



АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫГОРАНИЯ КАНЦЕРОГЕННЫХ ПАУ В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ КОТЛОВ

Иваницкий М.С.

Национальный исследовательский университет

«МЭИ» в г. Волжском, Россия

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

Резюме: ЦЕЛЬ. Обоснована и подтверждена необходимость установления нормативов выбросов высокотоксичных веществ, обладающих канцерогенными свойствами, в условиях реализации новых принципов государственного регулирования природоохранной деятельности на энергетических предприятиях. Выполнен анализ особенностей образования и выгорания канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в дымовых газах котлов при сжигании углей в низкотемпературных условиях топочного процесса. На основе проведенного анализа рассчитаны суммарные и частные показатели вредности дымовых газов с целью оценки и прогнозирования общей токсичности продуктов сгорания углей с учетом вклада канцерогенных веществ. МЕТОДЫ. При расчетной оценке общей токсичности дымовых газов применен системный анализ и обобщение экспериментальных данных по содержанию канцерогенных и неканцерогенных полициклических ароматических углеводородов в продуктах сгорания котлов малой мощности. РЕЗУЛЬТАТЫ. В результате выполненного исследования определен вклад канцерогенных и неканцерогенных полициклических углеводородов в общую токсичность дымовых газов котлов при сжигании азейского, мугунского, черемховского и тугнуйского угля. Показано, что такие вещества как бенз(а)пирен, флуорантен, пирен и фенантрен в значительной степени от 38,8 до 53,6 % оказывают влияние на уровень суммарного показателя вредности продуктов сгорания. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты исследования могут найти применение на энергетических предприятиях на этапе обоснования внедрения режимно-технологических и природоохранных мероприятий с целью разработки мероприятий повышения экологической эффективности за счет технологического нормирования канцерогенных выбросов.

Ключевые слова: экологическая безопасность ТЭС; наилучшие доступные технологии; канцерогенные ПАУ; выгорание топлива; показатели вредности.

Для цитирования: Иваницкий М.С. Анализ технологических условий образования и выгорания канцерогенных ПАУ в продуктах сгорания котлов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 131-138. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-131-138.

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION AND BURNOUT OF CARCINOGENIC PAHS IN BOILER FLUE GASES

MS. Ivanitskiy

Volzhsy Branch of the National Research University

«Moscow Power Engineering Institute», Russia

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

Abstract: THE PURPOSE. The necessity of establishing emission standards for highly toxic substances with carcinogenic properties in the context of the implementation of new principles of state regulation of environmental protection activities at energy enterprises is substantiated and confirmed. The analysis of the features of the formation and burnout of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in the flue gases of boilers during the combustion of coals in low-temperature conditions of the furnace process is carried out. Based on the analysis, the total and partial indicators of the harmfulness of flue gases were calculated in order to assess and predict the overall toxicity of coal combustion products, taking into account the contribution of

carcinogenic substances. METHODS. When calculating the overall toxicity of flue gases, a systematic analysis and generalization of experimental data on the content of carcinogenic and non-carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in the combustion products of low-power boilers was applied. RESULTS. As a result of the performed study, the contribution of carcinogenic and non-carcinogenic polycyclic hydrocarbons to the overall toxicity of boiler flue gases during the combustion of Azeysky, Mugunsky, Cheremkhovsky and Tugnuy coal was determined. It is shown that substances such as benz(a)pyrene, fluoranthene, pyrene and phenanthrene significantly affect the level of the total indicator of the harmfulness of combustion products from 38.8 to 53.6%. CONCLUSION. The obtained research results can be applied at energy enterprises at the stage of substantiating the introduction of regime-technological and environmental measures in order to develop measures to improve environmental efficiency through technological rationing of carcinogenic emissions.

Keywords: *environmental safety of TPPs; best available technologies; carcinogenic PAHs; fuel burnup; hazard indicators.*

For citation: Ivanitskiy MS. Analysis of technological conditions for the formation and burnout of carcinogenic pahs in boiler flue gases. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021; 23(5): 131-138. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-131-138.

