© Иваницкий М.С.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

(cc) BY

УДК 621.311.22 **DOI:10.30724/1998-9903-2024-26-1-3-12**

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

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 расчетном обосновании выбора места установки многоточечного пробоотборного зонда в измерительном сечении газохода котельных установок энергетических предприятий и ТЭС, оказывающих значительное негативное влияние выбросов на окружающую среду, для повышения достоверности и представительности инструментальных измерений при проведении производственного экологического контроля (ПЭК) загрязняющих выбросов (ЗВ). ЦЕЛЬ. Повышение экологической безопасности тепловых электрических станций в действующих условиях внедрения государственных принципов технологического нормирования выбросов связано с установлением на энергетических предприятиях со значительным негативным влиянием на окружающую среду технологических показателей выбросов для каждого источника загрязнения атмосферы. В этой связи на энергетических предприятиях должен осуществляться круглосуточный мониторинг ЗВ, который требует обеспечения достоверного инструментального контроля содержания маркерных веществ в продуктах сгорания энергетических котлов посредством определения представительной пробоотборной точки на газоходе или дымовой трубе энергетической котельной установки. МЕТОДЫ. В работе применены методы компьютерного моделирования динамики газов для определения локальных полей концентрации ЗВ и скорости потока и оценка их неравномерности в газоходе энергетического котла. РЕЗУЛЬТАТЫ. На примере действующей энергетической котельной установки тепловой электрической станции определено контрольное сечение газохода для обеспечения производственного экологического контроля маркерных веществ в продуктах сгорания органического топлива. Определены средние значения концентрации ЗВ и скорости потока продуктов сгорания локальных полей в расчетных сечениях и их величины на продольной оси газохода котла, выполнены оценки их неравномерности распределения. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты исследования могут быть использованы на энергетических предприятиях и ТЭС при обосновании выбора контрольного представительного измерительного сечения для проведения ПЭК, разработке программы повышения экологической эффективности (ППЭЭ).*

Ключевые слова: *экологическая безопасность ТЭС; технологическое нормирование выбросов; производственный экологический контроль; полициклические ароматические углеводороды.*

Для цитирования: Иваницкий М.С. Производственный экологический контроль полициклических ароматических углеводородов в продуктах сгорания органического топлива // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т.26. № 1. С. 3-12. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-1-3-12.

INDUSTRIAL ENVIRONMENTAL CONTROL OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN ORGANIC FUEL COMBUSTION PRODUCTS

Ivanitskiy MS.

Volzhskiy Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Volzhskiy, Russia

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

Abstract: *RELEVANCE of this study lies in the computational justification of the choice of the installation location of a multipoint sampling probe in the measuring section of the flue of boiler plants of energy enterprises and thermal power plants that have a significant negative impact of emissions on the environment, in order to increase the reliability and representativeness of instrumental measurements during industrial environmental control (PEC) of polluting emissions (PE). PURPOSE. Improving the environmental safety of thermal power plants in the current conditions of the introduction of state principles of technological regulation of emissions is associated with the establishment of technological emission indicators for each source of atmospheric pollution at energy enterprises with a significant negative impact on the environment. In this regard, energy enterprises should carry out round-the-clock monitoring of PE, which requires reliable instrumental control of the content of marker substances in the combustion products of power boilers by determining a representative sampling point on the flue or chimney of an energy boiler installation. METHODS. The paper uses methods of computer simulation of gas dynamics to determine the local fields of concentration of PE and flow velocity and assess their unevenness in the flue of an energy boiler. RESULTS. Using the example of an operating energy boiler plant of a thermal power plant, a control section of the flue was determined to ensure industrial environmental control of marker substances in the combustion products of organic fuels. The average values of the concentration of PE and the flow rate of combustion products of local fields in the calculated sections and their values on the longitudinal axis of the boiler flue are determined, and their uneven distribution is estimated. CONCLUSION. The obtained research results can be used at energy enterprises and thermal power plants to justify the choice of a control representative measuring section for conducting a PEC, and to develop an environmental efficiency improvement program (EEIP).*

Keywords: *environmental safety of thermal power plants, technological regulation of emissions, industrial environmental control, polycyclic aromatic hydrocarbons*

For citation: Ivanitskiy MS. Industrial environmental control of polycyclic aromatic hydrocarbons in organic fuel combustion products. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2024; 26 (1): 3-12. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-1-3-12.

