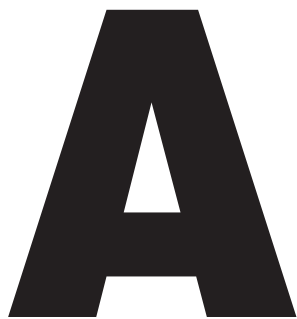


Автоматический контроль выбросов: опыт применения предсказывающих систем

Проанализированы нормативные правовые документы по применению в природоохранной деятельности автоматических систем предсказания выбросов промышленных предприятий. Показано, что такие системы представляют собой разумную альтернативу инструментальным системам контроля выбросов. Выявлена тенденция к распространению практики внедрения технологий моделирования показателей выбросов



В.П. Мешалкин^{1, 2}

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, академик РАН, профессор, д-р техн. наук

Д.О. Скобелев³

Федеральное государственное автономное учреждение «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики» (ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»), канд. экон. наук, dskobelev@eipc.center

А.Ю. Попов⁴

ФГАУ «НИИ «ЦЭПП», канд. хим. наук, a.popov@eipc.center

^{1, 2} заведующий кафедрой, главный научный сотрудник, Москва, Россия

³ директор, Москва, Россия

⁴ старший научный сотрудник отдела химической и нефтехимической промышленности, Москва, Россия

Для цитирования: Мешалкин В.П., Скобелев Д.О., Попов А.Ю. Автоматический контроль выбросов: опыт применения предсказывающих систем // Компетентность / Competency (Russia). — 2020. — № 9–10.
DOI: 10.24411/1993-8780-2020-10902

ключевые слова

наилучшие доступные технологии, охрана окружающей среды, промышленность, загрязнение атмосферы

Автоматические системы предсказания выбросов как специализированные инструменты математического моделирования и непрерывной оценки выбрасываемых загрязняющих веществ представляют собой разумную альтернативу инструментальным системам в случаях, когда научно обоснована взаимосвязь между ограниченным множеством контролируемых переменных состояния технологических процессов и концентрацией образующихся загрязняющих веществ в выбросах. Несмотря на то, что одобрение регуляторами автоматических систем предсказания эмиссий отличается в разных странах, имеется тенденция к распространению практики внедрения технологий моделирования показателей выбросов.

Загрязнение атмосферного воздуха относится к глобальным проблемам человечества. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, 7 миллионов случаев преждевременной смерти связаны с заболеваниями, вызванными загрязнением воздуха [1]. Загрязнение атмосферы происходит как естественным путем, так и в результате антропогенного воздействия. Во второй половине XX века человечество резко усилило негативное воздействие на окружающую среду (ОС), о чем, в частности, свидетельствуют существенные значения «экологического следа» — интегрального индикатора, отражающего степень соответствия сложившейся модели организации и эксплуатации производства емкости биосферы [2].

Для решения задачи снижения нагрузки на ОС, в том числе для уменьшения выбросов загрязняющих веществ, во многих странах мира применяют различные нормативные пра-

вовые и экономические меры воздействия на промышленные предприятия как источники негативного воздействия. К инструментам государственного управления природопользованием относятся: плата за негативное воздействие на ОС; плата за невыполнение требований экологического законодательства; налоги на товары, производство, потребление или утилизация которых наносят ущерб ОС; возвратные депозиты; различного вида субсидии, а также торговля разрешениями на выбросы. Механизм покупки и продажи квот на выбросы парниковых газов и опасных химических веществ, предполагающий фиксацию общего допустимого объема выбросов для определенной территории и распределение этого объема между предприятиями по согласованию, получил название принцип пузыря. Опыт применения такого подхода в США, Канаде и Австралии показывает, что требуемый уровень допустимых выбросов и экологического следа может быть достигнут с наименьшими затратами.

Для принятия эффективных решений о снижении уровня загрязнения, оказываемого конкретным предприятием, необходимо оперативно собрать достоверную информацию о его выбросах, количестве и концентрации вредных веществ. Решение подобных задач возможно путем создания автоматических систем мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы, предназначенных для непрерывного контроля показателей загрязняющих веществ, формирования и передачи данных в центр сбора, обработки и хранения массивов данных [3, 4].

