

УДК 504.3.054:621.18- 1/-9

М. В. Оводков, В. О. Петров, Ю. М. Кочнов, В. В. Сухов, В. Н. Азаров

ВНИИ «Экология»

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ОТ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНОГО СЕКТОРА В РАМКАХ ПРОВЕДЕНИЯ СВОДНЫХ РАСЧЕТОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Представлены основные результаты работы ФГБУ ВНИИ «Экология» по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от автономных источников теплоснабжения частного сектора для их дальнейшего использования в сводных расчетах загрязнения атмосферного воздуха в рамках федерального проекта «Чистый воздух». Дан алгоритм определения качественных и количественных характеристик выбросов от автономных источников тепла частного сектора при сжигании приоритетных для каждого города видов твердого топлива. Показатели выбросов, полученные расчетными методами, верифицированы путем проведения экспериментальных исследований на экспериментальном стенде в Красноярске, моделирующем работу твердотопливных бытовых отопительных котлов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автономные источники теплоснабжения, выбросы, загрязняющие вещества, сводные расчеты, эксперимент по квотированию, атмосферный воздух.

Введение

В городах и на прилегающих к ним территориях, где проживает 60,49 % городского населения России, атмосферный воздух, как и окружающая среда в целом, подвергается существенному негативному воздействию, источники которого — объекты промышленности, энергетики и транспорта, а также автономные источники тепла частного сектора (АИТ).

Охрана атмосферного воздуха от негативного воздействия выбросов определена как одна из основных составляющих стратегии экологической безопасности страны¹. Позже эта задача конкретизирована, определены целевые показатели — снижение валовых выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу к 2024 г. на 20 % и поэтапное снижение к 2036 г. в 2 раза выбросов опасных ЗВ, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

Для достижения поставленных целей в рамках национального проекта «Экология» стартовал федеральный проект «Чистый воздух», направленный на кардинальное улучшение экологической обстановки и призванный положительно повлиять на благополучие россиян. В рамках данного проекта в соответствии с федеральным законом² в 12 городских округах (Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк,

¹ О стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41879>.

² О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха. ФЗ от 26.07.2019г. № 195-ФЗ. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44483>.

Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита) проводится эксперимент по квотированию выбросов ЗВ в атмосферный воздух.

Позже распоряжением Правительства РФ³ территория эксперимента по квотированию выбросов расширена на 29 новых пилотных городов (Абакан, Астрахань, Барнаул, Иркутск, Махачкала, Ростов-на-Дону, Гусиноозерск, Селенгинск, Улан-Удэ, Кызыл, Черногорск, Петровск-Забайкальский, Ачинск, Лесосибирск, Минусинск, Усурийск, Комсомольск-на-Амуре, Чегдомын, Ангарск, Зима, Свирск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Шелехов, Кемерово, Курган, Искитим, Новочеркасск и Южно-Сахалинск).

Одним из инструментов деятельности, направленной на квотирование выбросов, являются сводные расчеты (СР) загрязнения атмосферного воздуха, представляющие собой расчеты концентраций ЗВ в приземной атмосфере на основе выбросов всех стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха на территории населенных пунктов [1].

Среди основных источников загрязнения атмосферы, участвующих в СР, помимо промышленных источников загрязнения и транспорта включена оценка выбросов от АИТ. Однако методология определения показателей выбросов АИТ, которым посвящена данная статья, на период начала эксперимента по квотированию не была до конца отработана.

1. Особенности определения количественных и качественных характеристик выбросов загрязняющих веществ от АИТ

На сегодняшний день в качестве основного метода определения количественных и качественных показателей выбросов АИТ утвердился расчетный метод на основе методик⁴ с учетом подходов, предложенных сотрудниками АО НИИ «Атмосфера» в работе [2].

Для реализации этого метода наиболее пригодным инструментом служит программа «Котельные малой мощности» версии 1.1.5 от 14.09.2021, разработанная фирмой «Интеграл». Расчеты показателей выбросов АИТ, проведенные с использованием этой программы, позволили определить величины максимальных разовых (г/с) и среднегодовых (т/год) выбросов для всех приоритетных ЗВ, присутствующих в выбросах АИТ. В группу приоритетных ЗВ, образующихся в процессе сжигания топлива в АИТ, вошли: NO₂ — азота диоксид (код 0301), NO — азота оксид (код 0304), SO₂ — серы диоксид (код 0330), СО — углерода оксид (код 0337), БП — бенз(а)пирен (код 0703), ВВ — взвешенные вещества (код 2902), которые образуются только при сжигании в АИТ дров и древесных пеллет. Взвешенные вещества, такие как пыль неор-

³ Об утверждении Перечня городских поселений и городских округов с высоким и очень высоким загрязнением атмосферного воздуха, дополнительно относящихся к территориям эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ. Распоряжение Правительства РФ от 07.07.2022 № 1852-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/351103411?ysclid=m3odbnycce177706268>.

