

В.И. Емельянчиков, канд. тех. наук, Ю.Ю. Елисеенко

Разработка устройств для измерения и контроля вредных выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников загрязнения

Одним из загрязнителей атмосферного воздуха в Республике Беларусь являются объекты воздействия, имеющие стационарные источники выбросов загрязняющих веществ. В настоящее время интенсивно развивается мониторинг выбросов вредных веществ (ВВ), поступающих в атмосферу с отходящими газами от стационарных источников загрязнения.

В качестве средств измерений (СИ) применяются переносные и стационарные газоанализаторы и измерители скорости газового потока. На базе стационарных автоматических средств измерения проектируются и устанавливаются автоматизированные системы контроля (АСК) выбросов. Среди них достаточно экономичной является система с измерительным сечением на дымовой трубе. В этом случае применяется одна АСК выбросов вместо нескольких, размещаемых на каждом парогенераторе, технологической установке, подключенных к этой трубе.

При этом:

- а) поперечные сечения дымовых труб, «боровов», газоходов используются как измерительные;
- б) выбор мест этих сечений выполняется согласно ГОСТ 17.2.4.06-90 «Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения» (далее — ГОСТ 17.2.4.06-90), РД 153-34.1-11.353-2001 «Методика выполнения измерений массовых выбросов загрязняющих веществ от котельных установок с применением газоанализаторов с электрохимическими датчиками» (далее — РД 153-34.1-11.353-2001);
- в) в этих сечениях поля скорости потока, концентрации ВВ и температуры газов неравномерны.



Поля скорости и концентрации продуктов сгорания в дымовой трубе рассмотрены посредством моделирования в Исследовании полей скоростей и концентраций продуктов сгорания в дымовой трубе $T \ni C^1$. В статье отмечается, что неравномерность полей зачастую является источником доминирующих составляющих общей погрешности измерения выбросов ВВ, которая для газообразных ВВ не должна превышать ± 20 %.

В настоящее время велика вероятность того, что внедряемые АСК выбросов имеют погрешность, превышающую указанное значение. В будущем такие системы придется модернизировать или списывать.

Для уменьшения величин погрешностей от неравномерности упоминаемых полей или оценки величин этих погрешностей в Российской Федерации:

- а) определяют характеристики измерительного сечения (средние значения по сечению концентрации ВВ и скорости потока, а также коэффициенты неравномерности этих полей (КНП));
- б) в результаты прямых измерений концентрации и скорости вводят КНП в виде поправочных коэффициентов или ограничиваются тем, что оценивают величины погрешностей от неравномерности полей².

В существующих условиях возросла необходимость определения упомянутых характеристик измерительного сечения и, соответственно, возросла значимость ГОСТ 17.2.4.06-90 и РД 153-34.1-11.353-2001.

Измерения по ГОСТ 17.2.4.06-90 и РД 153-34.1-11.353-2001 являются достаточно трудоемкими, т.к. необходимо выполнить разбивку измерительного сечения на равновеликие по площади участки, количество которых зависит от диаметра сечения и соотношения длины прямого участка к этому диаметру. Центры тяжести этих участков принимают за точки измерений. Их количество может достигать 36 и более. Такие измерения в дымовых трубах на отметках 50-150 м при диаметре трубы в месте измерений 5-10 м еще более трудоемки, чем измерения в конвективном газоходе парогенератора, и практически нереализуемы.

Поэтому необходимо:

- уменьшить трудоемкость измерений и сделать их возможными в любом сечении;
- увеличить точность измерения концентрации ВВ, скорости газового потока и выбросов ВВ в таких автоматизированных системах, а также увеличить точность контроля выбросов переносными СИ.

Авторами разработаны и изготовлены образцы устройств, позволяющие решить упомянутые задачи³.

Устройства, работающие в дымовых газах с температурой 70–170 °C, показаны на рис.1 и рис. 2.

¹Исследование полей скоростей и концентраций продуктов сгорания в дымовой трубе ТЭС / П.В. Росляков, И.А. Закиров, И.Л. Ионкин, Д.Е. Егорова, Л.Л. Новожилова // Теплоэнергетика. 2006. № 5. С. 17—25.