Наиболее массовыми загрязняющими веществами, выбрасываемыми предприятиями теплоэнергетики, чер-

По оценкам Всемирной организации здравоохранения, 7 миллионов случаев преждевременной смерти связаны с заболеваниями, вызванными загрязнением воздуха

ной и цветной металлургии, химической, нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности, а также транспортом, являются диоксид серы, оксиды азота, монооксид углерода, углеводороды и пыль. В связи с негативным влиянием этих загрязняющих веществ на ОС и здоровье человека во многих странах существует законодательное нормирование этих выбросов промышленными предприятиями, а также требования к их измерению и контролю, в том числе автоматическим.

Поскольку оснащение всех источников выбросов автоматическими средствами измерения и учета осложнено рядом технико-экономических проблем, законодательство некоторых стран позволяет проводить учет выбросов с использованием так называемых предсказывающих систем контроля, именуемых в зарубежной литературе как «предиктивные системы» (predictive emission monitoring systems). Предсказывающие системы контроля выбросов позволяют без использования газоанализаторов с определенной точностью прогнозировать концентрации вредных веществ с помощью специально разрабатываемых математических моделей на основании параметров процесса, таких как расход топлива, давление, температура.

Современное технологическое оборудование и технологические установки предприятий химической и других перерабатывающих отраслей промышленности представляют собой технические объекты, которые по объему выполняемых функций, конструктивным особенностям, числу элементов

и другим свойствам (наличие иерархической структуры, свойства эмерджентности и т.п.) относятся к классу сложных химико-технологических систем (ХТС) [5]. В обеспечении экономической и ресурсной эффективности ХТС огромная роль принадлежит современным автоматическим системам управления технологическими процессами [6]. Установление взаимосвязей между набором входных и выходных переменных позволяет описать поведение того или иного процесса и, в частности, вычислить значения концентраций загрязняющих веществ. В зависимости от характера математической модели выявленная взаимосвязь может представлять как причинно-следственную зависимость, так и корреляционное отношение. В первом случае разрабатывают теоретические модели на основе фундаментальных физико-химических принципов (законы термодинамики, химической кинетики, сохранения массы и энергии). Другой тип моделей — эмпирические — основан на статистических закономерностях между рабочими переменными технологического процесса и свойствами выбросов. Корреляцию между этими переменными устанавливают главным образом с применением методов регрессионного анализа, методов машинного обучения и нейросетевого моделирования.

Предсказывающие системы достаточно широко используют при определении показателей выбросов NO, NO₂, CO, CO₂, углеводородов, SO₂, пыли на газотурбинных и угольных электростанциях, на установках каталитического крекинга, синтеза метанола, установках производства серы, печах пиролиза, стекловаренных печах [7]. Низкие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению со стоимостью автоматического инструментального контроля эмиссий при обеспечении равной точности данных о выбросах обуславливают возрастающий интерес к предсказывающим системам, в связи с чем актуальным становится вопрос их нормативного правового регулирования.

Международный опыт

Впервые законодательное регулирование применения предсказывающих систем для непрерывного определения концентраций загрязняющих веществ было осуществлено в США в 1990-х годах. Предсказывающие системы могут быть применены в качестве инструмента контроля эмиссий в соответствии с разделом 40 свода федеральных нормативных актов [8].

Технические требования к характеристикам предсказывающих систем контроля выбросов определены стандартом PS-16 [9]. Стандарт рассматривает испытания, которые должны быть проведены, чтобы подтвердить точность предсказывающей модели.

На территории Европейского союза системы предсказания выбросов распространены в меньших масштабах по сравнению с США и применяются в основном в Нидерландах. Все государства — члены ЕС, а также Исландия, Лихтенштейн, Норвегия и Швейцария (страны Европейской ассоциации свободной торговли) обязаны следовать общим принципам экологической политики. С 2001 года в ЕС действует Директива № 2001/80/ЕС [10], определяющая предельные значения показателей выбросов для крупных топливосжигающих установок тепловой мощностью более 50 МВт. С 2016 года эти установки должны соответствовать Директиве о промышленных выбросах № 2010/75/EU [11], устанавливающей нормы, направленные на предотвращение или снижение загрязнения ОС от промышленной деятельности, а также контроль эмиссий. Каждая страна формирует национальную законодательную базу на основе руководящих принципов ЕС.