⁴ Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/час. Утв. 05.08.1985 г. URL: https://www.opengost.ru/iso/13_gosty_iso/13040_gost_iso/1304040_gost_iso/3766-metodicheskie-ukazaniya-po-raschetu-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-pri-szhiganii-topliva-v-kotlah-proizvoditelnostyu-do-30-tch.html;

Методика определения выбросов ЗВ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031340?ysclid=m3odhmxr9j337843514>.

ганическая, содержащая двуокись кремния 20...70 %, шамот, цемент, пыль цементного производства (глина, глинистый сланец, доменный шлак, песок, клинкер, зола, кремнезем и др.), код 2908, образуются только при сжигании в АИТ каменных и бурых углей.

В 2023 г. в рамках работ по актуализации СР 2020-го г. проведены расчеты выбросов АИТ первой группы 12 пилотных городов. Основные этапы этих работ проведены ФГБУ ВНИИ «Экология» и опубликованы в работах [1, 3—5].

Параллельно с вышеназванными проделаны работы по подготовке исходных данных и проведению СР для вновь утвержденных 29 пилотных городов⁵.

В рамках данной работы проведен детальный анализ информации для расчета выбросов АИТ с целью включения их как исходных данных в СР.

Для проведения расчетов выбросов АИТ в 29 пилотных городах в процессе переписки с региональными ведомствами и по результатам подворовых обходов определены приоритетные виды топлив, сжигаемых в котлах.

Расчеты выбросов индивидуальных АИТ проведены отдельно для каждого из котлов в зависимости от их марки и расхода сжигаемого топлива для каждого из 29 пилотных городов. Для использования исходных данных в СР проведена суммация выбросов индивидуальных АИТ по специально сформированным площадным источникам.

Обобщенные по 29 пилотным городам результаты расчетов выбросов АИТ, а также информация о выбросах транспортных потоков и промышленных объектов включены в сформированную базу исходных данных для проведения СР.

Представленные в табл. 1 обобщенные данные позволили оценить доли вклада в выбросы от промышленных объектов, автотранспорта и АИТ на пилотных территориях.

Результаты расчетов позволили сравнить информацию о вкладе в загрязнение атмосферы отдельных ИЗА в первой группе 12 пилотных городов, полученную при проведении актуализации СР в 2023 г., и во второй группе 29 новых городов.

Первая группа городов в основном представляет собой промышленные центры, поэтому, как отмечается в работе [6], основными загрязнителями являлись стационарные источники промышленных объектов, вклад которых в загрязнение атмосферы составляет 89 % от общего валового выброса.

Средняя доля вклада выбросов АИТ для этой группы городов не превышает 5,4 %. В большинстве же из 29 городов, дополнительно включенных в эксперимент, средняя доля вклада крупных предприятий в общее загрязнение атмосферы уменьшается до 73,1 %, а средняя доля вклада АИТ существенно возрастает до 25,6 %. При этом следует иметь в виду, что в жилых массивах пилотных городов в отопительный период основной вклад в загрязнение атмосферы вносят выбросы твердотопливных АИТ.

⁵ Об утверждении «Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки». Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 19.11.2021 № 871. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727251276?ysclid=m3odlst25u6464120>.

