к полной углеродной нейтральности направлен на формирование энергетическими предприятиями стратегии отсутствия углеродного следа в процессе производства тепловой и электрической энергии. В этой связи в последнее время разработаны и утверждены механизмы государственной стратегии экологического развития, регламентирующие основные пути достижения низких значений углеродоемкости технологического производства, в том числе мероприятий для снижения косвенных выбросов парниковых газов в атмосферу. Отметим, что обеспечение требований по сокращению массовых выбросов парниковых газов на 70% к 2030 году по сравнению с уровнем выбросов 1990 года предлагается осуществить путем разработки и внедрения технических и технологических мер, для которых будут определены эффективные механизмы стимулирования. В связи с этим энергетическими предприятиями должны быть разработаны программы повышения экологической эффективности, предусматривающие возможность выполнения мер по ограничению поступления выбросов парниковых газов в атмосферу. Другим вариантом повышения экологической безопасности ТЭС является участие энергетического предприятия в эксперименте по квотированию выбросов парниковых газов. В реальных условиях участие энергетических предприятий в эксперименте по квотированию выбросов углекислого газа сопровождается техническими и технологическими сложностями. Поэтому снижение углеродного следа посредством

сокращения прямых и косвенных выбросов парниковых газов при производстве электрической и тепловой энергии должно сопровождаться решением организационных вопросов и реализацией режимно-технологических мероприятий, учитывающих возможность внедрения на действующих энергетических предприятиях наилучших доступных технологий. Важным аспектом при этом являются технологические особенности установленного энергетического оборудования и теплотехнические характеристики топлива, которые во многом определяют технологические показатели выбросы парниковых газов для конкретной ТЭС. Утверждение технологических показателей выбросов парниковых газов планируется при актуализации ИТС 38-2022 в 2024 году [4 – 7].

Анализ законодательной базы и нормативно-технических документов, регламентирующих необходимость снижения выбросов парниковых газов в атмосферу при сжигании топлива в котлах ТЭС и котельных показывает, что климатическая политика в Российской Федерации интенсивно развивается, особенно, начиная с 2020 года. В соответствии с требованиями ФЗ №296 от 02.07.2021 года установлены требования по ограничению выбросов парниковых газов в атмосферный воздух, которые регламентируют нормативы предельно допустимых выбросов и требования по реализации климатических проектов на территории России, а также определяют подходы для осуществления регулирования выбросов парниковых газов за счет внедрения на энергетических предприятиях технологических решений на стадии охлаждения продуктов сгорания и режимно-технологических мероприятий на стадии сжигания органического топлива в котельных установках. Для практического внедрения требований ФЗ №296 от 02.07.2021 года разработана и утверждена Приказом Минприроды России № 371 от 27.05.2022 года методика количественного определения объемов выбросов парниковых газов для каждого источника выбросов энергетических предприятий.

В части решения задач достижения углеродной нейтральности разработана Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем парниковых газов до 2050 года. Стратегия определяет сценарии (инерционный, целевой (интенсивный)), которые включают основные направления достижения развития экономики страны с низким уровнем парниковых газов (структурный сдвиг, поглощающую способность, снижение энергоемкости экономики). Определены эффекты от реализации различных сценариев, показатели массовых выбросов и поглощений парниковых газов до 2050 года. Следует отметить, что по данным Национального доклада о кадастре антропогенных выбросов сектор энергетики является основным источником поступления парниковых газов в атмосферу [5, 6].

В работах [8 – 10] рассматриваются технологические мероприятия, направленные на снижение выбросов парниковых газов, которые предусматривают замену угольного топлива природным газом (при наличии технологической и/или экономической целесообразности), использование новых проектных решений конденсационных электростанций, характеризующихся относительно высоким коэффициентом по производству электрической энергии, а также широкое внедрение отечественных парогазовых технологий. Для вышеуказанных решений выполнено определение массовых и удельных выбросов парниковых газов в атмосферу с учетом технических характеристик ТЭС и котельных различных типов, в том числе оценено влияние компенсационных выплат (налога) на выбросы углекислого газа на изменение себестоимости производства тепловой и электрической энергии на ТЭС, тарифа на потребляемые энергетические ресурсы. В ходе исследования установлено, что по некоторым данным, к парниковым газам, образующимся на ТЭС или котельных при сжигании органического топлива, являются водяные пары. В этой связи важным является вопрос определения массовых и удельных выбросов углекислого газа и водяных паров для наиболее распространенных типов углей, используемых в отечественной теплоэнергетике на ТЭС.

Результаты анализа показывают, что наиболее перспективным и относительно малозатратным мероприятием для снижения массовых выбросов парниковых газов в атмосферу является вариант перевода котлов, сжигающих уголь на природный газ. Такой вариант позволит сократить валовые выбросы углекислого газа в атмосферу примерно на 40-50%, что в абсолютном значении составит порядка 60-70 млн. тонн. Кроме того, рассмотрены технологии сжигания природного газа совместно с водородом, а также вариант полного перевода котельных установок на использование в качестве топлива водорода. При этом учет влияния теплоты сгорания водорода, изменение состава продуктов сгорания и нормальной скорости распространения пламени, которая характеризует физико-химические свойства топлива будет оказывать значительное влияние на характеристики теплообмена на поверхностях нагрева котла, что потребует внесения конструктивных и

технических изменений в типовые проектные решения отечественных котельных установок вследствие снижения их показателей тепловой экономичности. Разработанные в настоящее время технологии получения водорода являются высокочрезвычайными, что не позволяет обеспечить его безопасное крупномасштабное производство и, главное, сделать этот процесс производства экономически рентабельным [8].