Введение. Литературный обзор *(Introduction. Literature Review)*

Охрана окружающей среды в части снижения негативного влияния объектов теплоэнергетики основана на реализации государственной природоохранной политики, которая предусматривает деление всех энергетических предприятий на IV категории по степени воздействия выбросов на атмосферный воздух, технологические нормирование загрязняющих веществ, сбор и передачу информации в государственный фонд экологического мониторинга. Таким образом, принципы государственного регулирования предполагают необходимость внедрения на действующих ТЭС I категории круглосуточного мониторинга выбросов ЗВ, установленных требованиями ИТС 38-2017 и ПНСТ 187-2017. К маркерным веществам относятся диоксид азота, диоксид серы, монооксид углерода и зола твердого топлива. Однако, в силу того, 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. Кроме того, для выполнения технологических показателей выбросов при сжигании органического топлива с различными теплотехническими характеристиками рекомендуется использование малозатратных наилучших доступных технологий (НДТ) (для снижения золы твердого топлива – модернизация или замена батарейных циклонов, внедрение рукавных или электрофильтров; диоксида серы – перевод котлов на сжигание малосернистых топлив, применение мокрых золоуловителей с добавками щелочных вод, мокросухая очистка; диоксида азота – малозатратные режимно-технологические мероприятия из перечня НДТ – нестехиометрическое сжигание, двухступенчатое сжигание, рециркуляция продуктов сгорания, контролируемый химический недожог) [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 части реализации новых требований ИТС 38-2022 фактические концентрации маркерных веществ в продуктах сгорания, удаляемых в атмосферу, обеспечиваются установкой (основным и/или вспомогательным оборудованием). Таким образом, возможность удовлетворения выбросов маркерных веществ соответствующим технологическим показателям, согласно основным положениям и требованиям, предусматривается, в том числе для вновь вводимого газоочистного оборудования, особенно, с учетом того, что большая часть топливосжигающих установок была введена в эксплуатацию до 31.12.2000 года. Данная особенность актуализированных требований ИТС 38-2022 позволит энергетическим предприятиям более активно стимулировать технологическое планирование и внедрение НДТ в сложившихся условиях.

Кроме того, согласно Приказам Минприроды РФ от 14.02.2019 года №89 и от 17.12.2018 года №666, энергетические предприятия и ТЭС I категории должны определять для каждого ИЗА нормативы допустимых выбросов канцерогенных и мутагенных веществ. К таким веществам отнесен бенз(а)пирен (БП), который является ярким представителем всей группы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), образующихся при определенных режимных условиях сжигании любого органического топлива в котельных установках (например, природный газ, мазут, уголь различных марок) [3, 4].

Для организации и проведения круглосуточного мониторинга выбросов маркерных веществ на ТЭС рекомендуется применение многоточечных зондов. Отмечается, что для соблюдения требований ПНСТ 187-2017 и ИТС 22.1-2016 измерительные сечения газохода необходимо определять на стадии проектирования котельных установок, при этом экспериментальным или расчетным способом должно быть доказано, что в измерительном сечении газохода или ствола дымовой трубы обеспечивается требуемая суммарная относительная погрешность измерений, которая для скорости дымовых газов и концентрации газообразных ЗВ не должна превышать ±10%, а при измерении массового выброса ЗВ не должна превышать ±25%. При этом проведение тарировки измерительного сечения газохода не позволяет достоверно обеспечить представительность измерительной точки. В случае, если однородность измеряемого показателя ЗВ не будет подтверждена, то инструментальные измерения необходимо проводить во всех точках измерительной сетки, для этого измерительное сечение газохода котельной установки разбивают на равные по площади участки. Следует отметить, что автоматический круглосуточный мониторинг выбросов ЗВ на энергетических предприятиях можно организовать путем проведения инструментальных измерений в точках измерительной сетки. Но с учетом необходимости выполнения требований по обеспечению представительности измерительной точки для массового расхода и плотности дымовых газов на разных режимах работы энергетической котельной установки, корректная организация круглосуточного мониторинга выбросов ЗВ в действующих условиях не представляется возможной [5, 6].

В случае установки измерительного оборудования на дымовую трубу обязательно должно быть выполнено условие того, что к конкретной дымовой трубе подключены котельные установки, работающие на одном виде топлива. Таким образом, в соответствии с требованиями ИТС 22.1-2016 на энергетических предприятиях и ТЭС I категории при

осуществлении производственного контроля выбор измерительного сечения должен обеспечить представительность пробы для повышения достоверности выполняемых инструментальных измерений концентрации ЗВ [6].