Т а б л и ц а 1

Вклад промышленных объектов, автотранспорта и АИТ в общий объем выбросов

Город	Численность населения	Площадь города	Выбросы ЗВ						
			Всего	В т. ч. по видам ИЗА					
				стационарные		АИТ		передвижные	
чел.	км ²	т/год	т/год	%	т/год	%	т/год	%	
Искитим	56781	62,20	21805,93	19786,55	90,7	1726,67	7,9	292,71	1,4
Новочеркасск	160782	127,84	208909,89	206245,12	98,7	2231,26	1,1	433,51	0,2
Ростов н/Д	1135968	348,5-	21566,89	15997,26	74,2	1296,80	6,0	4272,83	19,8
Гусиноозерск	24504	13,90	71087,21	63282,08	89,0	7761,90	10,9	43,23	0,1
Южно-Сахалинск	187359	898,27	18360,53	7342,36	40,0	10286,27	56,0	731,90	4,0
Уссурйск	179862	173,00	50304,09	23208,11	46,1	26615,58	52,9	480,40	1,0
Селенгинск	13187	378,16	12303,27	9526,80	77,4	2691,06	21,9	85,41	0,7
Абакан	185348	112,38	67459,57	32176,58	47,6	34507,06	51,2	775,93	1,2
Чегдомын	12672	20,20	10895,87	8249,26	75,7	2633,54	24,2	13,07	0,1
Петровск-Забайкальский	14683	300,00	13188,02	2119,40	16,1	11054,91	83,8	13,71	0,1
Улан-Удэ	436138	365,71	141944,02	35330,95	24,9	105345,5	74,2	1267,56	0,9
Черногорск	77875	117,90	35780,64	7728,15	21,6	27546,05	77,0	506,44	1,4
Минусинск	71792	60,50	28850,27	3867,44	13,4	24788,70	85,9	194,13	0,7
Черемхово	53415	114,00	22486,16	4477,85	20,0	17886,46	79,5	121,85	0,5
Шелехов	41184	31,00	46389,00	44191,21	95,3	2047,44	4,4	150,35	0,3
Кызыл	128149	97,41	48404,71	15972,18	33,0	32337,69	66,8	94,84	0,2
Барнаул	690128	940	97902,93	85967,66	87,8	9821,93	10,0	2113,34	2,2
Комсомольск-на-Амуре	236158	325,10	41319,44	36493,63	88,4	4395,39	10,6	430,42	1,0
Иркутск	611215	279,98	103962,97	84586,87	81,3	16997,42	16,4	2378,68	2,3
Кемерово	549362	294,80	138519,62	108202,49	78,1	29646,5	21,4	670,63	0,5
Курган	305505	393,03	27262,52	14038,07	51,5	12423,91	45,6	800,54	2,9
Лесосибирск	59207	270,83	22600,85	13095,71	57,9	9320,59	41,3	184,55	0,8
Ачинск	101384	104,70	71595,71	54743,07	76,4	16513,53	23,1	339,11	0,5
Ангарск	230058	1150,00	270649,05	267691,18	98,9	1859,14	0,7	1098,73	0,4
Зима	30181	52,85	42203,24	32326,23	76,6	9788,21	23,2	88,8	0,2
Свирск	15333	38,62	5467,81	2946,94	53,9	2493,61	45,6	27,26	0,5
Усолье-Сибирское	73507	74,00	38269,06	27106,56	70,8	10966,63	28,7	195,87	0,5
Астрахань	468842	208,69	7870,22	5833,33	74,1	418,29	5,4	1618,6	20,5
Махачкала	759521	468,23	13403,42	11005,83	82,1	315,48	2,4	2082,11	15,5

2. Организация и проведение экспериментальных исследований выбросов АИТ на экологическом стенде

Легитимность расчетных показателей может обеспечить их верификация на основе инструментальных замеров показателей выбросов АИТ.

С целью верификации данных о величине выбросов ЗВ в атмосферный воздух от АИТ, полученных расчетным путем в рамках работ по проведению сводных расчетов для 29 пилотных городов, по заданию ФГБУ ВНИИ «Экология» спроектирована и смонтирована фирмой ООО «Крас-Котел» в Красноярске, как титульном пилотном городе с ярко выраженной проблематикой выбросов АИТ, модульная котельная установка МКУ-38 (экологический стенд), позволяющая параллельно моделировать работу 2 бытовых твердотопливных котлов различных типов.

При подготовке к проведению экспериментальных исследований проведен анализ АИТ, эксплуатируемых в частном секторе всех 29 пилотных городов. Установлено, что в этих городах используются, главным образом, твердотопливные отопительные водогрейные котлы номинальной мощностью 18...20 кВт следующих типов: полуавтоматические с ручной подачей топлива и автоматической (реже с ручной) подачей воздуха и автоматические, в которых подача топлива и воздуха автоматизированы. На основе проведенного анализа для проведения исследований на экологическом стенде подобраны следующие отопительные водогрейные твердотопливные котлы: полуавтоматический котел Alpha и автоматический котел Optimum, основные характеристики которых приведены в их паспортах⁶.

Данные о марках АИТ и используемых видах топлива, полученные в рамках взаимодействия с регионами, являются основанием для моделирования условий сжигания на экологическом стенде с целью верификации расчетных показателей с экспериментальными данными. Для проведения исследований на экологическом стенде закуплен 31 образец приоритетных видов твердых топлив, сжигаемых в АИТ на всех территориях эксперимента.