Введение

Начиная с 2015 года в рамках разработки нового принципа российского государственного регулирования природоохранной деятельности подготовлено порядка 50 информационно-технических справочников (ИТС) наилучших доступных технологий (НДТ), объединяющих сведения о характеристиках проблемных вопросов действующего производства, методологии определения НДТ, методах для уменьшения негативного влияния тепловых электрических станций (ТЭС) на атмосферный воздух и окружающую среду, которые не предполагают технологического переоснащения, а также информацию об оценке преимуществ НДТ в части их доступности и экономичности, сведения о современных НДТ. Для энергетических предприятий I категории в зависимости от вида используемого топлива в ИТС 38-2017 определены маркерные вредные (загрязняющие) вещества: оксиды азота (NO₂), диоксид серы (SO₂), монооксид углерода (CO) и зола твердого топлива. При недостатке окислителя в топочной камере котла образуются полициклические ароматические углеводороды, некоторые из которых характеризуются канцерогенными и мутагенными свойствами. К представителям ПАУ рассмотренным в работе и идентифицированным в продуктах сгорания топлива в котлах, относятся хризен, бенз(b)флуорантен, бенз(k)флуорантен, антрацен, бенз(a)антрацен, бенз(g, h, i)перилен, фенантрен, индено (1, 2, 3 -с, d)пирен, и высокотоксичный бенз(a)пирен (БП) – вещество I класса опасности [1-5].

Согласно приказу Минприроды от 18.04.2018 № 154 определены 300 объектов I категории, в период с 01.01.2019 по 31.12.2024 года они должны согласовать получение комплексного экологического разрешения (КЭР) сроком на 7 лет. В связи с этим, на стадии подготовки КЭР, энергетическим предприятиям для выполнения задачи по охране окружающей среды необходимо определять нормативы допустимых выбросов высокотоксичных веществ I и II класса опасности [6-8].

В соответствии с данными требованиями отечественным энергетическим предприятиям, в том числе ТЭС, которые относятся к I категории по степени негативного влияния на окружающую среду, необходимо разрабатывать организационные и режимно-технологические мероприятия для уменьшения газообразных выбросов в атмосферный воздух, связанного с массовой эмиссией загрязняющих канцерогенных высокотоксичных веществ, характеризующихся мутагенными свойствами. Внедрение первичных (воздухоохранных) мероприятий на ТЭС, тем самым позволит улучшить показатели экологической безопасности работы энергетических котлов, в том числе посредством разработки малотоксичных режимов сжигания органического топлива с целью минимизации показателя суммарной токсичности дымовых газов, широко используемого в теплоэнергетике для определения степени негативного воздействия источника вредных (загрязняющих) выбросов на воздушный бассейн [9, 10].

Таким образом для расчетного обоснования технических решений на стадии получения КЭР на энергетических предприятиях на основе обобщенных экспериментальных данных по выбросам канцерогенных и неканцерогенных ПАУ

выполнено определение частных показателей вредности (токсичности) ПАУ, а также их вклада в суммарный показатель токсичности продуктов сгорания при сжигании углей различных месторождений с учетом особенностей образования и выгорания ПАУ.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи исследования в работе рассчитывается суммарный показатель вредности $\sum \Pi$ дымовых газов котла, который определен с учетом частных показателей вредности загрязняющих выбросов $\sum \Pi = \sum_{i=1}^n \Pi_i$ в соответствии с рекомендациями [9, 10].

В процессе определения показателей вредности загрязняющих веществ варьировались режимные условия работы котла: коэффициент избытка воздуха α , тепловая нагрузка, теплотехнические характеристики топлива.

Основные марки топлива, рассмотренные в работе, с теплотехническими характеристиками, приведенными к рабочей массе, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Теплотехнические характеристики топлива					
Марка и состав топлива	W ^r , %	A ^d , %	S ^d , %	N ^{daf} , %	Q ^r , МДж/кг
Азейский	25	22	0,6	1,6	16,0
Черемховский	15	34	1,2	1,6	16,4
Тугнуйский	7,5	23	0,5	1,1	21,0
Мугунский	22	20	1,2	1,5	17,3

Рассмотренные марки углей являются перспективными для применения в теплоэнергетике, но при этом характеризуются низкой теплотворной способностью топлива. Качественные теплотехнические характеристики топлива показывают, что приведенная влажность углей находится в диапазоне 0,36-1,5 %/(МДж/кг) на рабочую массу, приведенная зольность топлива составляет 1,1-2,07 %/(МДж/кг), приведенная содержание серы в углях изменяется в пределах 0,38-0,8 %/(МДж/кг). Следует отметить, что указанные приведенные показатели качества топлива оказывают незначительное влияние на процесс образования и выгорания ПАУ в топке котла, в большей степени величину массового выброса канцерогенных веществ определяют конкретные режимно-технологические условия и способы сжигания топлива.