Законодательные документы ЕС часто ссылаются на стандарты, описывая требования к техническим характеристикам и к обеспечению качества измерений выбросов. Примером такого стандарта является европейский стандарт EN 14181:2014 [12], устанавливающий три уровня обеспечения качества непрерывного автоматического

контроля выбросов и сроки ежегодных контрольных испытаний. Системы автоматического контроля выбросов могут быть инструментальными или предсказывающими. Предсказывающие системы контроля выбросов должны соответствовать стандартам CEN/TS 17198 [13], разработанным рабочей группой WG37 Технического комитета ТС 246 «Качество воздуха» в 2018 году. При этом Исполнительный акт Европейской комиссии 2017/1442 разрешает их применение только совместно с инструментальными автоматическими системами, за исключением применения на газовых турбинах мощностью менее 100 МВт и работающих менее 1500 часов в год, а также на топливосжигающих установках на морских платформах, для которых разрешено самостоятельное оснащение системами предсказания выбросов.

Работа крупных промышленных предприятий в Нидерландах, первой европейской стране, одобряющей применение предсказывающих систем контроля выбросов, регламентируется Декретом о деятельности, который также ссылается на европейские справочники НДТ. Техническое соглашение NTA 7379 [14] разрешает применение систем предсказания выбросов и определяет требования к ним.

В Германии национальными законодательными актами о контроле эмиссий является федеральный закон о защите окружающей среды от вредного воздействия загрязняющих веществ, шума, вибраций и иных аналогичных факторов BImSchG [15], техническое руководство по сохранению чистоты атмосферного воздуха TA Luft [16], а также особые постановления, директивы и предписания об исполнении федерального закона BImSchV [17]. После публикации европейских справочников НДТ, в которых приводятся диапазоны выбросов для каждого загрязняющего вещества или группы веществ, определяются подлежащие соблюдению пороговые значения выбросов (технологические нормативы). В экологическом разрешении пороговые значения выбросов устанавлива-

На территории Европейского союза системы предсказания выбросов распространены в меньших масштабах по сравнению с США и применяются в основном в Нидерландах

ются для каждого источника выбросов. Для процесса пуска и останова могут применяться специальные нормативы природоохранного регулирования. Техническим руководством TA Luft определены требования к измерительному оборудованию, методам измерений, предельно допустимые значения выбросов (табл. 1), превышение которых влечет требование установки автоматических средств непрерывного контроля [18]. При этом разрешается применять только измерительное оборудование, установленное специализированными независимыми аккредитованными организациями.

Законодательство Великобритании позволяет использовать предсказывающие системы контроля выбросов при условии их проверки путем инструментального измерения выбросов в диапазоне рабочих режимов установки

в соответствии со стандартом EN 14181 и системой сертификации Агентства по охране окружающей среды Англии и Уэльса MCERTS, включая техническое руководство M2 по мониторингу выбросов [19].

Мониторинг выбросов загрязняющих веществ в Китайской Народной Республике регулируется законом «О предотвращении атмосферного загрязнения». Автоматический контроль выбросов загрязняющих веществ регламентируется стандартом HJ/T 76-2007 [20]. Предсказывающие системы широко применяются для контроля выбросов крупных топливосжигающих установок, с 2018 года требования к ним устанавливаются Техническим руководством к системам мониторинга эмиссий дымовых газов тепловых электростанций [21].

Российский опыт

Российская система природоохранного регулирования, основанная на принципах наилучших доступных технологий (НДТ), предусматривает разделение всех промышленных предприятий на четыре категории в зависимости от степени воздействия на ОС [22]. В соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [23] на объектах первой категории, оказывающих значительное негативное воздействие на ОС и относящихся к областям применения НДТ, стационарные источники выбросов загрязняющих веществ должны быть оснащены автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов. Правила создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов и требования к автоматическим средствам измерения, к техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов утверждены Постановлениями Правительства Российской Федерации от 13.03.2019 № 262 [24] и № 263 [25]. Стационарные источники подлежат оснащению автоматическими средствами измерений и учета показателей вы-

Таблица 1
Предельно допустимые значения массового потока загрязняющих веществ в выбросах, указанные в техническом руководстве TA Luft [Maximum permissible values for the mass flow of pollutants in emissions specified in the TA Luft technical manual]

Измеряемый показатель [Measured indicator]	Массовый расход, кг/ч [Mass flow rate, kg/h]
Пыль (устройство для измерения количественных показателей)	> 3
Диоксид серы	30
Сумма оксидов азота (по NO ₂)	30
Монооксид углерода как показатель полноты процесса горения	5
Монооксид углерода во всех остальных случаях	100
Фтор и газообразные неорганические соединения фтора (по HF)	0,3
Газообразные неорганические соединения хлора (по HCl)	1,5
Хлориды	0,3
Сероводород	0,3
Ртуть и ее соединения	0,0025

бросов, если выбросы от них образуются при эксплуатации технических устройств, оборудования или установок, виды которых утверждены Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.03.2019 № 428-р [26], а в составе выбросов присутствуют загрязняющие вещества, массовый выброс которых превышает значения, приведенные в табл. 2.