Аналитическое определение ПАУ в дымовых газах энергетических котлов осуществляют с применением спектрально-флуоресцентного метода и высокоэффективной жидкостной хроматографии. Указанные методы индикации ПАУ включают этапы отбора газовой пробы в представительном измерительном сечении, ее термостатирование для устранения возможной конденсации паров и детектирование компонентов пробы, качество выполнения которых оказывает значительное влияние на общую погрешность аналитического метода определения представителей ПАУ в дымовых газах котельных установок [7, 8].

Существенные сложности аналитического определения концентрации БП в продуктах сгорания возникают вследствие того, что в соответствии с ПНСТ 187-2017 при проведении инструментальных измерений и организации контроля выбросов должны быть определены методики измерений и места установки измерительных систем на стадии проектирования котельных установок. Данные требования могут быть учтены только для третьей возрастной группы основного оборудования ТЭС, введение в эксплуатацию которых планируется, начиная с 01.01.2026 года. При решении проблем адаптации оборудования реальных ТЭС к технологическим показателям выбросов согласно ИТС 38-2022 приведенные условия могут быть использованы на этапах модернизации или реконструкции основного оборудования энергетических предприятий [2].

В работе [5] на основе имеющегося опыта разработки нормативной законодательной базы в области охраны окружающей среды для совершенствования системы нормирования негативного воздействия объектов теплоэнергетики на атмосферный воздух предлагается разработка нового обобщенного нормативного документа, регламентирующего нормы общего действия для котельных установок малой тепловой мощности, в том числе оказывающих незначительное негативное влияние на окружающую среду. Реализация принципов норм общего действия в отношении энергетических объектов направлена на стимулирование внедрения на действующих тепловых электрических станциях и котельных НДТ, позволяющих обеспечить требуемые технологические показатели выбросов. Важно заметить, что в случае отсутствия утвержденных методик расчета концентраций загрязняющих выбросов, в том числе не включенных в перечень маркерных веществ, на энергетических предприятиях существует необходимость проведения инструментальных измерений и оценки реальных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В этой связи, определение степени негативного воздействия загрязняющих выбросов котельных установок на окружающую среду должно проводиться с учетом результатов расчета параметров рассеивания вредных выбросов в атмосферном воздухе, что необходимо учитывать при разработке программы повышения экологической эффективности для действующих ТЭС I категории.

Следует отметить, что разработка нового обобщенного нормативного документа, регламентирующего нормы общего действия для котельных установок малой тепловой мощности, расположенных в зоне действующих ТЭС I категории, может способствовать развитию и совершенствованию нормативной базы в области охраны окружающей среды, в том числе, системы технологического регулирования негативного влияния энергетических предприятий на окружающую среду, основанной на принципах НДТ [9 – 11].

Таким образом, целью работы является обеспечение достоверности инструментальных измерений маркерных веществ при организации и проведении ПЭК ЗВ на энергетических предприятиях и ТЭС I категории.

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что с применением методов компьютерного моделирования в соответствии с ПНСТ 187-2017 расчетным путем доказана возможность выбора представительного измерительного сечения на газоходе котельной установки при организации и проведении ПЭК ЗВ на энергетических предприятиях и ТЭС.

Практическая значимость полученных результатов состоит в возможности их использования на энергетических предприятиях и ТЭС I категории, оказывающих значительное негативное влияние на окружающую среду, при обосновании выбора контрольного представительного измерительного сечения для инструментального измерения концентрации ЗВ, в том числе ПАУ.

Для проведения инструментальных измерений, обладающих достоверными результатами, требуется решение всех организационных вопросов создания систем автоматического контроля и учета выбросов загрязняющих веществ, учитывающих

особенности действующих котельных установок ТЭС, несмотря на основные положения, регламентированные ПНСТ 187-2017. Поэтому для проведения ПЭК на этапе проектирования котельных установок необходимо определить методики инструментальных измерений и места установки измерительных пробоотборных зондов [6].

Материалы и методы *(Materials and methods)*

Моделирование течения потока в газоходе энергетического котла (основное топливо – природный газ), паропроизводительностью 420 т/ч, выполнено с применением пакета прикладных программ *Ansys Fluent* 19.0. На предварительной стадии разработана 3D-модель газохода котла в соответствии с его реальной конфигурацией и геометрическими размерами (общая длина рассмотренного участка газохода 30 м, площадь поперечного сечения газохода 3,5 м^2), определены размеры расчетной сетки на поверхности газохода, равной 150×150 мм. Газодинамическое течение продуктов сгорания в моделируемом канале прямоугольного сечения рассмотрено при турбулентном режиме движения потока газов в пределах $0{,}8 \cdot 10^6 < Re < 2 \cdot 10^6$.