В работе [11] рассматриваются различные сценарии достижения углеродной нейтральности национальной экономики России посредством применения экстраполяционного подхода к развитию ситуаций роста выбросов парниковых газов и сравнения с данными углеродоемкости ведущих мировых стран. Результаты исследования показали, что полное поглощение парниковых газов биосферой (лесами) в настоящее время практически невозможно. Сравнительные варианты изменения динамики выбросов парниковых газов показывают, что для достижения климатической нейтральности к 2060 году в оптимистичном варианте необходимо обеспечить темп снижения удельных выбросов парниковых газов в атмосферу на уровне 1%/год. Наиболее реальный сценарий достижения климатической нейтральности и перспектив снижения углеродоемкости является вариант, характеризующийся темпом уменьшения массовой эмиссии парниковых газов 0,5%/год при умеренной поглощающей способности лесов за счет выполнения проектов по восполнению лесов и условия создания национальных проектов и решений, обеспечивающих широкомасштабное улавливание и захоронение углерода.

В [12] выполнен анализ технических и технологических решений для снижения выбросов парниковых газов в атмосферу в России и обеспечения климатической нейтральности. Отмечено, что на оценку эмиссии парниковых газов значительное влияние оказывает разброс значений выбросов метана при лесных пожарах. При этом практически не реализуются технологические проекты по созданию установок и систем, позволяющих улавливать метан в больших объемах. Кроме того, следует отметить, что отсутствия совершенной системы пользования лесом и масштабное возникновение лесных пожаров препятствуют выполнению национальных обязательств по ограничению выбросов в атмосферу парниковых газов. Разработка регулируемых государственных подходов в этой части могла способствовать рациональному потреблению энергетических ресурсов, в том числе за счет применения технологий улавливания и утилизации сопутствующих и свалочных газов.

В работе [13] представлен анализ решений, предложенных в результате проведения конференции по изменениям климата в 2021 году, основанных на снижении углеродного следа наиболее энергоемких отраслей мировой экономики, восстановлении лесных массивов, сокращении глобальных выбросов метана, а также ряде вариантов развития мировой энергетики с учетом темпов роста численности населения Земли. На основе расчетных моделей глобального углеродного цикла НИУ МЭИ выполнены оценки ряда сценариев изменения глобального климата с учетом темпов роста населения планеты и потребления энергетических ресурсов. Результаты анализа показали, что выполнения всех предложенных мер в рамках проведения конференции по изменениям климата позволит обеспечить темпы потепления на уровне 1,5 °C при нынешних темпах роста населения планеты и потребления энергетических ресурсов. Следует заметить, что наиболее сложным вопросом является обеспечение декарбонизации наиболее энергоемких отраслей мировой экономики и последовательного достижения ими полной углеродной нейтральности. Оценки показали, что сохранение прежних темпов роста населения планеты может обеспечить безопасный темп роста температуры в пределах 1,8 °C, тем самым, не затрагивая проблему глобальной перестройки всей мировой энергетической инфраструктуры. В ходе расчетов установлено, что в настоящее время темп роста температуры соответствует сценарию, характеризующему предельное значение, равное 2,3 °C, однако, при реализации имеющихся инструментов декарбонизации мировой экономики возможно его ограничение до уровня 2 °C.

Широкое использование новых принципов государственного регулирования негативного влияния объектов теплоэнергетики на окружающую среду на основе технологического нормирования выбросов может быть реализовано с применением инфраструктуры стандартизации парниковых газов, как это показано в работе [14]. Таким образом, для практической реализации данного проекта необходима разработка и внедрение организационных и режимно-технологических мероприятий, основанных на принципах наилучших доступных технологий, на энергетических предприятиях с учетом особенностей технологического процесса, установленного энергетического оборудования и вида используемого топлива. В этой связи рассматриваются различные пути

совершенствования разработанной инфраструктуры для эффективного управления и регулирования выбросов парниковых газов в атмосферу.

Следует отметить, что технологические показатели выбросов, предложенные в ИТС 38-2017 не были утверждены, в 2022 году разработан и введен в действие актуализированный ИТС 38-2022, предусматривающий новые технологические нормативы [1 – 3].

В соответствии с ИТС 38-2022, утвержденные технологические показатели выбросов маркерных веществ, для топливосжигающих установок тепловой мощностью 50 МВт и более, вступили в силу с 01.09.2023 года. Поэтому энергетические предприятия и ТЭС I категории до 31.12.2024 года должны подготовить и направить заявку на получение комплексного экологического разрешения (КЭР). Следует отметить, в соответствии с новыми требованиями при подаче заявки на получение КЭР для таких топливосжигающих установок необходимо разрабатывать ППЭЭ [2, 3].

Необходимо отметить, что основное оборудование действующих ТЭС разделено на 3 возрастные группы в соответствии со сроком ввода в эксплуатацию (первая группа (старое оборудование) – до 31.12.2000, вторая группа – в период с 01.01.2001 по 31.12.2025, третья группа – начиная с 01.01.2026). Таким образом, основные проблемы адаптации оборудования реальных ТЭС к технологическим показателям выбросов согласно ИТС 38-2022 связаны с тем, что загрязняющие атмосферу выбросы большей части топливосжигающих установок, эксплуатация которых начата до 31.12.2000, не соответствуют новым актуализированным требованиям технологических показателей, значения которых более ужесточены по сравнению с ИТС 38-2017 [2].

В этой связи целью работы является анализ законодательной базы, нормативно-технических документов и методических подходов к установлению норм и оценке технологических показателей выбросов парниковых газов в атмосферу для котельных установок, сжигающих органическое топливо.

Научная новизна выполненных исследований заключается в том, что для наиболее распространенных для использования на российских ТЭС и котельных типов каменных, бурых углей и антрацита (всего 80 типов) рассчитаны массовые и удельные выбросы углекислого газа в пересчете на тонну натурального (т $\text{CO}_2/\text{т.н.т.}$) и условного топлива (т $\text{CO}_2/\text{т.у.т.}$).

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что полученные результаты расчета массовых и удельных выбросов углекислого газа и водяных паров с учетом их состава и низшей теплоты сгорания топлива, входной тепловой мощности (50 МВт и более) и показателей тепловой экономичности ТЭС и котельных различного типа могут быть использованы как исходные данные при проведении бенчмаркинга и установлении индикативных показателей выбросов парниковых газов при разработке и актуализации отраслевых информационно-технических справочников.