Тепловая производительность котла НРс-18-73 принимала значения нагрузочных режимов, близких к номинальному уровню $0,95 \leq Q_{\phi} / Q_n \leq 1$, параметры массовых выбросов и концентраций вредных (загрязняющих) веществ приведены к коэффициенту избытка воздуха $\alpha = 1,4$, объемное теплонапряжение топки равно $q_v = 0,67$ МВт/м³ при номинальной нагрузке котла (тепловая мощность 0,8 МВт) [11-13].

Обсуждение результатов

В новых условиях государственного регулирования природоохранной деятельности необходимо отметить, что энергетическим предприятиям I, II и III категорий, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду в рамках своей хозяйственной деятельности согласно приказу Минприроды от 18.04.2018 № 154 необходимо установить нормативы выбросов БП, характеризующегося наиболее выраженными канцерогенными и мутагенными свойствами, вещества I класса опасности.

Интенсивное образование ПАУ, в том числе БП, в котельных установках происходит в результате сжигания топлива при малых избытках воздуха и недостаточном уровне объемного и поверхностного теплонапряжения топочной камеры. В данном случае немаловажное значение на уровень выбросов ПАУ оказывают теплотехнические характеристики топлива. Температурный уровень топочного процесса характеризует механизм образования БП (например, дифенильный или ацетиленовый). Следует отметить, что образование и выгорание ПАУ необходимо рассматривать как конкурирующие процессы, скорость протекания которых определяется стабильностью фронта воспламенения топлива. В котлах со слоевым сжиганием твердого топлива наибольшее влияние в этих процессах оказывает скорость окисления угля, что в рассмотренных условиях в значительной степени определяет выход продуктов неполного сгорания топлива (СО и ПАУ, в частности БП). Приведенные обстоятельства необходимо учитывать при создании и внедрении систем мониторинга и контроля выбросов вредных загрязняющих

веществ на энергетических предприятиях в соответствии с нормативными требованиями охраны окружающей среды [6-8].

Таким образом, по результатам полученных значений, определены суммарные и частные показатели вредности ПАУ и других вредных (загрязняющих) веществ в продуктах сгорания углей черемховского, мугунского, тунгуйского и азейского месторождений, которые представлены на рис. 1. Следует отметить, что в зависимости от режимных условий и теплотехнических характеристик угля вклад вредности золы твердого топлива в $\sum \Pi$ дымовых газов составляет 2,4 – 4,6 %, при этом доля вредности NO_2 = 10,9 – 23,1 %, вклад SO_2 = 23,2 – 37,3%, для пентаоксида ванадия вклад составил V_2O_5 = 0,9 – 1,7%, а доля СО незначительна и находится на уровне 0,25 – 0,59 %.

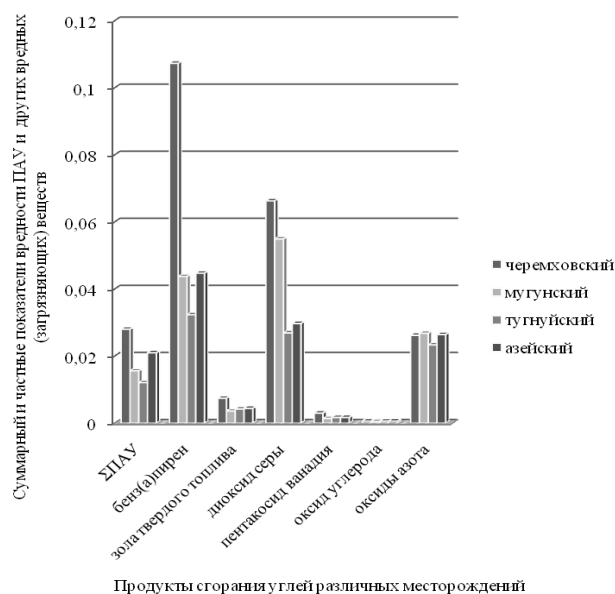


Рис.1. Суммарные и частные показатели вредности ПАУ и других вредных (загрязняющих) веществ в продуктах сгорания углей черемховского, мугунского, тунгуйского и азейского месторождений