Экологический стенд представляет собой транспортабельный блок-модуль в объеме 40-футового морского контейнера, в котором размещено технологическое оборудование, позволяющее проводить измерения основных параметров дымовых газов в автономных системах отвода продуктов сгорания топлива от двух типов АИТ. Экологический стенд состоит из следующих основных элементов и систем:

- утепленный блок-модуль;
- АИТ (2 шт.);
- дымовые трубы (газоходы для отвода продуктов сгорания от АИТ);
- насосное оборудование;
- расходные бункеры топлива;
- система рециркуляции;
- система вентиляции;
- система электроснабжения и автоматизации.

⁶ Технический паспорт и руководство по эксплуатации. Котел твердотопливный Alpha. 2020. 44 с.

Котлы отопительные водогрейные промышленные марки Optimum. Паспорт. Руководство по эксплуатации. 2022. 45 с.

В качестве основного оборудования на экологическом стенде установлены оснащенные автономными системами отвода продуктов сгорания отопительные водогрейные твердотопливные котлы: полуавтоматический Alpha и автоматический Optimum. Основной задачей экологического стенда явилось обеспечение проведения экспериментальных исследований по определению показателей выбросов ЗВ в составе дымовых газов. Системы отвода газов для контроля на экологическом стенде выбросов от АИТ различных типов приведены на рис. 1. Следует обратить внимание, что побудителем движения продуктов сгорания в этих схемах служат, в большей степени, дутьевые вентиляторы, которыми оборудованы АИТ, чем разрежение, создаваемое дымовой трубой.

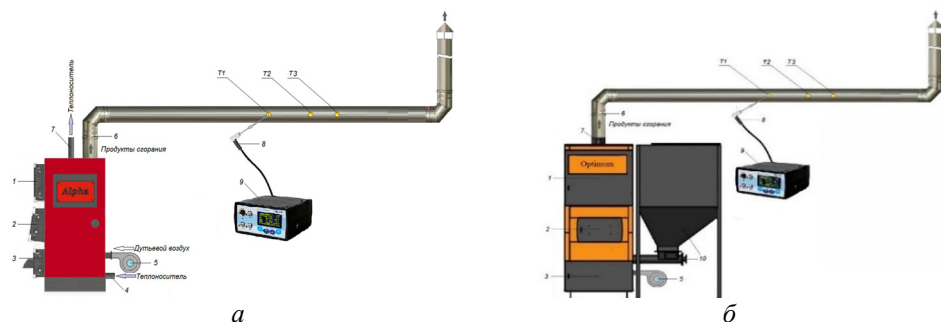


Рис. 1. Системы отвода газов для контроля на экологическом стенде выбросов от АИТ различных типов: *а* — полуавтоматический; *б* — автоматический:
1 — дверь теплообменника, 2 — дверь топki, 3 — дверь зольника, 4 — труба обратной линии теплоносителя, 5 — вентилятор поддува, 6 — дымовая труба, 7 — труба подачи теплоносителя, 8 — датчик газоанализатора, 9 — газоанализатор «Полар», 10 — топливный бункер со шнековым механизмом загрузки

Системы отвода газов приспособлены для проведения контроля содержания в дымовых газах оксидов азота (NO_x), оксида углерода (CO), сернистого ангидрида (SO_2), взвешенных веществ (по коду 2908 — пыль неорганическую, содержащая двуокись кремния... при использовании в качестве топлива каменных или бурых углей либо по коду 2902 — взвешенные вещества при сжигании дров и пеллет, БП, кислород), а также параметров газовой смеси (ГВС): скорость потока, температура, давление и влажность газов в месте установки зонда. Для проведения данных исследований в дымовых трубах АИТ оборудованы указанные на схемах (см. рис. 1) точки отбора проб ГВС для анализа или размещения датчиков измерительных приборов:

Т1 — место установки датчика анализатора «Полар», позволяющего осуществлять непрерывный контроль содержания в ГВС оксида азота (NO), диоксида азота (NO_2), суммы оксидов азота (NO_x), оксида углерода (CO), сернистого ангидрида (SO_2), кислорода (O_2) и, при необходимости, диоксида углерода CO_2 ;

Т2 — место проведения периодического отбора проб ГВС для анализа на содержание в них ВВ и БП, а также (при необходимости) NO_x , CO , SO_2 ;

Т3 — место контроля параметров ГВС: температуры, скорости потока, давления.