Практическая значимость полученных результатов состоит в возможности их использования на ТЭС и котельных при обосновании технологических показателей выбросов парниковых газов в атмосферу.

Результаты исследования могут быть использованы энергетическими предприятиями для обоснования участия в государственном эксперименте по квотированию выбросов и разработке ППЭЭ, подготовке углеродной отчетности ТЭС.

Материалы и методы (Materials and methods)

В рамках актуализации ИТС, основанных на принципах НДТ, отраслевой бенчмаркинг способствует определению технологических показателей выбросов парниковых газов в атмосферу, которые должны быть установлены для реализации стратегии экологического развития, позволяющей обеспечить функционирование основных отраслей экономики с низким уровнем выбросов парниковых газов с учетом мировых климатических изменений для постепенного перехода к полной углеродной нейтральности. При этом применение удельных показателей углеродоемкости (бенчмарков) широко используется для оценки экологической безопасности процесса производства тепловой и электрической энергии, так как углеродоемкость определяет величину углеродного следа посредством учета косвенных выбросов парниковых газов в наиболее развитых энергоемких отраслях экономики, потребляющих производимую энергию ТЭС и электростанций других типов, которые образуют прямые выбросы парниковых газов [5, 15].

В соответствии с ФЗ №296 от 02.07.2021 года установлены нормативы предельно допустимых выбросов и требования по реализации климатических проектов в России, в соответствии с которыми будет происходить регулирование выбросов парниковых газов, в том числе за счет технологического сокращения выбросов или увеличения их поглощения

различными экосистемами [2].

Согласно Приказа Минприроды России № 371 от 27.05.2022 года для реализации основных задач ФЗ №296 от 02.07.2021 года установлены методические требования к количественному определению объемов выбросов парниковых газов для каждого источника выбросов. Для количественного определения рассматриваются методы, основанные на данных о деятельности и коэффициентов выбросов, материально-сырьевого баланса, периодических измерений и непрерывном (круглосуточном) мониторинге выбросов парниковых газов.

Расчеты выбросов углекислого газа в атмосферу при работе котельных установок тепловых электрических станций, использующих в качестве топлива уголь и природный газ (варианты), в работе выполнены в соответствии с балансовыми соотношениями, приведенными в РД 153-34.0-02.318-2001, и с учетом методических требований Приказа Минприроды России № 371 от 27.05.2022 года [15]. В этой связи в работе определен перечень наиболее распространенных для использования на ТЭС типов каменных, бурых углей и антрацита (всего 80 типов). С учетом состава и низшей теплоты сгорания топлива, входной тепловой мощности (50 МВт и более) и показателей тепловой экономичности ТЭС различного типа рассчитаны массовые и удельные выбросы углекислого газа в пересчете на тонну натурального ($\text{т CO}_2/\text{т.н.т.}$) и условного топлива ($\text{т CO}_2/\text{т.у.т.}$) (по тепловому эквиваленту 29,3 МДж/кг) с учетом рекомендаций [15]. Расчеты удельных выбросов парниковых газов при сжигании мазута в работе не проводились вследствие того, что доля мазута в топливном балансе российских ТЭС составляет порядка 2 %. Полученные результаты расчетов могут найти применение при обосновании решения для стимулирования российских ТЭС и котельных в части внедрения технологических мер, способствующих снижению выбросов парниковых газов в атмосферу, в том числе постепенному переходу к полной углеродной нейтральности процесса производства энергии [16 – 19].

Обсуждение (Discussions)

Важно отметить, что перевод котельных установок на сжигание водородного топлива в настоящее время невозможен вследствие полного отсутствия или только частичного решения технических задач, которые позволяют безопасного получения, хранения, транспортировки, использования водорода, несмотря на то, что это обеспечит переход на полную углеродную нейтральность топочного процесса. Анализ современных способов сжигания топлива показывает, что в настоящее время существуют технологии добавки водорода к природному газу в объемной доле до 50%. Однако, при сжигании водородного топлива несколько увеличиваются выбросы в атмосферу водяных паров, которые, как было отмечено ранее, по некоторым данным, также является парниковым газом. При этом следует заметить, что вред от выбросов водяного пара в атмосферу значительно меньше, чем от выбросов, образующихся при сжигании органического топлива. Поэтому при использовании в качестве топлива в котельных установках водорода или водородсодержащих газов (в зависимости от варианта реализации технологий сжигания) необходимо разрабатывать и применять технические решения, способствующие снижению выбросов водяных паров в атмосферу [8].

Таким образом, на основе проведенных аналитических исследований показано, что в настоящее время существует ряд организационных и технологических сложностей, затрудняющих переход к полной углеродной нейтральности производства тепловой и электрической энергии. В этой связи значительно усложняется реализация требований ФЗ №195 от 26.07.2019 года в части разработки совершенных экономических и финансовых механизмов стимулирования внедрения технологических мер, способствующих снижению выбросов парниковых газов в атмосферу [2, 4].

На рисунке 1 представлены результаты расчета удельных выбросов CO_2 при сжигании каменного угля (варианты) в котельных установках ТЭС.

Результаты расчета удельных выбросов CO_2 при сжигании угля (варианты) в котельных установках ТЭС представлены на рисунке 2. Выполненные оценки в пересчете на натуральное топливо показывают, что при сжигании бурых углей удельные выбросы углекислого газа соответствуют диапазону 0,926 – 2,006 $\text{т CO}_2/\text{т.н.т.}$, при использовании каменных углей находятся в пределах 1,357 – 2,464 $\text{т CO}_2/\text{т.н.т.}$ При пересчете соответствующих показателей удельных выбросов на условное топливо для варианта применения бурых углей составляют 2,785 – 3,420 $\text{т CO}_2/\text{т.у.т.}$, при сжигании каменных углей равны 2,391 – 2,878 $\text{т CO}_2/\text{т.у.т.}$