Fig.1. Total and partial indicators of the harmfulness of PAHs and other harmful (polluting) substances in the combustion products of coals of the Cheremkhovsky, Mugunsky, Tunguysky and Azeysky deposits

Неравномерность полученных результатов массовых выбросов ПАУ на практике объясняется недостатком кислорода по зонам горения в топке. При этом в отмеченных зонах происходят термические реакции разложения топлива. В целом процесс сжигания топлива состоит из периодов разогрева топлива, испарения влаги, выхода летучих веществ и, непосредственно, горения кокса (горючей части).

На рисунках 2 и 3 представлены результаты оценки частных показателей вредности БП и некоторых ПАУ в дымовых газах при сжигании топлива, а также зависимость изменения относительного вклада частных показателей вредностей БП и некоторых других ПАУ в $\sum \Pi$ продуктов сгорания котла НРс-18-73.

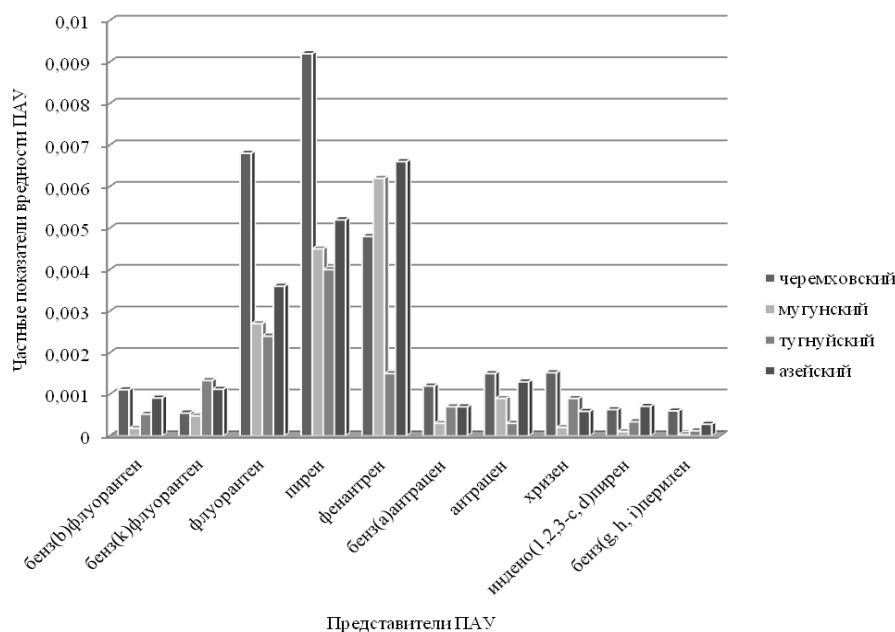


Рис. 2. Частные показатели вредности БП и некоторых ПАУ в дымовых газах при сжигании топлива в котле НРС-18-73

Fig. 2. Particular indicators of the harmfulness of BP and some PAHs in flue gases when burning fuel in the boiler LDc-18-73

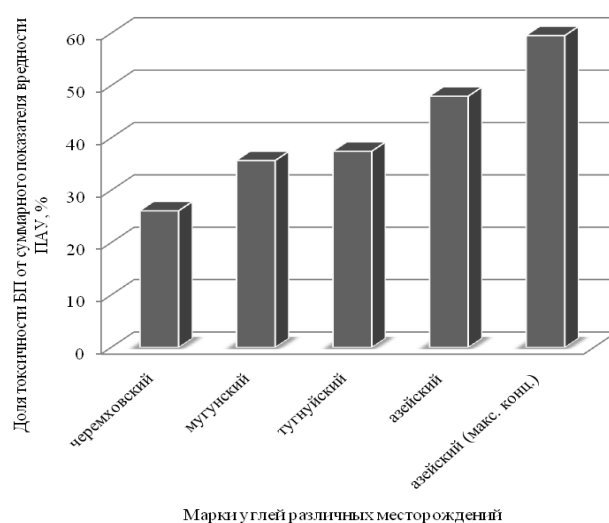


Рис. 3. Относительный вклад частных показателей вредностей БП и некоторых ПАУ в суммарный показатель вредности продуктах сгорания котла НРС-18-73