Разработка системы автоматического контроля осуществляется с учетом применимых положений информационно-технического справочника (ИТС) по НДТ 22.1–2016 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения» [27] и (или) ИТС НДТ для конкретной отрасли промышленности.

Требованиями к содержанию программы производственного экологического контроля [28] определен ряд случаев, при которых для определения показателей загрязняющих веществ в выбросах стационарных источников используются расчетные методы контроля:

- ▶ отсутствие аттестованных в установленном законодательством РФ о единстве измерений порядке методик измерения загрязняющего вещества;
- ▶ отсутствие практической возможности проведения инструментальных измерений выбросов, в том числе высокая температура газовоздушной смеси, высокая скорость потока отходящих газов, сверхнизкое или сверхвысокое давление внутри газохода, отсутствие доступа к источнику выбросов;
- ▶ выбросы данного источника по результатам последней инвентаризации выбросов формируют приземные концентрации загрязняющих веществ или групп суммации в атмосферном воздухе на границе территории объекта менее 0,1 доли предельно допустимых концентраций.

Примером отсутствия практической возможности проведения инструментальных измерений выбросов может являться случай, когда длина прямолинейного участка газохода не позволяет обеспечить соотношение

Таблица 2

**Перечень загрязняющих веществ, подлежащих автоматическому контролю, и значения их массового выброса
[List of pollutants subject to automatic control and their mass release values]**

Измеряемый показатель [Measured indicator]	Массовый расход, кг/ч [Mass flow rate, kg/h]
Взвешенные вещества	3
Диоксид серы	30
Оксид азота и диоксид азота	30
Оксид углерода как показатель полноты сгорания топлива	5
Оксид углерода во всех остальных случаях	100
Фтористый водород	0,3
Хлористый водород	1,5
Сероводород	0,3
Аммиак	1,5

в 5 диаметров после последнего возмущения и 2 диаметра после плоскости отбора проб в соответствии с требованиями ГОСТ Р ЕН 15259–15 [29].

Заключение

Таким образом, несмотря на то, что оснащение источников выбросов автоматическими системами контроля осложнено рядом технико-экономических проблем, связанных с обеспечением проведения отбора и представительности проб, выполнением требований промышленной безопасности, обеспечением надежной и бесперебойной работы, а также высокими капитальными и эксплуатационными затратами, российская система законодательных требований по оснащению автоматическими средствами измерения не предусматривает альтернативы в виде использования предсказывающих систем контроля на основе математических моделей. Между тем современный уровень автоматизации многих технологических процессов в совокупности с возможностями математического моделирования и тенденциями цифровизации промышленных предприятий открывает перспективу внедрения предсказывающих систем контроля выбросов. Для стимулирования интеграции предсказывающих концентрации выбросов математических моделей в системы

*Статья поступила
в редакцию 8.11.20*

автоматического контроля выбросов целесообразно провести мероприятия по совершенствованию текущего законодательства, регламентирующего осуществление автоматического контроля эмиссий на объектах, относящихся к областям применения НДТ. В частности, важно предусмотреть на законодательном уровне применение

предсказывающих систем контроля выбросов в качестве альтернативы инструментальному контролю в обособленных случаях, таких как отсутствие технической возможности оснащения или необходимость проведения дорогостоящих мероприятий по реконструкции стационарных источников выбросов. ■