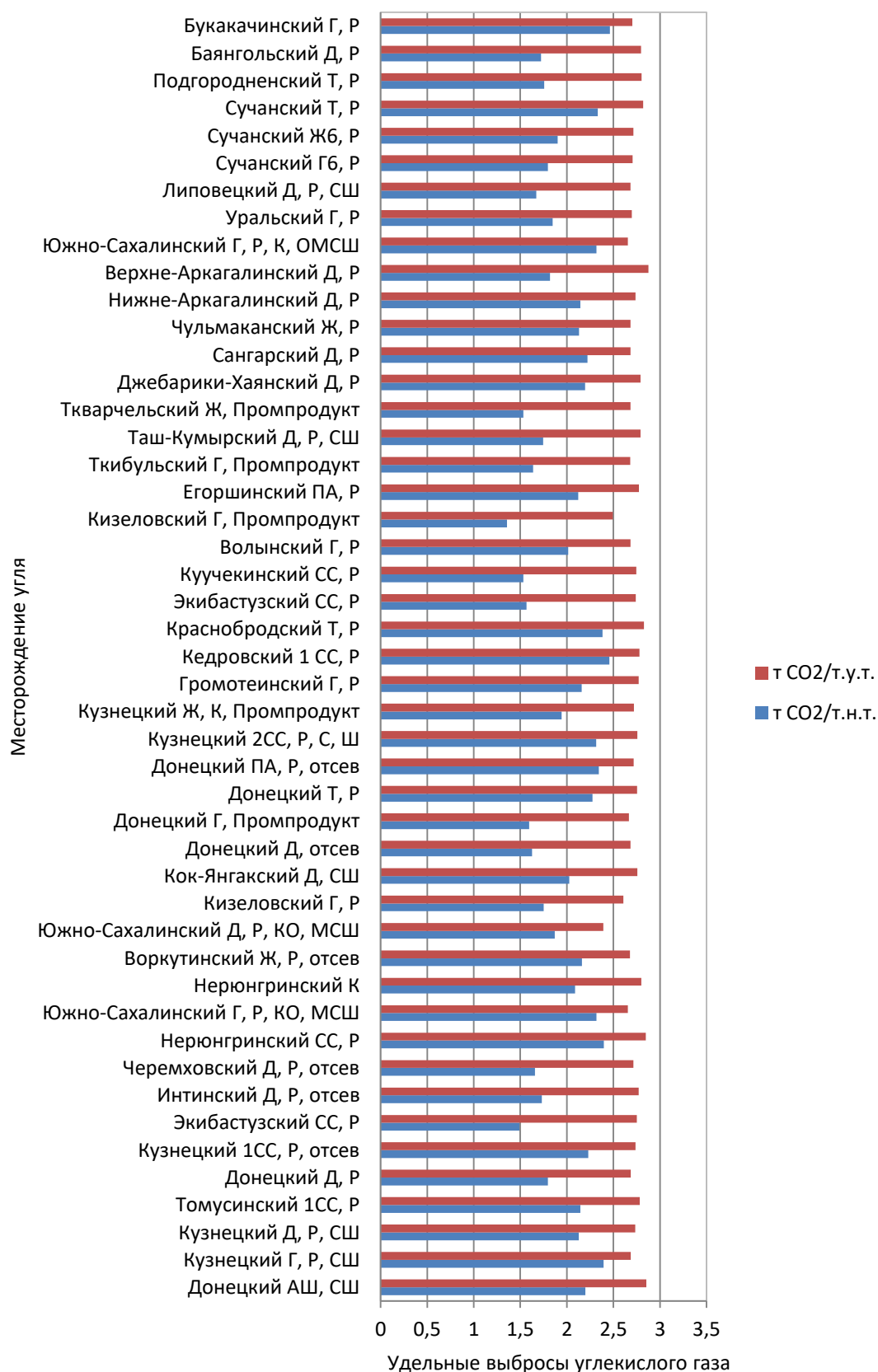


Рис. 1. Удельные выбросы углекислого газа (в пересчете на натуральное и условное топливо) при сжигании различных марок каменного угля

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Fig. 1. Specific carbon dioxide emissions (in terms of natural and conventional fuels) during the combustion of various grades of coal

На рисунке2 представлены результаты расчета удельных выбросов углекислого газа (в пересчете на натуральное и условное топливо) при сжигании различных марок бурого угля в котлах ТЭС.