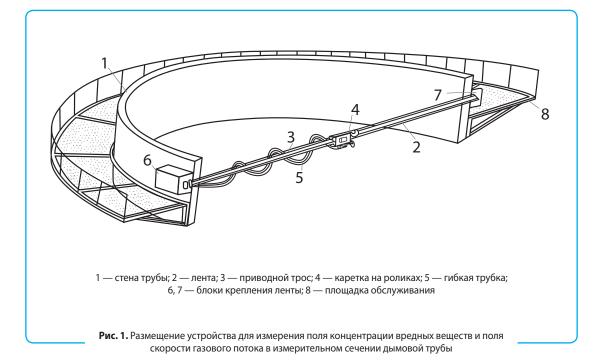
² ΓΟCT 17.2.4.06-90.

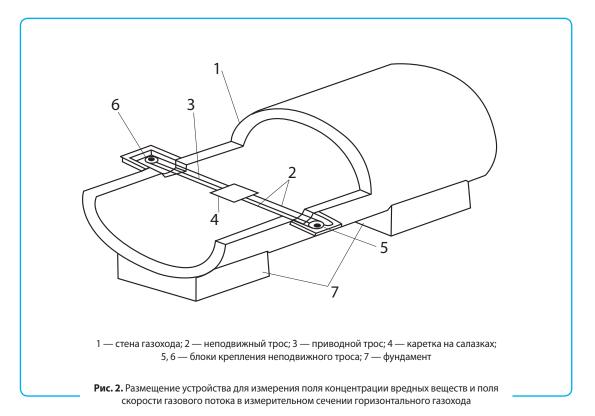
РД 153-34.1-11.353-2001.

Исследование полей скоростей и концентраций продуктов сгорания в дымовой трубе ТЭС / П.В. Росляков, И.А. Закиров, И.Л. Ионкин, Д.Е. Егорова, Л.Л. Новожилова // Теплоэнергетика. 2006. № 5. С. 17—25.

³ *Емельянчиков В.И., Елисеенко Ю.Ю.* Теплотехнические измерения на газоходах котлоагрегатов // Энергетика и ТЭК. 2012. № 7/8. C.52-53.

Емельянчиков В.И. Автоматизированная система контроля выбросов вредных веществ в атмосферу для дымовых труб ТЭЦ и котельных // Энергетика и ТЭК. 2011. № 7/8. С. 46-47.

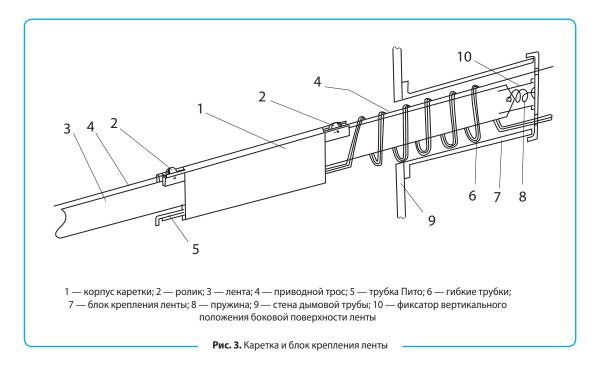






Характеристики одного из устройств, предназначенного для работы в дымовой трубе, приведены в таблице

Таблица				
Название узла, блока, СИ	Размеры, мм	Вес, кг	Материал	Диапазон температур анализируемых газов, °C
Каретка на роликах	Высота не более 110; длина не более 440; толщина не более 15	Каретка с датчи- ками и гибкими трубками не бо- лее 3	Нержавеющая сталь	0-600
Лента	Высота 70; толщина 1,2–1,5	0,6 кг на 1 м дли- ны ленты	Нержавеющая сталь	0–600
Гибкие трубки	Ø 4–9; длина от 2 до 15 м		Силиконовые или фторопластовые	0–170
Блок крепления ленты	Длина 600; сечение 250 × 250	≈6	Сталь 3	(– 50)–(+ 80) — температу- ра окружающего воздуха
Трубка Пито			Нержавеющая сталь	0-600
Дифференциальный манометр		≈ 0,5		
Газоанализатор переносный, возимый или стационарный		≈ 1,5 ≈ 6,0 10–40		
Термопара ХК	Ø электродов 0,2–0,3; Длина от 2 до 15 м		Керамические бусы	0–600





Исходя из таблицы и рис. 1, 3 и 4, при толщине ленты 1,2–1,5 мм, наличии ограничивающей силу натяжения пружины и большой площади опоры блоков крепления ленты устройство оказывает незначительную нагрузку на стену дымовой трубы или газохода. В случае с металлической трубой нагрузка с ее стены снимается посредством установки блоков крепления ленты на стойки, закрепленные на площадке обслуживания. Устройство перед измерениями устанавливают в дымовую трубу (рис. 1) или в горизонтальный газоход (рис. 2) таким образом, чтобы лента или тросы проходили по диаметру их поперечного сечения. При этом ленту и тросы натягивают, что препятствует раскачиванию находящихся на них кареток с датчиками. Этим обеспечивается стабилизация датчиков в потоке.