Fig. 3. The relative contribution of particular indicators of the hazards of BP and some PAHs to the total indicator of the harmfulness of the combustion products of the boiler LDc-18-73

Массовые выбросы БП могут иметь непостоянные значения, данное явление связано с тем, что часть канцерогенного БП и других ПАУ в зависимости от условий осаждается на частицах летучей золы и сажи. Нужно подчеркнуть, что до 60 % выбросов ПАУ от их общей массовой эмиссии приходится на начальную стадию сжигания топлива, которая на этом участке цикла образуется вследствие процесса пиролиза твердого топлива. Неполнота сгорания топлива в рассмотренных технологических условиях оценивается выходом оксида углерода, что подтверждается высокой корреляцией эмиссии БП и СО [11].

Расчетные оценки показали, что вклад высокотоксичного канцерогенного БП значительно влияет на $\sum \Pi$ дымовых газов котлов (для черемховского месторождения составляет 44,89 %, тугнуйского – 31,98 %, мугунского - 29,73 %, азейского - 34,92 %, а при максимальном выходе ПАУ для угля азейского месторождения равен 40,99 %, для угля черемховского месторождения находится на уровне 56,56%), что необходимо учитывать при оценке негативного воздействия вредных (загрязняющих) выбросов, обладающих

канцерогенными и мутагенными свойствами, на окружающую среду и подготовке исходных данных при разработке программы улучшения экологических показателей производственной деятельности энергетического предприятия, в том числе при проведении производственного экологического контроля [12-15]. Распределение канцерогенных ПАУ в продуктах сгорания котла НРс-18-73 представлено на рис.4.

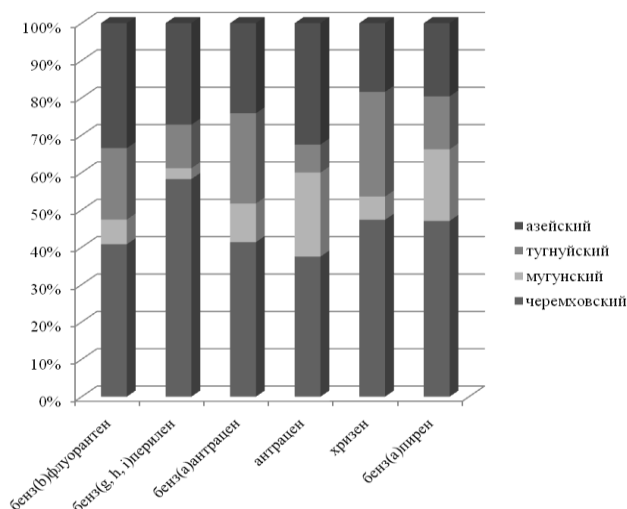


Рис. 4. Распределение канцерогенных ПАУ в продуктах сгорания котла НРс-18-73

Fig. 4. Distribution of carcinogenic PAHs in the combustion products of the LDc-18-73 boiler

Как показали результаты исследования, установление токсичности отдельных ПАУ и их влияния на общий показатель вредности дымовых газов котлов представляет особый интерес для обеспечения требований производственного экологического контроля на энергетических предприятиях. Особую роль здесь приобретают с учетом их степени канцерогенной активности такие ПАУ как бенз(а)пирен, бенз(б)флуорантен, бенз(г, h, i)перилен, бенз(а)антрацен, антрацен и хризен. Оценки показали, что при работе котла НРс-18-73 на углях черемховского, тугнуйского, мугунского и азейского месторождений, доля вредности, вносимая приведенными канцерогенными ПАУ, в зависимости от режимных условий горения твердого топлива составляет от 30,61 до 47,28 %, при этом для условий максимального массового выхода ПАУ наблюдаются значения от 62,96 до 79,36 %, что необходимо учитывать при реализации новых принципов регулирования природоохранной деятельности и обеспечения производственных экологических требований на энергетических предприятиях. В свою очередь, полученные результаты подтверждают необходимость осуществления производственного экологического контроля ПАУ в дымовых газах котлов малой тепловой мощности (до 1 МВт) в силу наличия благоприятных режимно-технологических условий образования канцерогенных веществ при температурах горения в топочной камере на уровне 900-1000 °С.