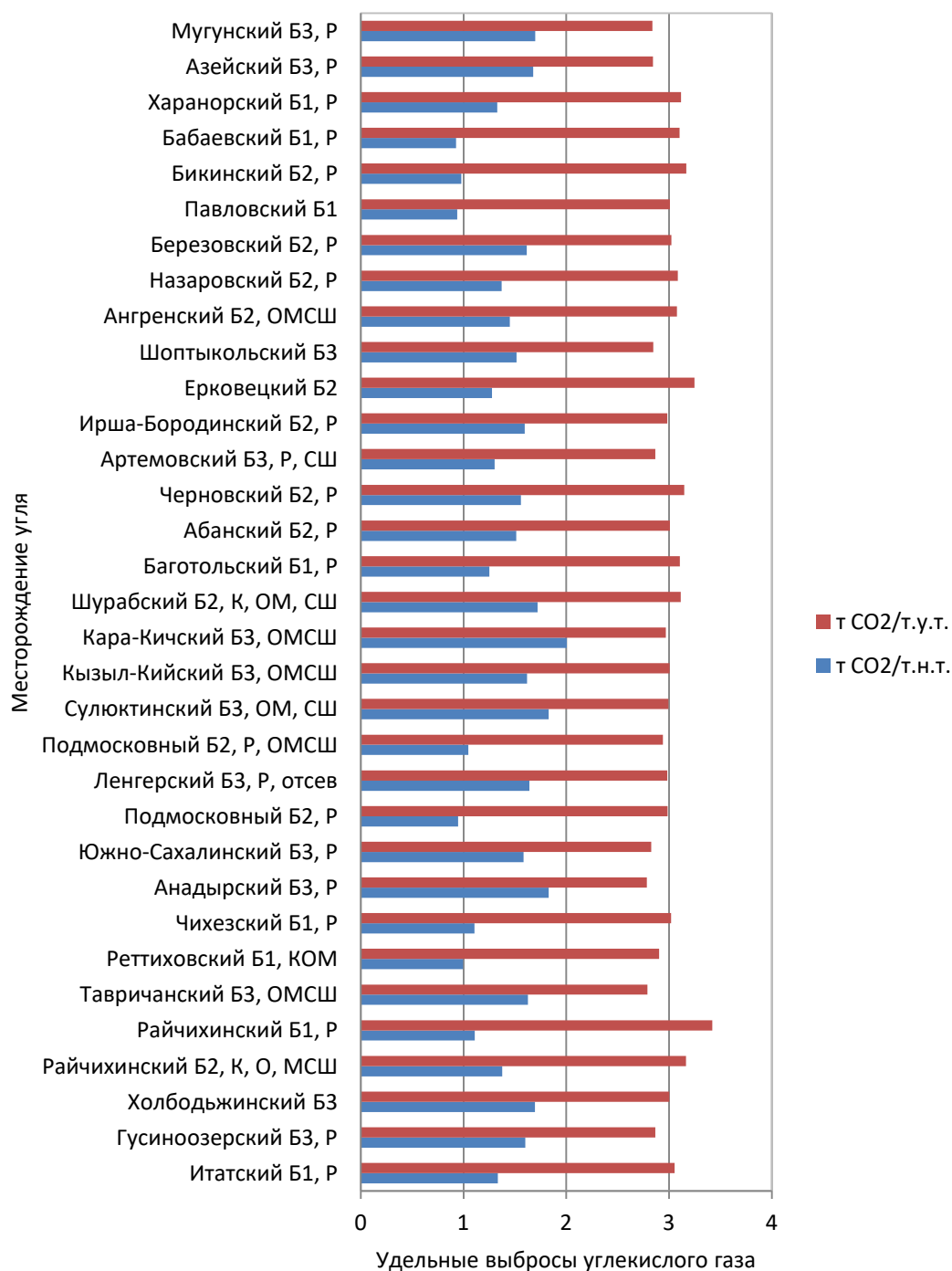


Рис. 2. Удельные выбросы углекислого газа (в пересчете на натуральное и условное топливо) при сжигании различных марок бурого угля

Fig. 2. Specific carbon dioxide emissions (in terms of natural and conventional fuels) during the combustion of various grades of brown coal

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

На рисунке3 представлены расчетные данные по удельным выбросам водяных паров (в пересчете на натуральное и условное топливо) и их эквивалент CO₂ при сжигании различных марок каменного угля.

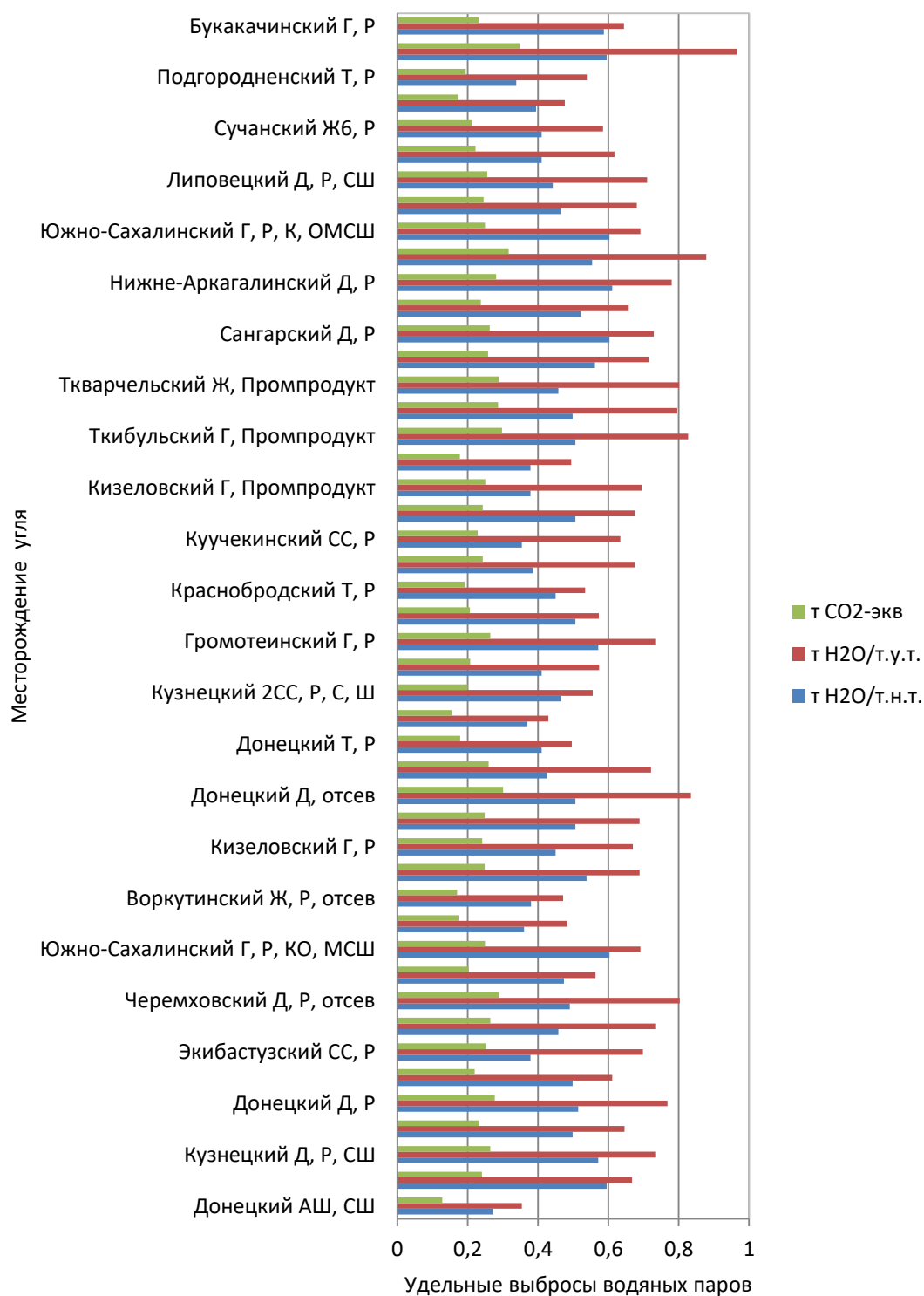


Рис. 3. Удельные выбросы водяных паров (в пересчете на натуральное и условное топливо) и эквивалент CO₂ при сжигании различных марок каменного угля