Список литературы

1. 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action; URL: <https://www.who.int/news-room/air-pollution> (Дата обращения: 14.10.2020).
2. Бобылев С.Н. Устойчивое развитие: новое видение будущего? // Вопросы политической экономии. — 2020. — № 1(21).
3. Кантюков Р.А. и др. Автоматизированная система мониторинга состояния окружающей среды // Химическая промышленность сегодня. — 2015. — № 3.
4. Мешалкин В.П., Лесных В.В., Путилов А.В., Горюноква А.А. Организация мониторинга загрязнения атмосферы химически опасными объектами // Цветные металлы. — 2015. — № 4(868).
5. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем. — М.: Химия, 1991.
6. Бутусов О.В., Ковнеристый Ю.К., Мешалкин В.П., Митин С.Г. Эколого-экономический анализ промышленных предприятий. — М.: Воскресенье, 2003.
7. Грачев В.А., Скобелев Д.О., Попов А.Ю. Развитие предиктивных систем контроля выбросов загрязняющих веществ // Экология и промышленность России. — 2020. — Т. 24. — № 10.
8. U.S. Code of Federal Regulations. Title 40. Protection of Environment.
9. U.S. Performance specification 16 — specifications and test procedures for predictive emission monitoring systems in stationary sources.
10. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants // Official Journal. — L 309.
11. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) // Official Journal. — L 334/18.
12. EN14181:2014. Stationary Source Emissions. Quality Assurance of Automated Measuring Systems.
13. CEN/TS 17198:2018. CEN/TS 17198–2018 Stationary source emissions. Predictive Emission Monitoring Systems (PEMS). Applicability, execution and quality assurance.
14. NTA 7379:2012. Guidelines for Predictive emission monitoring systems (PEMS) — Execution and quality assurance.
15. Act on the Prevention of Harmful Effects on the Environment caused by Air Pollution, Noise, Vibration and Similar Phenomena (BlmSchG) as amended and promulgated on 14 May 1990 // Federal Law Gazette I. 880 P.
16. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control — TA Luft) of 24 July 2002.
17. Federal Immission Control Ordinance (BlmSchV).
18. Молчанова Я.П. и др. Непрерывный производственный экологический контроль: опыт Германии // Экология производства. — 2017. — № 7.
19. Monitoring stack emissions: technical guidance for selecting a monitoring approach (M2). Published 18 December 2019.
20. HJ/T 76–2007. Specification and test procedures for continuous emission monitoring systems of flue gas emitted from stationary sources [Chinese].
21. T/CAEPI 13–2018. Technical guide of process (operating status) monitoring system for flue gas emission from thermal power plant [Chinese].
22. Скобелев Д.О. Математическая модель определения наилучших доступных технологий // Компетентность / Competency (Russia). — 2019. — № 9–10.
23. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
24. Постановление Правительства РФ от 13.03.2019 № 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ».
25. Постановление Правительства РФ от 13.03.2019 № 263 «О требованиях к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, к техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду».
26. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.03.2019 № 428-р «Об утверждении видов технических устройств, оборудования или их совокупности (установок) на объектах I категории, стационарные источники выбросов загрязняющих веществ которых подлежат оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду».
27. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 22.1–2015 «Общие принципы производственного контроля и его метрологического обеспечения».
28. Приказ Минприроды России от 28.02.2018 № 74 «Об утверждении требований к содержанию программы производственного экологического контроля, порядка и сроков представления отчета об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля».
29. ГОСТ Р ЕН 15259–2015. Качество воздуха. Выбросы стационарных источников. Требования к выбору измерительных секций и мест измерений, цели и плану измерений и составлению отчета.

Automatic Emission Control: Experience with Predictive Systems

V.P. Meshalkin^{1,2}, D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, N.S. Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of RAS, Academician of RAS, Prof. Dr.

D.O. Skobelev³, Federal State Autonomous Institution Research Institute Center for Environmental Industrial Policy, PhD

A.Yu. Popov⁴, Federal State Autonomous Institution Research Institute Center for Environmental Industrial Policy, PhD, Chemistry

^{1,2} Head of Department, Chief Researcher, Moscow, Russia

³ Director, Moscow, Russia

⁴ Senior Researcher, Moscow, Russia

Citation: Meshalkin V.P., Skobelev D.O., Popov A.Yu. Automatic Emission Control: Experience with Predictive Systems, *Kompetentnost' / Competency (Russia)*, 2020, no. 9–10, pp. 15–21. DOI: 10.24411/1993-8780-2020-10902

key words

Best Available Techniques, environmental protection, industry, air pollution

The analysis of international legislative practice of application of predictive emission monitoring systems (PEMS) in environmental activities was carried out. It is shown that PEMS as specialized tools of mathematical simulation and continuous assessment of pollutants released represent a reasonable alternative to the instrumental systems in cases when the relationship between a limited number of controlled variables of the state of technological processes and the concentration of the pollutants in emissions is scientifically justified. It has been found that while regulatory approval of PEMS differs from country to country, there is a trend towards the adoption of emission simulation technologies. To stimulate the integration of mathematical models that predict concentrations of emissions into continuous emission monitoring systems, it is advisable to take measures to improve the current legislation governing the implementation of automatic emission control at facilities related to BAT application areas.