На каретке могут быть закреплены: конец с входным отверстием гибкой трубки отбора проб газовых смесей, трубка Пито, термопара. Каретка при толщине 15 мм и расположении ее боковых поверхностей вдоль потока имеет обтекаемую форму, а головка трубки Пито выдвинута за пределы каретки. Такая конструкция не вызывает завихрений в газовом потоке, влияющих на результаты измерения скорости потока.

При этом все величины измеряются одновременно в каждой измерительной точке сечения. Устройства могут применяться в измерительном сечении, имеющем форму круга, квадрата или прямоугольника. В случае отсутствия возможности установки снаружи газохода одного из блоков крепления он может быть установлен внутри газохода либо устройство может быть смонтировано на штанге.

Пользуются устройством следующим образом. С помощью приводного троса с метками каретку устанавливают в 1-ю точку⁴ и фиксируют ее положение натяжением троса в две противоположные стороны. Применяя переносные или стационарные СИ, выполняют измерения, например, величин $[C_1(C_{CO}, C_{NO}, C_{NO}, C_{SO}, C_{CO}, C_{O}), V_1, T_1]$, где, соответственно, концентрация окиси углерода, окиси азота, двуокиси азота, двуокиси серы, двуокиси углерода, кислорода в точке 1; скорость газового потока в точке 1; температура газов в точке 1.

При этом выполняют измерения и в контрольной точке⁵. Проводят три измерения. Перемещают каретку во 2-ю точку и повторяют измерения. И так для всех остальных точек. С помощью калькулятора вычисляют средние значения измеряемых величин для каждой точки, средние значения измеряемых величин по измерительному сечению [C_{co} ($C_{CO'}$, $C_{NO'}$, $C_{NO'}$, $C_{SO'}$, $C_{CO'}$, $C_{O'}$), $V_{cp'}$, V_{cp} , KHП концентрации и скорости и определяют величину выбросов.

⁵В соответствии с ГОСТ 17.2.4.06-90.



⁴В соответствии с ГОСТ 17.2.4.06-90 и РД 153-34.1-11.353-2001.



Вычисляют погрешности измерений средних значений концентрации, скорости и величины выбросов ВВ. При этом появляется возможность учитывать сезонные (зималето) изменения выбросов ТЭЦ, районных котельных.

Поскольку стоимость блоков крепления ленты, каретки и монтируемой внутри трубы ленты невелика, то на трубе целесообразно смонтировать два таких устройства (по одному устройству на каждый из двух взаимно перпендикулярных диаметров) и оставить их там без СИ. При этом каретки находятся снаружи в блоках крепления ленты.

При выполнении очередных измерений персонал, поднимающийся по лестнице на площадку обслуживания, берет с собой трубку Пито, дифференциальный манометр, переносный газоанализатор, гибкие трубки (вес всего не более 3 кг). Он закрепляет на каретке приборы, пробоотборную трубку, вдвигает ее внутрь дымовой трубы и выполняет измерения сначала на одном диаметре, потом на другом или одновременно двумя каретками на двух диаметрах. Кроме того, каретка легко снимается с одной ленты и устанавливается на другую, что позволяет выполнять измерение одной кареткой на двух лентах. Во время выполнения очередных измерений, прикрепив к ленте трос, ее можно, вытянув из трубы, осмотреть и при необходимости заменить на новую ленту. Измерения выполняют для основных режимов работы парогенераторов (50, 75 и 100 % нагрузки). После окончания измерений каретку перемещают в блок крепления ленты.

Устройство применяют периодически в измерительных сечениях на отметках 50-150 м дымовых труб:

- 1) при определении характеристик измерительного сечения на этапе пусконаладочных работ и при метрологической аттестации АСК выбросов;
- 2) при обязательных регулярных метрологических работах по АСК выбросов с интервалом в 6 месяцев.