Fig. 3. Specific emissions of water vapor (in terms of natural and conventional fuels) and the CO₂ equivalent in the combustion of various grades of coal

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

На рисунке 4 представлены расчетные оценки удельных выбросов водяных паров (в пересчете на натуральное и условное топливо) и эквивалент CO₂, соответствующий значениям т H₂O/т.у.т., при сжигании различных марок бурого угля.

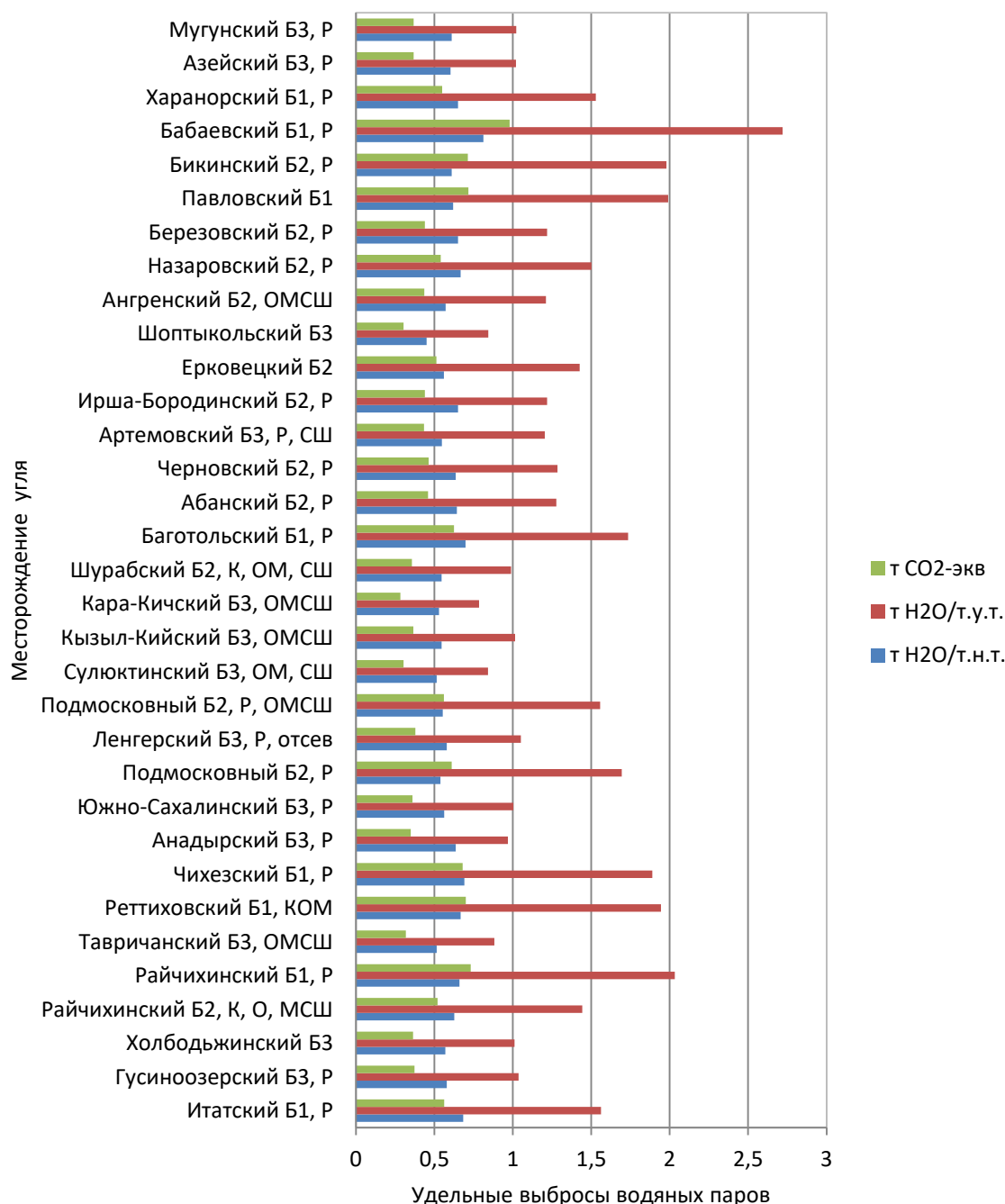


Рис. 4. Удельные выбросы водяных паров (в пересчете на натуральное и условное топливо) и эквивалент CO₂ при сжигании различных марок бурого угля

Fig. 4. Specific emissions of water vapor (in terms of natural and conventional fuels) and CO₂ equivalent during combustion of various grades of brown coal

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Результаты расчетного определения удельных выбросов водяных паров H₂O и соответствующего эквивалента CO₂ при сжигании угля (варианты) в котельных установках ТЭС представлены на рисунках 3-4. Выполненные оценки, в пересчете на натуральное топливо показывают, что при сжигании бурых углей удельные выбросы водяных паров соответствуют диапазону 0,514 – 0,812 т H₂O/т.н.т., при использовании каменных углей находятся в пределах 0,273 – 0,611 т H₂O/т.н.т. При пересчете соответствующих показателей удельных выбросов на условное топливо для варианта применения бурых углей составляют 0,784 – 2,719 т H₂O/т.у.т., при сжигании каменных углей равны 0,354 – 0,966 т H₂O/т.у.т. Следует отметить, что показатели удельных выбросов углекислого газа и водяных паров определены на основе балансовых зависимостей без учета конкретного способа сжигания топлива.