Как было отмечено ранее, аналитическое определение ПАУ в дымовых газах энергетических котлов осуществляют с применением методов высокоэффективной жидкостной хроматографии, которые на ТЭС практически недоступны. При этом с учетом технологических сложностей отбора пробы, необходимостью ее термостатирования, детектирования отдельных представителей ПАУ, относительная погрешность метода может составлять 25% и более [12 – 15]. Однородность потока дымовых газов оказывает влияние на методику отбора пробы для измерения содержания ЗВ. Газовая проба может быть отобрана в отдельной точке измерительного сечения газохода котла в том случае, если будет доказана однородность распределения измеряемого показателя ЗВ в измерительной плоскости. В случае, если однородность измеряемого показателя ЗВ не будет подтверждена, то инструментальные измерения необходимо проводить во всех точках измерительной сетки, которая условно разбивает измерительное сечение газохода энергетического котла на равные по площади участки. В этой связи применение расчетных методов позволяет обосновать возможность выбора представительного измерительного сечения газохода энергетического котла для установки многоточечных пробоотборных зондов с целью повышения достоверности инструментальных измерений маркерных веществ посредством снижения неравномерности распределения скорости потока уходящих газов и концентрации газообразных ЗВ по сечению газохода [6 – 8].

Кроме того, согласно требованиям ПНСТ 187-2017 при проведении инструментальных измерений производственных выбросов экспериментальным или расчетным способом необходимо подтвердить, что погрешность измерения скорости потока и концентрации ЗВ в газоходе находится в диапазоне ±10%, а в случае оценки массы ЗВ не превышает ±25% [6].

При организации круглосуточного мониторинга выбросов ЗВ средства измерения должны обеспечивать верхний предел измерений не менее 2,5-кратной величины показателя выбросов ЗВ для каждого конкретного ИЗА. Регламентирован осредненный период передачи информации в государственный фонд экологического мониторинга о выбросах ЗВ ТЭС и энергетических предприятий, который составляет 20 мин, при этом вся информация об измеренных показателях выбросов ЗВ на энергетическом предприятии должна храниться не менее 12 месяцев [5, 6].

Обсуждение результатов *(Discussing the results)*

Обеспечение среднеинтегральных значений концентрации ЗВ в представительной измерительной точке газохода котла при проведении инструментальных измерений ПЭК практически невозможно, в силу того, что на разных режимах работы энергетических котлов пробоотборная точка находится в разных сечениях газохода. Поэтому для каждого режима работы котельной установки конкретное измерительное сечение газохода необходимо устанавливать отдельно. Кроме того, для повышения достоверности инструментальных измерений при организации и проведении ПЭК ЗВ для обеспечения требуемой неравномерности концентрационных и скоростных полей рекомендуется использовать многоточечные пробоотборные зонды, которые устанавливают в представительном измерительном сечении по середине каждой стороны газохода.

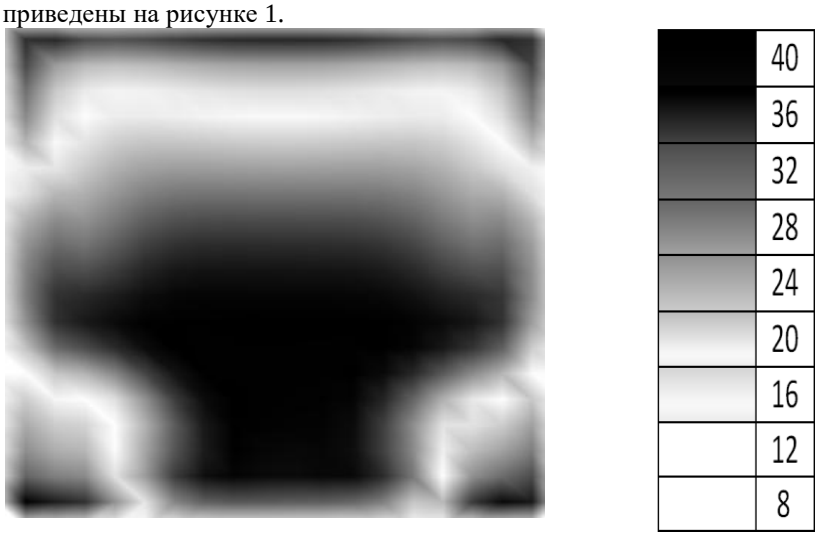
Важно отметить, относительная погрешность, обусловленная отсутствием представительности газовой пробы вследствие значительных локальных отклонений значений средней концентрации и скорости потока от их величин на продольной оси газохода котельной установки, а также влиянием неравномерности распределения температурных полей, которые могут характеризоваться разными режимами работы энергетического котла в реальных условиях может находиться в пределах от 10 до 40%, что