Места отбора проб на экологическом стенде выбраны с учетом соблюдения следующих основных требований:

- место отбора должно находиться на прямом участке газохода на достаточном расстоянии от мест изменения направления потока газозвушной смеси (колена, отвода и т. д.) или площади поперечного сечения газохода (задвижки, дросселирующих устройств и т. д.);
- отрезок прямого участка газохода до места отбора проб длиннее отрезка за местом отбора проб;
- длина прямого участка газохода составляет не менее 4...5 эквивалентных диаметров газохода;
- расположение мест отбора проб обеспечивает безопасную работу персонала;
- входные отверстия внутри газохода выполнены с минимальным нарушением поверхностных слоев газохода и отсутствием утечки газа или подсоса воздуха в месте измерений.

В процессе проведения исследований отбор проб выбросов от сжигания твердого топлива в АИТ производился в соответствии с требованиями следующих действующих рекомендаций и стандартов:

1. При определении параметров газопылевого потока:

ГОСТ 17.2.4.06.90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения;

ГОСТ 17.2.4.07—90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.

2. При определении запыленности газопылевых потоков (содержание взвешенных частиц):

ГОСТ 33007—2014. Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газовых потоков. Общие технические требования и методы контроля;

ПНД Ф 12.1.2—99. Методические рекомендации по отбору проб при определении концентраций взвешенных частиц (пыли) в выбросах промышленных предприятий.

3. При контроле концентрации БП:

ПНД Ф 13.1.76—15 (ФР.1.31.2015.20717). Определение бенз(а)пирена в источниках загрязнения атмосферы (промвыбросах).

4. При определении концентрации отдельных газообразных загрязнителей в ГВС:

ПНД Ф 12.1.1—99. Методические рекомендации по отбору проб при определении концентрации вредных веществ промышленных предприятий;

Методических указаний по оборудованию мест отбора проб при экоаналитическом контроле промышленных выбросов в атмосферу (утв. 30.09.2002 НИИ «Атмосфера», ФГУ «ЦЭКА»).

В сентябре — ноябре 2023 г. проведены экспериментальные исследования выбросов АИТ на экологическом стенде на площадке ООО «Крас-Котел» в Красноярске. К проведению измерений в процессе исследований привлекалась испытательная лаборатория ООО «Эксперт», аккредитованная в национальной системе аккредитации (уникальный номер записи об аккредитации в

реестре аккредитованных лиц № RA.RU.21АН40) на выполнение отбора проб и измерения концентраций химических веществ в атмосферном воздухе и промышленных выбросах согласно ГОСТ ISO/IEC 17025—2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

Для проведения непрерывного контроля выбросов использовался поименованный в аттестате аккредитации испытательной лаборатории многокомпонентный газоанализатор «Полар», позволяющий в соответствии с ПЛЦК.413411.001 МВИ⁷ осуществлять непрерывный контроль содержания в дымовых газах NO, NO₂, NO_x, CO, SO₂, O₂ и, при необходимости, CO₂, а также параметры ГВС.

Экспериментальные исследования на экологическом стенде исходили из того, что для сжигания в каждом из исследуемых АИТ закуплена 31 марка твердого топлива, получившего широкое использование во всех 29 пилотных городах. Минимальное количество закупаемого топлива рассчитано из необходимости обеспечения полной загрузки топочной камеры каждого АИТ более 3 раз.

Порядок проведения исследований на экологическом стенде разработан ФГБУ ВНИИ «Экология» и подробно изложен в техническом задании на проведение работ для ООО «Крас-Котел» и ООО «Эксперт».

Исследования на экологическом стенде разделены на два периода, соответствующих режимам сжигания топлива: режим розжига, отличающийся нестационарностью горения топлива, и режим стационарного горения, отличающийся стабилизацией процесса горения.

При проведении исследований для каждого из двух типов котлов придерживались следующего порядка:

1. Период розжига АИТ

1.1. В прямолинейном участке газохода АИТ в точке Т1 (см. рис. 1) через специально предусмотренную врезку, не нарушающую установившийся поток газов в газоходе, устанавливается зонд автоматического газоанализатора с референтным методом измерений, предназначенного для непрерывного измерения выбросов (NO_x, CO, SO₂, O₂) и параметров ГВС (скорость потока, температура газов и давление в месте установки зонда). Если для определения параметров отходящей ГВС не предусмотрено использовать газоанализатор, то через врезку на прямолинейном участке газохода в точке Т3 (см. рис. 1), производится их контроль в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.4.06.90.

1.2. Согласно паспортным данным на исследуемый АИТ производится полная загрузка топочной камеры и устанавливается расход окислителя (воздуха). Производится розжиг АИТ.

