

Для цитирования: Ковалев И. В., Ковалев Д. И., Колесник В. В., Лосев В. В., Карасева М. В. Анализ технологического оборудования систем автоматизированного мониторинга дымовых газов тепловых электростанций // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т. 19, № 4. С. 683–690. Doi: 10.31772/2587-6066-2018-19-4-683-690

For citation: Kovalev I. V., Kovalev D. I., Kolesnik V. V., Losev V. V., Karaseva M. V. [Technological equipment analysis of automated monitoring systems of flue gases at power plants]. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2018, Vol. 19, No. 4, P. 683–690 (In Russ.). Doi: 10.31772/2587-6066-2018-19-4-683-690

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

И. В. Ковалев^{1,2}, Д. И. Ковалев¹, В. В. Колесник³, В. В. Лосев¹, М. В. Карасева^{1,2*}

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

²Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

³Филиал ПАО «ОГК-2» – Красноярская ГРЭС-2
Российская Федерация, 663690, г. Зеленогорск, ул. Первая Промышленная, 2

*E-mail: karaseva-margarita@rambler.ru

Одной из приоритетных задач энергетической стратегии России на сегодняшний день является организация постоянно действующих систем непрерывного промышленного мониторинга вредных выбросов пылеугольных теплоэлектростанций в атмосферу. Рассматривается оборудование производственно-экологического мониторинга отечественных разработчиков и производителей, которое эксплуатируется на многих теплоэлектростанциях РФ на нижнем уровне систем непрерывного мониторинга выбросов. На этом уровне обеспечивается проведение замеров на основе согласованных и аттестованных методик, сбор и преобразование первичной информации к стандартному виду, текущее обслуживание и контроль функционирования измерительных систем и вспомогательного оборудования. При организации непрерывного мониторинга на теплоэлектростанциях могут быть использованы различные газоанализаторы и сечения газового тракта для определения состава продуктов сгорания. Выбор конкретных газоаналитических систем связан с определенными трудностями, так как все такие системы имеют свои преимущества и недостатки, и для оптимального выбора оборудования требуется учесть множество различных факторов и параметров. Задача выбора газоаналитических систем является многокритериальной. Трудности при решении данной задачи вызваны тем, что критерии могут противоречить друг другу (например, высокие технические возможности могут усложнять эксплуатацию системы и повышать ее стоимость) и не иметь количественной оценки.

Выбор газоаналитических систем для производственно-экологического мониторинга должен быть максимально объективным, не зависящим от предпочтений отдельных экспертов и специалистов. Представленное описание оборудования производственно-экологического мониторинга позволяет провести экспертное сравнение технических характеристик газоанализаторов. Опираясь на методы обоснования решений по выбору состава оборудования в инновационных проектах, сделаны выводы по результатам анализа, выполненного по 11 экспертно-значимым параметрам. Проведенный экспертный анализ может дополнить результаты предварительного обследования персоналом теплоэлектростанций или специализированной организацией, осуществляющей проектирование систем непрерывного мониторинга выбросов теплоэлектростанций, используемые при разработке технического задания. Рекомендуется выполнять технико-экономическое обоснование принимаемых решений с учетом особенностей оборудования, условий производства, требований безопасности и удобства обслуживания.

Ключевые слова: мониторинг, экология, тепловая электростанция, выбросы, газоаналитическая система, контроль.

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ANALYSIS OF AUTOMATED MONITORING SYSTEMS OF FLUE GASES AT POWER PLANTS

I. V. Kovalev^{1,2}, D. I. Kovalev¹, V. V. Kolesnik³, V. V. Losev¹, M. V. Karaseva^{1,2*}

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

²Siberian Federal University
79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

³Branch of "OGK-2" – Krasnoyarskaya GRES-2
2, Pervaya Promyshlennaya Str., Zelenogorsk, 663690, Russian Federation