не удовлетворяет требованиям ПНСТ 187-2017 и ИТС 22.1-2016, предъявляемым к представительным измерительным сечениям (плоскостям) или точкам для выполнения инструментальных измерений компонентов газовой пробы при организации и проведении ПЭК. Вследствие возникновения сложности монтажа, эксплуатации и обслуживания измерительных систем при их расположении на дымовых трубах, на практике пробоотборные системы круглосуточного мониторинга выбросов ЗВ рекомендуется устанавливать в газоходах котлов. Кроме того, такое расположение пробоотборников позволяет осуществлять регулирование топочного процесса конкретного энергетической котельной установки [5, 6].

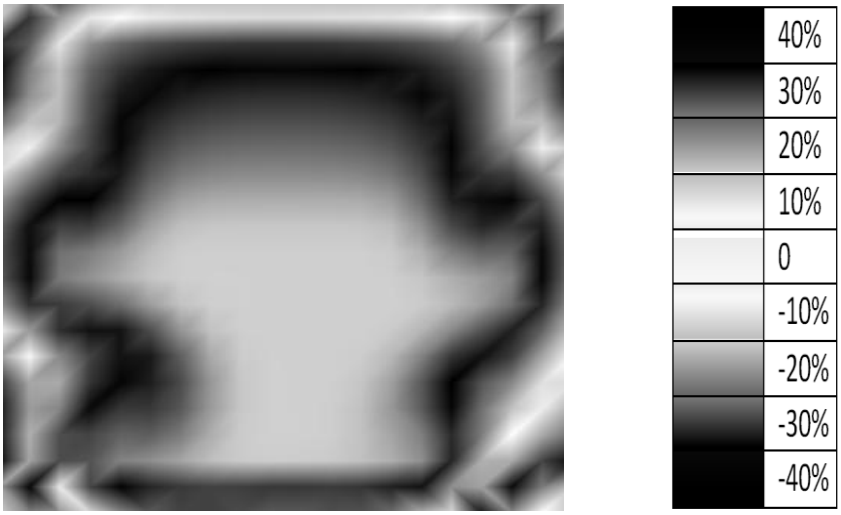
В части решения поставленной задачи исследования на примере котельной установки паропроизводительностью 420 т/ч, работающей на природном газе, выполнено моделирование газодинамического течения продуктов сгорания в канале газохода прямоугольного сечения для обоснования выбора представительного измерительного сечения, характеризующегося величиной неравномерности концентрационных и скоростных полей ЗВ, не превышающей ±10%. Ниже представлены результаты определения неравномерности концентрационных и скоростных полей по расчетным сечениям (после водяного экономайзера, перед дымососом, после дымососа).

Расчетное сечение после водяного экономайзера позволяет по составу продуктов сгорания органического топлива оценить эффективность организации процесса сжигания топлива в котельной установке.

Локальные неравномерности полей в расчетном сечении после водяного экономайзера приведены на рисунке 1.



а) Скорость газов, м/с



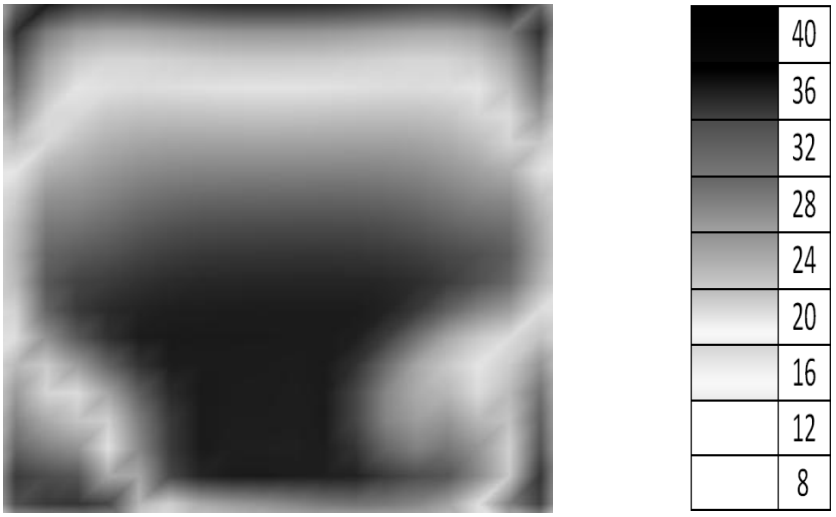
б) Отклонение концентраций

Рис. 1. Локальные неравномерности полей в расчетном сечении после водяного экономайзера: а) скоростное поле; б) концентрационное поле