Для комплексной оценки парникового эффекта выполнено расчетное определение эквивалента углекислого газа CO_2 -экв, соответствующего удельным выбросам водяных паров при сжигании конкретных типов каменных и бурых углей, как это показано на рисунках 3 и 4. Расчеты показывают, что эквивалентный вклад водяных паров в суммарные удельные выбросы парниковых газов при использовании каменных углей составляют 0,127 – 0,348 т CO_2 -экв, в случае сжигания бурых углей соответствует значениям 0,282 – 0,979 т CO_2 -экв. Таким образом, полученные результаты могут быть применены на энергетических предприятиях и ТЭС при обосновании технологических показателей выбросов парниковых газов в атмосферу. Следует отметить, учет эквивалентного вклада водяных паров при определении суммарных выбросов парниковых газов позволяет комплексно оценивать влияние энергетических предприятий на окружающую среду.

Заключение (Conclusions)

Выполнен анализ законодательной базы и нормативно-технических документов, регламентирующих необходимость снижения выбросов парниковых газов в атмосферу при сжигании топлива в котлах ТЭС и котельных с целью декарбонизации и постепенного перехода отраслей экономики к углеродной нейтральности посредством сокращения прямых и косвенных выбросов углекислого газа.

Расчетным путем оценены массовые и удельные выбросы парниковых газов (в пересчете на натуральное и условное топливо) в атмосферу при сжигании антрацита, каменного и бурого угля и различных марок в котлах ТЭС, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду.

Определены удельные выбросы водяных паров и их эквивалент CO_2 при сжигании каменного, бурого угля и антрацита, отличающиеся от известных тем, что учитывается вклад водяных паров в суммарные выбросы парниковых газов ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) при использовании на российских ТЭС углей различных марок (всего 80 типов). Показано, что при сжигании бурых углей удельный эквивалентный вклад водяных паров составляет 4,5 – 10,2 %, при использовании каменных углей находится в диапазоне 11,8 – 34,3 %.

Полученные в работе результаты исследования могут быть использованы энергетическим и предприятиями для установления технологических показателей выбросов парниковых газов в атмосферу котельных установок на этапе сбора экологической информации, при обосновании участия в государственном эксперименте по квотированию выбросов и разработки ППЭЭ, подготовке углеродной отчетности ТЭС.

Литература

1. Росляков П.В., Кондратьева О.Е., Дмитренко В.В., и др. Особенности актуализированного информационно-технического справочника ИТС 38-2022 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» // Электрические станции. 2022. № 12 (1097). С. 42 – 50.
2. Росляков П.В., Кондратьева О.Е., Гусева Т.В. Проблемы адаптации действующего оборудования ТЭС к технологическим показателям выбросов ИТС 38-2022 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» // Теплоэнергетика. 2023. № 10. С. 115 – 123.
3. Власенко С.А., Росляков П.В., Сердюков В.А. Методические подходы к определению технологических показателей наилучших доступных технологий при актуализации информационно-технического справочника ИТС 38-2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» // Инновации. Наука. Образование. 2022. № 55. С. 31 – 39.
4. Росляков П. В., Черкасский Е. В., Гусева Т. В., и др. Технологическое нормирование объектов теплоэлектроэнергетики: наилучшие доступные технологии и нормы общего действия // Теплоэнергетика. 2021. № 10. С. 1 – 13.
5. Росляков П.В., Рыбаков Б.А., Савитенко М.А., и др. Оценки возможностей снижения выбросов парниковых газов при сжигании топлив в котлах ТЭС и котельных // Теплоэнергетика. 2022. № 9. С. 97– 106.
6. Росляков П.В., Гуреев А.Н., Гусева Т.В., и др. Индикативные показатели выбросов парниковых газов при сжигании топлива на ТЭС и в котельных // Энергетик. 2023. № 5. С. 40 – 48.
7. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., и др. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Том 22. № 1. С. 3– 9.

8. Зверева Э.Р., Макарова А.О., Бахтиярова Ю.В., и др. Вторичное использование малосернистых нефтяных остатков в качестве основы для котельного и судового топлива // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Том 24. №1. С. 16– 28.
9. Кудряшов А.Н., Коваль Т.В., Ижганайтис М.И. Опыт сжигания композиционного топлива на основе угольного шлама на ТЭЦ Иркутской области // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Том 23. №1. С. 33– 45.
10. Иваницкий М.С. Прогнозирование затрат угольных электростанций на компенсации за выбросы углекислого газа в атмосферу // Энергобезопасность и энергосбережение. 2016. №5. С. 9 – 13.
11. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г. На пути к климатической нейтральности: выстоит ли русский лес против энергетики? // Теплоэнергетика. 2024. № 1. С. 5– 20.
12. Клименко А.В., Терёшин А.Г., Прун О.Е. Перспективы России в снижении выбросов парниковых газов // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2023. № 2. С. 3– 15.
13. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Микушина О.В. Борьба за спасение климата: эйфория от планов против холодной реальности // Теплоэнергетика. 2023. № 3. С. 5– 19.
14. Зажигалкин А.В., Доброхотова М.В., Черкасская С.В. Парниковые газы и наилучшие доступные технологии. Инфраструктура стандартизации // Стандарты и качество. 2023. № 5. С. 44 – 48.
15. Иваницкий М.С. Технологическое нормирование выбросов ТЭС в атмосферу // Энергобезопасность и энергосбережение. 2022. № 1. С. 5 – 9.
16. Ponkratov V.V., Kuznetsov A.S., Muda I., et al. Investigating the index of sustainable development and reduction in greenhouse gases of renewable energies // Sustainability. 2022. V. 14. № 22. pp. 14829.
17. Wang Q., Xiong H., Ming T. Methods of large-scale capture and removal of atmospheric greenhouse gases // Energies. 2022. V. 15. № 18. pp. 6560.
18. Lin J., Khanna N., Liu Xu., et al. Opportunities to tackle short-lived climate pollutants and other greenhouse gases for China // Science of the Total Environment. 2022. V. 842. pp. 156842.
19. Kulmala M., Kokkonen T., Ezhova E., et al. Aerosols, clusters, greenhouse gases, trace gases and boundary-layer dynamics: on feedbacks and interactions // Boundary-Layer Meteorology. 2023. V. 186. № 3. pp. 475-503.