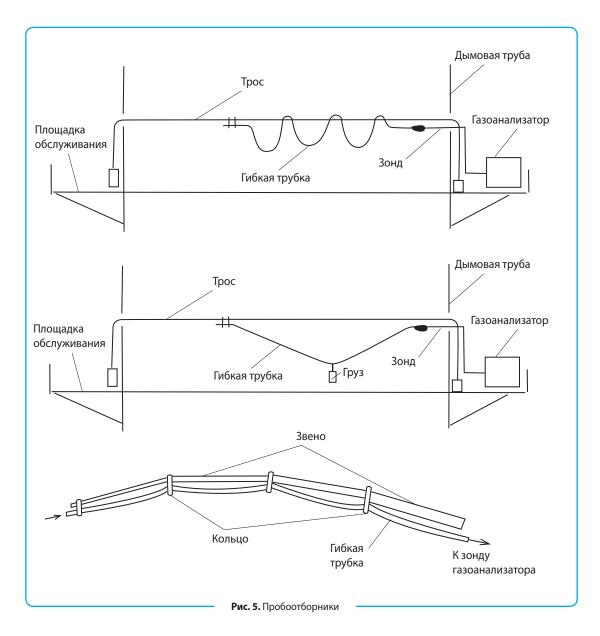
Устройства применяют регулярно на отметках 10-50 м дымовых труб и на магистральных газоходах:

- 1) при инвентаризации источников выбросов, контроле выбросов ВВ с помощью переносных СИ предприятиями, ведомственной и государственной инспекцией;
 - 2) совместно с АСК выбросов.
 - На упомянутые устройства поданы заявки на получение патентов.

В перспективе можно будет автоматизировать измерительные и вычислительные операции, и тогда откроется возможность выполнять измерения в большем количестве точек и быстрее, т.е. точнее определять средние значения по сечению концентрации ВВ, скорости потока и КНП. Для сокращения времени целесообразно рассмотреть вариант измерений, когда каретка движется безостановочно.

Авторами разработаны и изготовлены пробоотборники⁶, состоящие из троса (рис. 5) диаметром 2–3 мм и прикрепленного к нему конца с входным отверстием гибкой пробоотборной трубки, конец трубки с выходным отверстием присоединяется к зонду переносного, возимого или стационарного газоанализатора. Перемещение конца трубки с входным отверстием и установка его в измерительные точки осуществляется вручную с помощью упомянутого троса, на который нанесены метки. Один из пробоотборников напоминает удочку (см. рис. 5).

⁶ *Емельянчиков В.И*. Автоматизированная система контроля выбросов вредных веществ в атмосферу для дымовых труб ТЭЦ и котельных // Энергетика и ТЭК. 2011. № 7/8. С. 46-47.

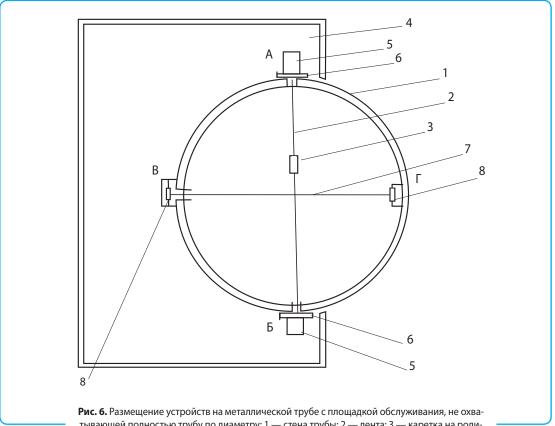


В качестве примера рассмотрим размещение устройств, разработанных авторами, на дымовой металлической трубе с площадкой обслуживания, не охватывающей трубу по диаметру полностью (рис. 6).

В трубе 1 по диаметру АБ устанавливается лента (2), на которой крепится каретка на роликах (3). Точки А и Б доступны с площадки обслуживания (4). При этом, чтобы не прикладывать к стене трубы (1) нагрузки, блоки крепления ленты (5) устанавливаются не на стене трубы, а на стойках (6), закрепленных на площадке обслуживания (4). По диаметру ВГ, перпендикулярному диаметру АБ, протягивается трос (7) Ø 1-2 мм. При этом в точке Г, где нет площадки, изнутри к стенке трубы приваривается ролик (8). В точке В ролик (8) устанавливается снаружи. Трос (7) охватывает эти (2) ролики без натяжения,







тывающей полностью трубу по диаметру: 1 — стена трубы; 2 — лента; 3 — каретка на роликах; 4 — площадка; 5 — блок крепления ленты; 6 — стойка; 7 — трос; 8 — ролик

т.е. не создает нагрузку на стенку трубы. К тросу прикрепляется конец с входным отверстием гибкой пробоотборной трубки (рис. 5). На ленту устанавливается каретка на роликах (рис. 1). Такая установка устройств на дымовой трубе обеспечивает измерение: по диаметру АБ полей концентрации, скорости; по диаметру ВГ поля концентрации. Поле температуры также можно измерить, если к каретке и к тросу прикрепить термопару в керамических бусах.