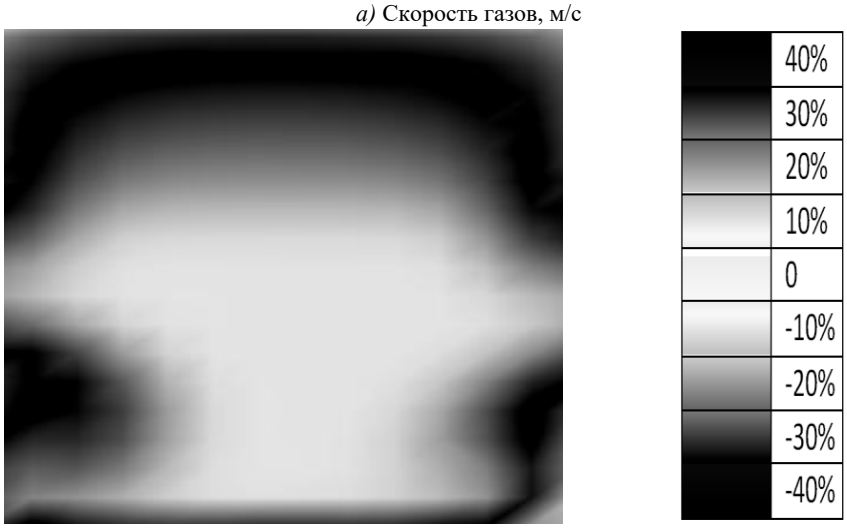
Fig. 1. Local field irregularities in the calculated cross section after the water economizer: a) velocity field; b) concentration field

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

На рисунке 2 представлены локальные неравномерности полей в расчетном сечении газохода перед дымососом. В сечении газохода перед дымососом топочные процессы полностью завершены, однако коэффициент неравномерности концентрационных и скоростных полей (рис. 2. а, б) превышает установленные значения ПНСТ 187-2017, что не позволяет обеспечить выполнение требований ПЭК ЗВ на ТЭС.



а) Скорость газов, м/с



б) Отклонение концентраций

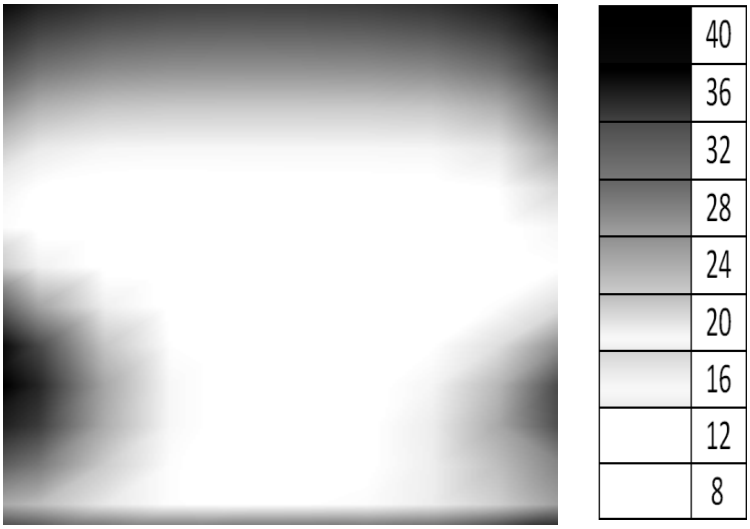
Рис. 2. Локальные неравномерности полей в расчетном сечении газохода перед дымососом: а) скоростное поле; б) концентрационное поле

Fig. 2. Local field irregularities in the design section of the flue in front of the chimney: a) velocity field; b) concentration field

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

Результаты моделирования потока газов в расчетном сечении газохода после дымососа представлены на рисунке 3. Расчетные оценки показывают, что в данном сечении (рис.3. а, б) значения локальных неравномерностей полей концентрации ЗВ и скорости потока дымовых газов соответствуют требованиям ПНСТ 187-2017.