1.3. Включается газоанализатор (многокомпонентный газоанализатор «Полар») и производится непрерывный контроль содержания в выбросах АИТ NO_x, CO, SO₂, O₂, а также параметров ГВС уходящих газов (если позволяет газоанализатор). При проведении непрерывного контроля ограничиваются измерением только суммы оксидов азота (NO_x), т. к. содержание оксида

⁷ ПЛЦК.413411.001 МВИ. Газоанализаторы многокомпонентные «Полар». Методика выполнения измерений. URL: <https://www.promecopribor.ru/news/polucheno-ekspertnoe-zaklyuchenie-na-mvi-dlya-gazoanalizatorov-polar?ysclid=m3olv4ppi1557743545>.

и диоксида азота в выбросах АИТ претерпевает существенные изменения по длине газохода и при дальнейшем рассеивании в атмосферном воздухе.

1.4. Через врезку на прямолинейном участке газохода в точке Т2 (см. рис. 1) производится отбор проб ГВС для удаленного контроля в лаборатории содержания в них БП и ВВ методами, прописанными в аттестате аккредитации испытательной лаборатории. Проба на ВВ в этом периоде отбирается в течении 20 мин.

Параметры ГВС в процессе отбора проб определяются по показаниям газоанализатора (если это предусмотрено) либо контролем в точке Т3, как показано в п. 1.1.

В случае, если газоанализатор не аттестован в установленном порядке, то в точке газохода Т2 дополнительно производится отбор проб NO_x , CO , SO_2 для удаленного контроля их содержания в ГВС методами, прописанными в аттестате аккредитации испытательной лаборатории.

1.5. После того, как газоанализатор укажет на стабилизацию показателей горения (не менее чем через 0,5 ч) можно перейти к следующему этапу исследований.

2. Стационарный режим горения топлива в АИТ

2.1. Согласно паспортным данным на АИТ устанавливается рекомендуемый производителем расход топлива или окислителя (воздуха).

2.2. Порядок проведения измерений в этом периоде аналогичен порядку, описанному в п. 1. «Период розжига АИТ».

2.3. В процессе горения с помощью автоматического газоанализатора через 20...30 мин после выхода на стационарный режим определяются показатели ГВС, осуществляется однократный дополнительный отбор проб для проведения анализа выбросов NO_x , CO , SO_2 , ВВ, БП в лабораторных условиях. Если газоанализатор аттестован на проведение непрерывного контроля, то результаты лабораторного контроля можно ограничить только отбором проб для анализа выбросов БП и ВВ. Пробу на ВВ отбирают в течении 20 мин. в этом периоде.

2.4. Варьируя расход топлива или воздуха при необходимости проведения исследований для изучения выбросов АИТ в различных режимах работы, устанавливают требуемый режим горения. Порядок проведения измерений в этом периоде аналогичен порядку, описанному в п. 1.

Результаты исследований на экологическом стенде представляются в виде протоколов, в которых указываются концентрации ($\text{мг}/\text{м}^3$) контролируемых ЗВ и параметры ГВС, а также рассчитанные на их основе массовые выбросы ($\text{г}/\text{с}$). Если в течении определенного периода проводится несколько измерений, то на основе экспериментальных данных прибегают к расчету усредненных показателей выбросов ЗВ по формуле:

$$m_{ij} = \frac{c_{1ij}V_1 + c_{2ij}V_2}{2 \cdot 1000}, \quad (1)$$

где m_{ij} — значение усредненного массового выброса i -го загрязняющего вещества в j -м режиме работы АИТ, $\text{г}/\text{с}$; c_{1ij} , c_{2ij} — значения массовых концентраций i -го загрязняющего вещества по результатам исследования проб,

полученных при последовательном отборе в j -м режиме работы АИТ (мг/м^3); 1000 — коэффициент пересчета из мг в г.

Использование автоматического газоанализатора типа «Поляр» позволяет определять усредненные показатели выбросов за выбранный период измерений, а, при необходимости, и максимальные их значения за этот период.