References

1. 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action; URL: <https://www.who.int/news-room/air-pollution> (Access data: 14.10.2020).
2. Bobylev S.N. Sustainable development: a new vision of the future? *Questions of political economy*, 2020, no. 1(21), pp. 67–83.
3. Kantyukov R.A., et al. Automated system of monitoring the state of the environment, *Chemical industry today*, 2015, no. 3, pp. 25–32.
4. Meshalkin V.P., Lesnykh V.V., Putilov A.V., Goryunkova A.A. Organization of monitoring of atmospheric pollution by chemical hazardous objects, *Non-ferrous metals*, 2015, no. 4(868), pp. 85–88.
5. Kafarov V.V., Meshalkin V.P. Analysis and synthesis of chemical and technological systems, Moscow, *Chemistry*, 1991, 432 P.
6. Butusov O.V., Kovneristy Yu.K., Meshalkin V. P., Mitin S.G. Ecological and economic analysis of industrial enterprises, Moscow, *Sunday*, 2003.
7. Grachev V.A., Skobelev D.O., Popov A.Yu. Development of predictive systems for controlling pollutant emissions, *Ecology and industry in Russia*, 2020, vol. 24, no. 10, pp. 43–49.
8. U.S. Code of Federal Regulations. Title 40. Protection of Environment.
9. U.S. Performance specification 16 — specifications and test procedures for predictive emission monitoring systems in stationary sources.
10. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants, *Official Journal*, L 309.
11. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), *Official Journal of the European Union*, L 334/18.
12. EN14181:2014 Stationary Source Emissions. Quality Assurance of Automated Measuring Systems.
13. CEN/TS 17198:2018 CEN/TS 17198–2018 Stationary source emissions. Predictive Emission Monitoring Systems (PEMS). Applicability, execution and quality assurance.
14. NTA 7379:2012 Guidelines for Predictive emission monitoring systems (PEMS) — Execution and quality assurance.
15. Act on the Prevention of Harmful Effects on the Environment caused by Air Pollution, Noise, Vibration and Similar Phenomena (BlmSchG) as amended and promulgated on 14 May 1990, *Federal Law Gazette I.*, 880 P.
16. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control — TA Luft) of 24 July 2002.
17. Federal Immission Control Ordinance (BlmSchV).
18. Molchanova Ya.P., et al. Continuous environmental monitoring: the experience of Germany, *Production ecology*, 2017, no. 7, pp. 34–41.
19. Monitoring stack emissions: technical guidance for selecting a monitoring approach (M2). Published 18 December 2019.
20. HJ/T 76–2007 Specification and test procedures for continuous emission monitoring systems of flue gas emitted from stationary sources [Chinese].
21. T/CAEPI 13–2018 Technical guide of process (operating status) monitoring system for flue gas emission from thermal power plant [Chinese].
22. Skobelev D.O. Mathematical model for determining the Best Available Techniques, *Kompetentnost' / Competency (Russia)*, 2019, no. 9–10, pp. 64–67.
23. RF Federal Law of 10.01.2002 N 7-FZ On the protection of the environment.
24. RF Government Decree of 13.03.2019 N 262 On approval of the Rules for the creation and operation of an automatic control system for emissions of pollutants and (or) discharges of pollutants.
25. RF Government Decree of 13.03.2019 N 263 On requirements for automatic means of measuring and recording indicators of emissions of pollutants and (or) discharges of pollutants, to technical means of recording and transmitting information on indicators of emissions of pollutants and (or) discharges of pollutants in the state register of objects that have a negative impact on the environment.
26. RF Government Order of 13.03.2019 N 428-r On approval of technical devices, equipment or their combination (plants) in the objects category I, stationary sources of emissions which are equipped with automatic gages and accounting of emissions of pollutants and (or) discharge of pollutants, as well as technical means of fixation and transfer of information on indicators of emissions of polluting substances and (or) discharge of pollutants into state register of objects, that have a negative impact on the environment.
27. Information and technical guide to the Best Available Technologies ITS 22.1–2015 General principles of production control and its metrological support.
28. RF Ministry of Natural Resources Order of 28.02.2018 N 74 On approval of requirements for the content of the industrial environmental control program, the procedure and deadlines for submitting a report on the organization and results of industrial environmental control.
29. GOST R EN 15259–2015 Air quality. Emissions from stationary sources. Requirements for the selection of measurement sections and measurement locations, measurement goals and plans, and reporting.