Расчетные оценки, выполненные в ходе исследования, позволили установить, что представительным измерительным сечением для установки многоточечных зондов для организации и проведения ПЭК ЗВ на ТЭС является расчетное сечение газохода котла за дымососом. Результаты компьютерного моделирования показали, что суммарная относительная погрешность измерений концентрации и скорости ЗВ, в том числе ПАУ в данном расчетном сечении находится в диапазоне ±10%, массы ЗВ в пределах ±25%, что соответствует требованиям ПНСТ 187-2017.



а) Скорость газов, м/с

б) Отклонение концентраций

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

Рис. 3. Локальные неравномерности полей в расчетном сечении газохода за дымососом: *а)* скоростное поле; б) концентрационное поле

Fig. 3. Local field irregularities in the design section of the flue behind the chimney: a) velocity field; b) concentration field

Результаты моделирования могут быть использованы при обосновании выбора измерительного сечения при сжигании в котлах угля и мазута, а также при создании систем непрерывного (круглосуточного) контроля и учета выбросов (СНКиУВ) маркерных веществ в атмосферу. Важно отметить, что относительная погрешность измерения концентрационных и скоростных полей в газоходе энергетического котла, сжигающего уголь или мазут, при создании СНКиУВ не должна превышать 10%.

***Заключение** (Conclusions)*

Анализ нормативной базы современного природоохранного законодательства показал, что по сравнению с ИТС 38-2017 требованиями ИТС 38-2022 для энергетических предприятий и ТЭС I категории установлены более жесткие технологические показатели загрязняющих выбросов.

По результатам исследования установлено, что в настоящее время не в полной мере сформирована система технологического регулирования выбросов ЗВ ТЭС, основанная на принципах НДТ.

Сформированы практические рекомендации применения многоточечных пробоотборных зондов, позволяющих обеспечить требуемую достоверность инструментальных измерений на энергетических предприятиях и ТЭС I категории, отличающиеся от известных тем, что расчетным способом доказана возможность организации и проведения ПЭК ЗВ, в том числе ПАУ, согласно ПНСТ 187-2017, при которой относительная погрешность определения концентрации и массы ЗВ в

представительном измерительном сечении газохода котла не превышает ±10%, суммарная относительная погрешность инструментальных измерений массового выброса ЗВ находится в пределах ±25%.

Полученные результаты исследования могут быть использованы на энергетических предприятиях и ТЭС I категории при обосновании выбора контрольного представительного сечения для инструментального измерения концентрации загрязняющих веществ в продуктах сгорания энергетических котлов.

Литература

1. Росляков П.В., Кондратьева О.Е., Дмитренко В.В., Рудомазин В.В. 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., 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.

5. Росляков П. В., Черкасский Е. В., Гусева Т. В., Тихонова И. О., Lundholm M. Технологическое нормирование объектов теплоэлектроэнергетики: наилучшие доступные технологии и нормы общего действия // Теплоэнергетика. 2021. № 10. С. 1 – 13.

6. Росляков П.В., Кондратьева О.Е., Ионкин И.Л., Егорова Л.Е. Обеспечение достоверного непрерывного инструментального контроля выбросов маркерных загрязняющих веществ ТЭС в атмосферу // Теплоэнергетика. 2022. № 1. С. 68 – 77.

7. Теплицкая Т.А. Методы количественного анализа ПАУ для фонового мониторинга загрязняющих веществ // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. 1986. Вып. 4. С. 257 – 262.

8. Филиппов С.П., Павлов П.П., Кейко А.В., Горшков А.Г., Белых Л.И. Экспериментальное определение выбросов сажи и ПАУ котельными и домовыми печами // Известия РАН. Энергетика. 2000. № 3. С. 107 – 117.

9. Иваницкий М.С. Токсичность уходящих газов твердотопливного котла КЕ - 25 - 14С // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 1. С. 77 – 84.

10. 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. № 1. С. 3-9.

11. Иваницкий М.С. Массовые выбросы полициклических ароматических углеводородов при сжигании топлива в котлах ТЭС // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2023. Т. 25. №2. С. 3 – 11.

12. Lara S., Villanueva F., Martín P., et al. Investigation of PAHs, nitrated PAHs and oxygenated PAHs in PM_{10} urban aerosols. A comprehensive data analysis // Chemosphere. 2022. V. 294. pp. 133745.

13. Yan D., Wu S. , Zhou S. , Tong G., Li F., Wang Y., et al. Characteristics, sources and health risk assessment of airborne particulate PAHs in Chinese cities**:** A review // Environmental Pollution. 2019. №248. pp. 804 – 814.