*E-mail: karaseva-margarita@rambler.ru

Nowadays one of the priorities of Energy Strategy of Russia is to organize constantly operating systems of continuous industrial monitoring of harmful emission out of coal-fired power plants into the atmosphere. The given paper considers the equipment for production and environmental monitoring of home developers and manufacturers, operated at some power plants of the Russian Federation at the lower level of monitoring of gas emission. At this level, measurements on the basis of agreed and certified methods, gathering and conversion of primary information to a standard form, routine maintenance and monitoring of the functioning of measuring systems and auxiliary equipment are carried out. Various gas analyzers and gas sections can be used to determine the composition of the combustion products in organization continuous monitoring at power plants. The selection of specific gas analytical systems is associated with certain difficulties, since they all have their advantages and disadvantages. Moreover, it is necessary to take into account a lot of different factors and parameters for the optimal selection of the equipment. The task of gas analytical systems selection is multicriterial. Difficulties in solving this problem are caused by the fact that the criteria may contradict each other (for example, high technical capabilities may complicate the operation of the system and increase its cost) and they may not be quantified.

The selection of gas analytical systems for production and environmental monitoring should be as objective as possible, independent of the preferences of individual experts and specialists. The presented description of the equipment for production and environmental monitoring allows for an expert comparison of the technical characteristics of gas analyzers. Based on the methods of substantiating decisions on the selection of the structure of equipment in innovative projects, conclusions are drawn from the results of the analysis performed on 11 expert-relevant parameters. The recent expert analysis can supplement the results of the preliminary survey by the personnel of the power plant or a at power plants applied for the development of the technical specifications. It is recommended to carry out a feasibility investigation in decision making, taking into account the features of the equipment, production conditions, safety requirements and serviceability.

Keywords: monitoring, ecology, power plant, gas emission, gas analytic system, control.

Введение. Организация постоянно действующих систем непрерывного промышленного мониторинга вредных выбросов пылеугольных теплоэлектростанций (ТЭС) в атмосферу является одной из приоритетных задач энергетической стратегии России [1]. Существует два вида мониторинга вредных выбросов: мониторинг окружающей среды (определение содержания вредных веществ в атмосфере и контроль ее текущего состояния) и производственный мониторинг (контроль конкретного промышленного источника выбросов – ТЭС [2]). Осуществление производственного мониторинга уходящих дымовых газов пылеугольных теплоэлектростанций является одним из важнейших путей выполнения п. 1.1.7. «Обязанности работника энергообъекта» СО 153-34.20.501–2003 (Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации), требующего от каждого работника [3]:

- снижения вредного влияния производства на людей и окружающую среду;
- использования достижений научно-технического прогресса в целях повышения экономичности, надежности и безопасности, улучшения экологии энергообъекта и окружающей среды.

Достичь выполнения требований позволяет реализация современных систем непрерывного мониторинга выбросов (СНМВ) ТЭС, которая строится на основе четкого распределения функций и информационного обмена между ее составными частями [4; 5]. В работе [6] показано, что с учетом анализа функциональной схемы СНМВ и организационных структур ТЭС, а также региональной энергосистемы наиболее оптимальной является трехуровневая организационно-иерархическая схема СНМВ.

В настоящей статье рассматривается нижний уровень СНМВ, который включает стационарное оборудование и измерительную аппаратуру, а также обслуживающий технический персонал. Именно на нижнем уровне обеспечивается проведение замеров на основе согласованных и аттестованных методик, сбор и преобразование первичной информации к стандартному виду (формату), текущее обслуживание и контроль функционирования измерительных систем и вспомогательного оборудования [7].

Для данного уровня иерархии СНМВ важным аспектом технической реализации является решение следующих вопросов: что и чем измерять для обеспечения производственного мониторинга уходящих

газов пылеугольных ТЭС. При организации непрерывного мониторинга на ТЭС могут быть использованы различные газоанализаторы и сечения газового тракта для определения состава продуктов сгорания. Принципиально возможны три способа организации промышленного мониторинга на ТЭС: непрерывный контроль массовых выбросов вредных веществ на дымовой трубе ТЭС; непрерывный контроль концентраций вредных веществ в дымовых газах на каждом котельном агрегате ТЭС; комбинация этих двух способов.