Другим не менее значимым показателем, характеризующим выбросы АИТ, является удельный выброс (г/кг), который показывает какая масса загрязняющего вещества выбрасывается при сжигании единицы топлива (кг). Рассчитать удельные выбросы можно по формуле:

$$m_{yij} = \frac{m_{ij}}{m_{Tj}}, \quad (2)$$

где m_{yij} — значение удельного массового выброса i -го загрязняющего вещества в j -м режиме работы АИТ, г/кг ; m_{ij} — значение усредненного массового выброса i -го загрязняющего вещества в j -м режиме работы котла; m_{Tj} — значения массового расхода топлива, определенное в j -м режиме работы АИТ, кг/с . Величина массового расхода топлива определяется по формуле:

$$m_{Tj} = \frac{M_{1j} - M_{2j}}{t_j}, \quad \text{кг/с} \quad (3)$$

где m_{Tj} — значения массового расхода топлива, определенное в j -м режиме работы АИТ, кг/с ; M_{1j} , M_{2j} — масса топлива, загруженного в топочную камеру в начале периода и в конце его, кг ; t_j — длительность периода исследований, с .

Методология определения исходных показателей выбросов АИТ на основе экспериментальных данных разработана ранее и изложена в [3, 4].

3. Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных показателей выбросов АИТ

В качестве основного показателя, принятого для проведения сравнительного анализа, выбран удельный выброс загрязняющего вещества (г/кг). Этот показатель позволяет сопоставить эксплуатационные параметры АИТ в условиях проводимого эксперимента, опираясь на информацию производителя котлов, с расчетными данными, основанными на информации, полученной от муниципальных органов власти 29 пилотных городов. Удельные показатели выбросов позволяют как учитывать специфические конструктивные особенности АИТ, так и приближать показатели к сопоставимым условиям эксплуатации, включая расход топлива.

При проведении сравнительного анализа пришлось учесть и тот факт, что показатели удельных выбросов, полученные расчетным методом для отдельных АИТ, усреднены по всему периоду их работы, в то время как при проведении экспериментальных исследований эти показатели определялись отдельно для периодов розжига и стационарного горения. Учитывая, что для проведения сводных расчетов АИТ сгруппированы как площадные источники количеством в несколько десятков и даже сотен единиц, то экспериментальные показатели удельных выбросов можно усреднить по периодам сжигания топлива. Для этого можно воспользоваться формулой:

Проведенный анализ показал, что по всем ЗВ удельные показатели выбросов от АИТ, полученные экспериментальным путем, достаточно хорошо коррелируют и практически не превышают показателей, полученных расчетным методом. Это позволяет рекомендовать использование расчетного метода в качестве основного при формировании базы данных для проведения СР в части выбросов АИТ.

Отдельно следует обратить внимание на достаточно тесную связь показателей выбросов, полученных расчетным методом, с основными характеристиками сжигаемых топлив: содержание серы в рабочей массе C^p , низшая рабочая теплота сгорания топлива Q_n^p , зольность топлива A^p , показанными на рис. 2—4, что также указывает на предпочтительное использование расчетных методов для определения выбросов от АИТ.

Таким образом, применение расчетных методов позволяет значительно сократить затраты на определение величин выбросов АИТ, избавиться от погрешностей субъективного характера при проведении экспериментальных исследований и расширить область включаемых в расчет типов АИТ и видов сжигаемого в них топлива без существенных затрат.

Заключение

В процессе проведения СР в рамках эксперимента по квотированию выбросов ВНИИ «Экология» выполнены экспериментальные исследования, позволившие смоделировать выбросы и вклады в концентрации АИТ, как одного из важнейших источников загрязнения атмосферы в пилотных городах [7].

Сравнение показателей выбросов от АИТ, полученных расчетными методами, с результатами экспериментальных исследований на экологическом стенде выявило их хорошую корреляцию. При этом расчетные показатели выбросов, в основном, превышали аналогичные показатели, полученные путем экспериментальных исследований. Это позволило рекомендовать использование расчетных методов в качестве основных при формировании базы данных по выбросам АИТ для проведения СР. Применение же методологии проведения экспериментальных исследований АИТ на экологическом стенде, разработанной ВНИИ «Экология», может и должно служить основой для проведения исследований с целью верификации расчетных показателей выбросов АИТ в случае применения оригинальных (нетиповых) методов сжигания топлива и других параметров котлов.

М. В. Оводков, являющийся доцентом кафедры экологической и промышленной безопасности Института тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова РТУ МИРЭА, включил настоящие материалы процесс при проведении лекционных и практических занятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оводков М. В., Баранникова С. И., Азаров В. Н. Актуализация сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 211—223.
2. Шемяков П. М., Федотова Е. С., Панфилов В. С. Методические подходы к определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от автономных источников теплоснабжения // Охрана атмосферного воздуха. Новые подходы и пути решения: сб-к тр. к XXV экологическому конгрессу «Атмосфера». СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. С. 151—167.
3. Путьгин Д. П., Кочнов Ю. М., Оводков М. В. Оценка выбросов загрязняющих веществ от сжигания твердых видов топлива в автономных источниках теплоты для их учета в сводных

расчетах загрязнения атмосферного воздуха // Охрана окружающей среды и заповедное дело. 2023. Т. IV. № 2(10). С. 84—101.