Выводы

Выполненные расчетные оценки суммарных и частных показателей токсичности канцерогенных ПАУ в дымовых газах котлов малой тепловой мощности могут найти применение при обосновании внедрения режимно-технологических и природоохранных мероприятий, связанных с наладкой малотоксичных режимов сжигания топлива, а также при установлении нормативов выбросов канцерогенных веществ I и II классов опасности в рамках реализации новых принципов регулирования природоохранной деятельности на российских энергетических предприятиях, относящихся к I, II и III категориям.

Таким образом результаты показали, что вклад канцерогенных ПАУ (бенз(б)флуорантен, бенз(г, h, i)перилен, бенз(а)антрацен, антрацен, хризен, бенз(а)пирен) в суммарный показатель вредности дымовых газов котла НРс-18-73 при сжигании углей черемховского месторождения составил 47,28 %, тугнуйского – 30,61 %, мугунского – 34,46 %, азейского – 37,81 %, а при максимальном выходе ПАУ для угля азейского месторождения равен 45,07 %.

Литература

1. Zhang Y., Tao S. Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004 // Atmospheric Environment. 2009. №43 (4). pp. 812-819. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.10.050

2. Ding J., Zhong J., Yang Y., et al. Occurrence and exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives in a rural Chinese home through biomass fuelled cooking // *Environmental Pollution*. 2012. №169. pp. 160-166. doi: 10.1016/j.envpol.2011.10.008
3. Okuda T., Okamoto K., Tanaka S., et al. Measurement and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the aerosol in Xi'an, China, by using automated column chromatography and applying positive matrix factorization (PMF) // *Science of the Total Environment*. 2010. № 408 (8). pp. 1909-1914. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.01.040
4. Gao B., Wang X.M., Zhao X.Y., et al. Source apportionment of atmospheric PAHs and their toxicity using PMF: Impact of gas/particle partitioning // *Atmospheric Environment*. 2015. №103. pp. 114-120. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.12.006
5. Yan D., Wu S., Zhou S., et al. Characteristics, sources and health risk assessment of airborne particulate PAHs in Chinese cities: A review // *Environmental Pollution*. 2019. №248. pp. 80- 814.
6. Росляков П.В., Кондратьева О.Е., Альмгрен А. Р., Сивцева С.А., Бурченко В.Д. Технические и экономические проблемы и риски внедрения наилучших доступных технологий на российских ТЭС // *Новое в российской электроэнергетике*. 2021. № 1. С. 15-20.
7. 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.
8. Злобин В. Г., Зверев Л. О. Повышение эффективности котельных установок на жидком топливе // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2020. Т. 22. 4. С. 24-31.
9. Кропп Л.И., Залогин Н.Г., Яновский Л.П. Показатель суммарной вредности продуктов сгорания энергетических топлив // *Теплоэнергетика*. 1978. №10. С. 47-49.
10. Росляков П.В., Закиров И.А., Ионкин И.Л., и др. Оценка суммарной вредности уходящих газов котельной установки // *Теплоэнергетика*. 2005. № 9. С. 30-34.
11. Филиппов С.П., Павлов П.П., Кейко А.В., и др. Экспериментальное определение выбросов сажи и ПАУ котельными и домовыми печами // *Известия РАН. Энергетика*. 2000. № 3. С. 107-117.
12. Мешалкин В.П., Росляков П.В., Гусева Т.В., Дови В.Дж. Новые технологические показатели выбросов золы твердого топлива и диоксида серы для тепловых электростанций и наилучшие доступные технологии очистки газов // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 8. С. 40-46.
13. Иваницкий М.С. Токсичность уходящих газов твердотопливного котла КЕ - 25 - 14С // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2020. Т. 22. № 1. С. 77-84.
14. 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. Т. 23. № 1. С. 33-45.
15. Куролап С.А., Петросян В.С., Клепиков О.В., и др. Оценка влияния метеорологических параметров на техногенное загрязнение канцерогеноопасными химическими веществами воздушного бассейна города Воронежа // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 2. С. 60-65.