14. Song Y., Zhang Y., Chen W., et al. The cellular effects of $PM_{2.5}$ collected in Chinese Taiyuan and Guangzhou and their associations with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), nitro-PAHs and hydroxy-PAHs // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2020. V. 191. pp. 110225.

15. Lim H., Silvergren S., Spinicci S., Mashayekhy Rad F., Nilsson U., Westerholm R., Johansson Ch. Contribution of wood burning to exposures of PAHs and oxy-PAHs in Eastern Sweden // Atmospheric Chemistry and Physics. 2022. Vol. 22. № 17. pp. 11359 – 11379.

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 «Szhiganie topliva na krupnykh ustanovkakh v tselyakh proizvodstva energii». *Elektricheskie stantsii*. 2022;12 (1097):42-50.

2. Roslyakov PV, Kondrat'eva OE, Guseva TV. Problemy adaptatsii deistvuyushchego oborudovaniya TES k tekhnologicheskim pokazatelyam vybrosov ITS 38-2022 «Szhiganie topliva na krupnykh ustanovkakh v tselyakh proizvodstva energii». *Teploenergetika.* 2023;10:115-123.

3. Vlasenko SA, Roslyakov PV, Serdyukov VA. Metodicheskie podkhody k opredeleniyu tekhnologicheskikh pokazatelei nailuchshikh dostupnykh tekhnologii pri aktualizatsii informatsionno-tekhnicheskogo spravochnika ITS 38-2017 «Szhiganie topliva na krupnykh ustanovkakh v tselyakh proizvodstva energii. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2022;55:31-39.

4. 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.

5. Roslyakov PV, Cherkasskii EV, Guseva TV, et al. Tekhnologicheskoe normirovanie ob"ektov teploelektroenergetiki: nailuchshie dostupnye tekhnologii i normy obshchego deistviy. *Teploenergetika*. 2021;10:1-13.

6. Roslyakov PV, Kondrat'eva OE, Ionkin IL. Obespechenie dostovernogo nepreryvnogo instrumental'nogo kontrolya vybrosov markernykh zagryaznyayushchikh veshchestv TES v atmosferu. *Teploenergetika*. 2022;1:68-77.

7. Teplitskaya TA. Metody kolichestvennogo analiza PAU dlya fonovogo monitoringa zagryaznyayushchikh veshchestv. *Problemy fonovogo monitoringa sostoyaniya prirodnoi sredy*. 1986;4:257-262.

8. Filippov SP, Pavlov PP, Keiko AV, et al. Eksperimental'noe opredelenie vybrosov sazhi i PAU kotel'nymi i domovymi pechami. *Izvestiya RAN. Energetika.* 2000;3:107-117.

9. Ivanitskii MS. Toksichnost' ukhodyashchikh gazov tverdotoplivnogo kotla KE - 25 - 14S. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. 2020;1:77-84.

10. Dmitriev AV, Zinurov VE, Dmitrieva OS, et al. Ochistka gazovykh vybrosov kotel'nykh ustanovok ot tverdykh chastits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. 2020;1:3-9.

11. Ivanitskii MS. Massovye vybrosy politsiklicheskikh aromaticheskikh uglevodorodov pri szhiganii topliva v kotlakh TES. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. 2023;2:3-11.

12. Lara S, Villanueva F, Martín P. Investigation of PAHs, nitrated PAHs and oxygenated PAHs in PM_{10} urban aerosols. A comprehensive data analysis. *Chemosphere*. 2022;294:133745.

13. 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.

14. Song Y, Zhang Y, Chen W. The cellular effects of $PM_{2.5}$ collected in Chinese Taiyuan and Guangzhou and their associations with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), nitro-PAHs and hydroxy-PAHs. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2020;191:110225.

15. Lim H, Silvergren S, Spinicci S, et al. Contribution of wood burning to exposures of PAHs and oxy-PAHs in Eastern Sweden. *Atmospheric Chemistry and Physics.* 2022;22:11359-11379.

Author of the publication

Maxim S. Ivanitskiy – Volzhskiy Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute

Шифр научной специальности: 2.10.2. Экологическая безопасность (в энергетике) 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки). Смежные специальности в рамках группы научной специальности: 2.4.3. Электроэнергетика (технические науки);

Получено ***07.01.2024 г.***

Отредактировано ***09.02.2024 г.***

Принято ***12.02.2024 г.***