Основным нормативным документом, определяющим номенклатуру измерений уходящих газов является СО 34.35.101–2003 «Методические указания по объему технологических измерений, сигнализации, автоматического регулирования на тепловых электростанциях», обязывающие все тепловые электростанции осуществлять непрерывный контроль и регистрацию содержания O_2 , CO и NO_x в дымовых газах, а также при наличии установки золоулавливания, сероочистки и газоочистки – концентрацию оксидов серы в пересчете на SO_2 и концентрацию оксидов азота в пересчете на NO_2 [8].

В период с 1990 по 2010 гг. по распоряжению РАО «ЕЭС России» были разработаны нормативные документы по организации и проведению химико-технологического мониторинга, методики измерений и расчета указанных выше технологических параметров в дымовых газах для пылеугольных тепловых электростанций:

- РД 34.11.306–86 (МТ 34-70-021–86) «Методика выполнения измерений содержания кислорода в уходящих газах энергетических котлов»;

- РД 153-34.1.11.353–2001 «Методика измерений массовых выбросов загрязняющих веществ от котельных установок с применением газоанализаторов с электрохимическими датчиками»;

- РД 34.02.305–98 «Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС»;

- СО 34.02.320–2003 «Организация контроля состава продуктов сгорания стационарных паровых и водогрейных котлов»;

- СО 153-34.02.304–2003 «Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций»;

- СТО 70238424.13.040.40.002–2008 «Тепловые электрические станции. Экологическая безопасность. Установки по очистке дымовых газов от оксидов серы. Нормы и требования» (стандарт организации НП «ИНВЭЛ»).

Вышеупомянутые документы и явились отправной точкой для разработки, внедрения и совершенствования приборов и систем производственно-экологического мониторинга дымовых газов для пылеугольных тепловых электростанций.

Анализ технологического оборудования СНМВ ТЭС. В настоящее время большое количество отечественных предприятий осуществляют разработку и производство приборов и систем производственно-экологического мониторинга дымовых газов для тепловых электростанций. Необходимость оснащения

ими пылеугольных ТЭС диктуется Федеральным законом от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» в рамках разработки программ экологической эффективности предприятий и определения повышенных коэффициентов при исчислении платы за негативное воздействие на окружающую среду для юридических лиц и предпринимателей, осуществляющих хозяйственную деятельность, для стимулирования к проведению мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Одним из решений этого вопроса является оснащение и реконструкция уже существующих систем газоочистки и экологического мониторинга дымовых газов пылеугольных тепловых электростанций. В этом контексте хочется отметить, что разработчики и производители котельного оборудования, начиная с 2000 г., в рамках требований по объему непрерывных измерений технологических параметров котельного оборудования отдельно выделяют требование по оснащению средствами непрерывного экологического мониторинга уходящих газов.

В [9] показано, что выбор конкретных газоаналитических систем связан с определенными трудностями, так как все они имеют свои преимущества и недостатки, и для оптимального выбора оборудования требуется учесть множество различных факторов и параметров, т. е. данная задача является многокритериальной. Причем ряд критериев могут противоречить друг другу (например, высокие технические возможности могут усложнять эксплуатацию системы и повышать ее стоимость) и не иметь количественной оценки.

Выбор газоаналитических систем для производственно-экологического мониторинга должен быть максимально объективным, не зависящим от предпочтений отдельных экспертов и специалистов. Однако даже при использовании более объективного математического аппарата критериального анализа в [10] отмечается, что количественная оценка значимости каждого критерия (весовой коэффициент) может быть установлен только экспертным путем.