Автор публикации

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

References

1. Zhang Y, Tao S. Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004. *Atmospheric Environment*. 2009;43 (4):812-819. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.10.050
2. Ding J, Zhong J, Yang Y, et al. Occurrence and exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives in a rural Chinese home through biomass fuelled cooking. *Environmental Pollution*. 2012;169:160-166. doi: 10.1016/j.envpol.2011.10.008.
3. Okuda T, Okamoto K, Tanaka S, et al. Measurement and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the aerosol in Xi'an, China, by using automated column chromatography and applying positive matrix factorization (PMF). *Science of the Total Environment*. 2010;408 (8):1909-1914. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.01.040

4. Gao B, Wang XM, Zhao XY, et al. Source apportionment of atmospheric PAHs and their toxicity using PMF: Impact of gas/particle partitioning. *Atmospheric Environment*. 2015;103:114-120. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.12.006
5. Yan D, Wu S, Zhou S, et al. Characteristics, sources and health risk assessment of airborne particulate PAHs in Chinese cities: A review. *Environmental Pollution*. 2019;248:804-814.
6. Roslyakov PV, Kondrat'eva OE, Al'mgren AR, et al. Tekhnicheskie i ekonomicheskie problemy i riski vnedreniya nailuchshikh dostupnykh tekhnologii na rossiiskikh TES. *Novoe v rossiiskoi elektroenergetike*. 2021;1:15-20.
7. Roslyakov PV, Cherkasskii EV, Guseva TV, et al. Tekhnologicheskoe normirovanie ob"ektov teploelektroenergetiki: nailuchshie dostupnye tekhnologii i normy obshchego deistviya. *Teploenergetika*. 2021;10:1-13.
8. Zlobin VG, Zverev LO. Povyshenie effektivnosti kotel'nykh ustanovok na zhidkom toplive. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. 2020;22(4):24-31.
9. Kropp LI, Zalogin NG, Yanovskii LP. Pokazatel' summarnoi vrednosti produktov sgoraniya energeticheskikh topliv. *Teploenergetika*. 1978;10:47-49.
10. Roslyakov PV, Zakirov IA, Ionkin IL, et al. Otsenka summarnoi vrednosti ukhodyashchikh gazov kotel'noi ustanovki. *Teploenergetika*. 2005;9:30-34.
11. Filippov SP, Pavlov PP, Keiko AV, et al. Eksperimental'noe opredelenie vybrosov sazhi i PAU kotel'nyimi i domovymi pechami. *Izvestiya RAN. Energetika*. 2000;3:107-117.
12. Meshalkin VP, Roslyakov PV, Guseva TV, et al. Novye tekhnologicheskie pokazateli vybrosov zoly tverdogo topliva i dioksida sery dlya teplovykh elektrostantsii i nailuchshie dostupnye tekhnologii ochistki gazov. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2021;25:8:40-46.
13. Ivanitskii MS. Toksichnost' ukhodyashchikh gazov tverdotoplivnogo kotla KE - 25 - 14S. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. 2020;22(1):77-84.
14. Kudryashov AN, Koval' TV, Izhgannits MI. Opyt szhiganiya kompozitsionnogo topliva na osnove ugol'nogo shlama na TETs Irkutskoi oblasti. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. 2021;23(1):33-45.
15. Kurolap SA, Petrosyan VS, Klepikov OV, et al. Otsenka vliyaniya meteorologicheskikh parametrov na tekhnogennoe zagryaznenie kantserogenoопасnymi khimicheskimi veshchestvami vozdušnogo basseina goroda Voronezha. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2021;25(2):60-65.

Author of the publication

Maxim S. Ivanitskiy – National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (MPEI). E-mail: mseiv@yandex.ru.

Получено	17.10.2021г.
Отредактировано	24.10.2021г.
Принято	24.10.2021г.