4. *Путятин Д. П., Кочнов Ю. М., Оводков М. В.* Разработка методических подходов к оценке выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от автономных источников теплоты частного сектора в рамках эксперимента по квотированию выбросов // Справочник эколога. 2023. № 10(130). С. 100—107.

5. Учет выбросов загрязняющих веществ от автономных источников теплоснабжения индивидуальных жилых домов при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха для населенных пунктов / М. В. Волкодаева, А. О. Карелин, А. Ю. Ломтев, Я. С. Канчан, А. В. Левкин, С. Д. Тимин // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 2. С. 141—147.

6. *Оводков М. В., Миронова А. Д., Никитин М. В., Ткачев М. В.* О выполнении дорожной карты актуализации и проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха в 2023 году // Охрана окружающей среды и заповедное дело. 2023. Т. 4. № 4. С. 77—94.

7. *Путятин Д. П., Оводков М. В., Азаров В. Н.* Актуальные задачи эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и подходы к их решению // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 209—221.

© *Оводков М. В., Петров В. О., Кочнов Ю. М., Сухов В. В., Азаров В. Н., 2024*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2024 г.*

Ссылка для цитирования:

Особенности экспериментальной оценки выбросов от автономных источников теплоснабжения частного сектора в рамках проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха / М. В. Оводков, В. О. Петров, Ю. М. Кочнов, В. В. Сухов, В. Н. Азаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 229—243. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_229.

Об авторах:

Оводков Михаил Владимирович — руководитель научно-методического центра экологического моделирования, прогнозирования и оценок, ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4; m.ovodkov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0003-4036-102X

Петров Вадим Олегович — ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4; v.petrov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0002-2392-2879

Кочнов Юрий Михайлович — ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4; y.kochnov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0000-5807-3155

Сухов Всеволод Вадимович — ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4; v.suhov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0004-3995-5151

Азаров Валерий Николаевич — д-р техн. наук, проф. ВНИИ «Экология». Российская Федерация, 117628, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4; azarovpubl@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0944-0232

Mikhail V. Ovodkov, Vadim O. Petrov, Yuri M. Kochnov, Vsevolod V. Sukhov, Valerii N. Azarov

All-Russian Research Institute Environment

FEATURES OF THE EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERIC AIR BY AUTONOMOUS HEAT SUPPLY SOURCES OF THE PRIVATE SECTOR

The article presents the main results of the work of the All-Russian Research Institute Environment on the definition of emissions of pollutants from autonomous heat supply sources of the private sector and their introduction into the system of summary calculations of atmospheric air pollution in pilot cities of the experiment on emission quotas conducted within the framework of the federal

project “Clean Air”. An algorithm is given for determining the qualitative and quantitative characteristics of emissions from autonomous heat sources of the private sector when burning priority fuels for each city. The emission indicators obtained by calculation methods were verified by conducting experimental studies simulating the operation of solid-fuel domestic heating boilers at an experimental stand in Krasnoyarsk.

Key words: autonomous sources of heat supply, emissions, pollutants, summary calculations, quota experiment, atmospheric air.

For citation:

Ovodkov M. V., Petrov V. O., Kochnov Yu. M., Sukhov V. V., Azarov V. N. [Features of the experimental assessment of emissions of pollutants into the atmospheric air by autonomous heat supply sources of the private sector]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 4, pp. 229—243. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_229.

About authors:

Mikhail V. Ovodkov — Head of the Scientific and Methodological Center for Ecological Modeling, Forecasting and Assessments, All-Russian Research Institute Environment. 1, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation; m.ovodkov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0003-4036-102X

Vadim O. Petrov — All-Russian Research Institute Environment. 1, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation; v.petrov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0002-2392-2879

Yuri M. Kochnov — All-Russian Research Institute Environment. 1, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation; y.kochnov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0000-5807-3155

Vsevolod V. Sukhov — All-Russian Research Institute Environment. 1, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation; v.suhov@vniiecolology.ru; ORCID: 0009-0004-3995-5151

Valerii N. Azarov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, All-Russian Research Institute Environment. 1, 36 km MKAD, Moscow, 117628, Russian Federation; azarovpubl@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0944-0232