Автор публикации

Иваницкий Максим Сергеевич – докт. техн. наук, профессор кафедры Энергетики филиала «Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Волжском. E-mail: mseiv@yandex.ru.

References

1. Roslyakov PV, Kondrat'eva OE, Dmitrenko VV, et al. Osobennosti aktualizirovannogo informatsionno-tekhnicheskogo spravochnika ITS 38-2022 «Szhiganiye toplivnykh ustanovok v tselyakh proizvodstva energii». *Elektricheskie stantsii*. 2022;12 (1097):42-50.
2. Roslyakov PV, Kondrat'eva OE, Guseva TV. Problemy adaptatsii i dezvoltaniya TЭС k tekhnologicheskim pokazatelyam vybrosov ITS 38-2022 «Szhiganiye toplivnykh ustanovok v tselyakh proizvodstva energii». *Teploenergetika*. 2023;10:115-123.
3. Vlasenko SA, Roslyakov PV, Serdyukov VA. Metodicheskie podkhody k opredeleniyu tekhnologicheskikh pokazateley i naibol'she dostupnykh tekhnologiy pri aktualizatsii informatsionno-tekhnicheskogo spravochnika ITS 38-2017 «Szhiganiye toplivnykh ustanovok v tselyakh proizvodstva energii». *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2022;55:31-39.
4. Roslyakov PV, Cherkasskii EV, Guseva TV, et al. Tekhnologicheskoe normirovaniye ob'ektov teploelektroenergetiki: naibol'she dostupnyye tekhnologii i normy obshchego deystviya. *Teploenergetika*. 2021;10:1-13.

5. Roslyakov PV, Rybakov BA, Savitenko MA, et al. Otsenkivozmozhnosteishnizheniavybrosovparnikovykhgazovpriszhiganiitopliv v kotlakh TES i kotel'nykh // *Teploenergetika*. 2022;9:97-106.
6. Roslyakov PV, Gureev AN, Guseva TV, et al. Indikativnyepokazatelivybrosovparnikovykhgazovpriszhiganiitoplivana TES i v kotel'nykh // *Energetik*. 2023;5:40-48.
7. Dmitriev AV, Zinurov VE, Dmitrieva OS, et al. Ochistkagazovykhvybrosovkotel'nykhustanovokottverdykhchastits. *Izvestiyavysshikhuchebnykhzavedenii. Problemyenergetiki*. 2020;22(1):3-9.
8. ZverevaER, MakarovaAO, BakhtiyarovaYuV, et al. Vtorichnoeispol'zovaniemaloserdistykhneftnyanykhostatkov v kachestveosnovdyakotel'nogo i sudovogotopliva. *Izvestiyavysshikhuchebnykhzavedenii. Problemyenergetiki*. 2022;24(1):16-28.
9. KudryashovAN, KovalTV, IzhganaitisMI. Opytzhiganiyakompozitsionnogotoplivanaosnoveugol'nogoshlamana TETs Irkutskoioblasti. *Izvestiyavysshikhuchebnykhzavedenii. Problemyenergetiki*. 2021;23(1):33-45.
10. Ivanitskii MS. Prognozirovaniezatrutogol'nykhelektrostantsiinakompensatsiizavybrosoyuglekislogogaza v atmosferu // *Energobezopasnost' i energoberezhenie*. 2016;5:9-13.
11. Klimenko VV, Klimenko AV, Tereshin AG. Na puti k klimaticheskoinetrall'nosti: vystoit li russkii les protivenergetiki? *Teploenergetika*. 2024;1:5-20.
12. Klimenko AV, Tereshin AG, Prun OE. PerspektivyRossii v snizheniivybrosovparnikovykhgazov. *IzvestiyaRossiiskoiakademiinauk. Energetika*. 2023;2:3-15.
13. Klimenko VV, Klimenko AV, Tereshin AG, Mikushina O.V. Bor'bazaspasenieklimata: eiforiyaotplanovprotivkholodnoireal'nosti. *Teploenergetika*. 2023;3:5-19.
14. Zazhigalkin AV, Dobrokhotova MV, Cherkasskaya SV. Parnikovyegazy i nailuchshiedostupnyetekhnologii. Infrastrukturastandardizatsii. *Standarty i kachestvo*. 2023;5:44-48.
15. Ivanitskii MS. Tekhnologicheskoe normirovanievybrosov TES v atmosferu // *Energobezopasnost' i energoberezhenie*. 2022;1:5-9.
16. Ponkratov VV, Kuznetsov AS, Muda I, et al. Investigating the index of sustainable development and reduction in greenhouse gases of renewable energies // *Sustainability*. 2022;14(22):14829.
17. Wang Q, Xiong H, Ming T. Methods of large-scale capture and removal of atmospheric greenhouse gases // *Energies*. 2022;15(18):6560.
18. Lin J, Khanna N, Liu Xu, et al. Opportunities to tackle short-lived climate pollutants and other greenhouse gases for China // *Science of the Total Environment*. 2022;842:156842.
19. Kulmala M, Kokkonen T, Ezhova E, et al. Aerosols, clusters, greenhouse gases, trace gases and boundary-layer dynamics: on feedbacks and interactions // *Boundary-Layer Meteorology*. 2023;186(3):475-503.

Author of the publication

Maxim Sergeevich Ivanitskiy – Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (MPEI).

Шифр научной специальности: 2.10.2. Экологическая безопасность (технические науки)

Смежные специальности в рамках группы научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки); 2.4.3. Электроэнергетика (технические науки)

Получено

09.03.2024 г.

Отредактировано

03.05.2024 г.

Принято

16.05.2024 г.