Существуют предложения не измерять поля скорости и концентрации вредных веществ, а измерять средние по диаметру скорость газового потока и концентрации вредных веществ соответственно ультразвуковым измерителем скорости газовоздушных смесей и беспробоотборным газонализатором с лучом «на просвет»⁷.

Из имеющихся таких СИ это могут быть измеритель скорости Flowsic 100 и беспробоотборные газоанализаторы с лучом «на просвет» GM 31 (C_{NO} , C_{NO_2} , C_{SO_2} , C_{O_3} , T) и GM 35 (C_{CO}, C_{CO}) , если они образуют АСК выбросов. Это означает, что предлагаемые измерения можно выполнить только там, где уже установлена АСК выбросов с этими СИ. Указанные СИ являются стационарными. Газоанализаторы не могут быть применены как переносные с периодическим подъемом их на отметки 10-150 м, т.к. будет много отка-

⁷ *Кальтман И.И.* Проектирование и эксплуатация АСК выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: спорные вопросы // Энергетика и ТЭК. 2012. № 11. С. 46-47.

зов. К недостаткам применения измерителя скорости Flowsic 100 как второго прибора относится необходимость монтажа 2-й малой площадки над основной площадкой обслуживания дымовой трубы. С его помощью невозможно выполнить такие измерения в конвективном газоходе, т.к. в этом случае размер измерительного сечения вдоль движения газового потока недостаточен для создания требуемого угла между ультразвуковым лучом и направлением потока. Кроме того, прибор применим для газов, температура которых не превышает 450 °C, а в конвективном газоходе температура газов — 600 °C. В настоящее время в Беларуси установлены в основном пробоотборные газоанализаторы фирм MRU, Siemens, Codel, с которыми измерения средних по диаметру концентраций невозможно осуществить. Стоимость системы фирмы SICK/MAIHAK с газоанализаторами с лучом «на просвет» составляет 500 тыс. долларов.

Таким образом, упомянутое предложение неприемлемо, т.к. требуются большие эксплуатационные и финансовые затраты. Предлагать такой метод измерений в МВИ.МН. 1003-2007. Методика выполнения измерений концентраций и выбросов загрязняющих веществ, скорости газов, температуры, влажности, давления электронными переносными приборами (далее — МВИ.МН. 1003-2007) или в ТКП 17.13-01-2008 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Мониторинг окружающей среды. Правила проектирования и эксплуатации автоматизированных систем контроля за выбросами загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух» преждевременно. Возможно, что лет через 10 в эксплуатации появятся недорогие переносные газоанализаторы с лучом «на просвет» и ультразвуковые измерители скорости газовоздушных смесей.

Отсутствие требований относительно измерения полей в ТНПА, регламентирующих эти вопросы, привело к тому, что полномасштабная метрологическая аттестация АСК выбросов стала невозможной и в ближайшем будущем возникнет необходимость модернизировать или списать часть таких систем. Кроме того, это сделало неэффективным применение переносных СИ, имеющихся в лабораториях предприятий, областных комитетов природных ресурсов и охраны окружающей среды и Центра аналитического контроля в области охраны окружающей среды.

Хотелось бы обратить внимание на следующее:

- 1. Устройства, предложенные авторами, могут применяться не только для измерения полей скорости, концентрации и улучшения метрологических характеристик АСК выбросов, но и при проведении государственного, ведомственного и производственного контроля вредных выбросов в атмосферный воздух. В этом качестве они в наибольшей степени подходят к измерительным сечениям дымовых труб среднего размера (измерительные сечения которых находятся на высоте 10–50 м) и магистральных газоходов. Один набор СИ, состоящий из трубки Пито, термопары, переносного или возимого газоанализатора, может применяться на 3, 5 или 10 измерительных сечениях, оборудованных этими устройствами.
- 2. На дымовых трубах среднего размера и газоходах предложенные устройства с дополняющими их СИ являются более экономичными по сравнению с АСК выбросов фирм MRU, Siemens, Codel, Sick/Maihak.
- 3. С учетом возможности уменьшения трудоемкости измерения полей концентрации ВВ и скорости потока отходящих газов появляется возможность актуализировать ГОСТ 17.2.4.06-90.
- 4. По мнению авторов, необходимо, чтобы Белорусский государственный институт метрологии содействовал опробованию этих устройств и внесению необходимых изменений и дополнений в упомянутые ТНПА.