Для рассмотрения в рамках статьи отобрано оборудование производственно-экологического мониторинга следующих отечественных разработчиков и производителей, которое уже эксплуатируется на многих теплоэлектростанциях РФ:

- ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск), разрабатывающее весь спектр приборов и систем экологического мониторинга для многих отраслей промышленности, энергетики и транспорта;

- АО «Проманалитприбор» (г. Бердск), специализирующееся на разработке и производстве газоанализаторов дымовых газов под торговой маркой «Экомер»;

- фирма аналитического приборостроения «Информаналитика» (Санкт-Петербург), разрабатывающая и производящая линейку газоанализаторов для контроля дымовых газов для тепловых пылеугольных электростанций.

Рассмотрим построение и принцип работы отобранных газоанализаторов.

1. Стационарный многокомпонентный газоанализатор техноэкологического контроля АНК-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)) осуществляет непрерывный контроль всей линейки процентного содержания в уходящих газах O_2 , CO и NO_x на SO_2 , NO_2 .

Принцип действия газоанализатора – электрохимический, основан на использовании эффекта окисления или восстановления определяемого газа на рабочем электроде электрохимической ячейки (ЭЯ). Ток, который возникает при электрохимической реакции, есть мера концентрации определяемого компонента. Ток, пропорциональный концентрации, усиливается, нормируется и преобразуется в цифровую форму.

Конструктивно газоанализатор выполнен одноблочным, в металлическом корпусе и состоит из модуля коммутации и аналоговых входов, двух устройств релейных и токовых выходов (далее – устройство РТВ), устройства РТВ для управления элементами пробоподготовки, адаптера интерфейса, модуля первичных преобразователей, платы клавиатуры и индикации, платы питания и электроклапанов.

Газоанализатор имеет встроенное программное обеспечение (ПО), структура которого включает следующие модули:

- модуль связи;
- модуль визуализации данных;
- модуль измерения и расчета содержания определяемых компонентов;
- модуль формирования управляющих воздействий для управления исполнительными устройствами;
- модуль преобразования данных для формирования выходного унифицированного токового сигнала, пропорционального содержанию массовой концентрации определяемых компонентов.

Основные функции ПО:

- расчет содержания определяемого компонента по каждому измерительному каналу;
- вычисление значения избытка воздуха (α);
- вычисление объемной концентрации диоксида углерода (CO_2);
- вычисление объемной концентрации суммы оксидов азота (NO_x);
- регистрация входных унифицированных токовых сигналов 4–20 мА;
- отображение измеренных и расчетных единиц на индикаторе;
- формирование унифицированного выходного сигнала, пропорционального содержанию определяемого компонента назначенного измерительного канала;
- включение звуковой сигнализации при достижении содержания определяемого компонента установленного порогового значения с одновременным переключением «сухих» контактов реле;
- связь с внешними устройствами по цифровым каналам RS232 и RS485.

При электрохимическом методе измерения газовая смесь поступает в модуль электрохимической ячейки.

При проникновении детектируемого газа через пористую мембрану электрохимическая ячейка формирует токовый сигнал, пропорциональный концентрации измеряемого компонента. Проходя по тракту преобразования и усиления, сигналы концентрации электрохимической ячейки преобразуются в пропорциональные напряжения и поступают на аналоговые входы микроконтроллера (плата управления электрохимической ячейки).

Модуль первичных преобразователей (МПП) предназначен для преобразования физических величин (содержания измеряемых компонентов) в электрический сигнал, обработки сигнала и передачи его по каналу на центральный вычислитель (ЦВ), а также для управления клапанами пневматической схемы (при наличии) и контроля состояния внешней среды.

В состав МПП входит модуль электрохимической ячейки с платой управления электрохимической ячейки и элементы газового тракта.

Микроконтроллер выполняет следующие функции:

- преобразует аналоговые сигналы в цифровую форму;
- осуществляет обработку сигналов, управление элементами газового тракта и электрическими режимами ЭЯ по команде ЦВ.

Центральный вычислитель осуществляет управление всеми элементами газоанализатора, вычисление физических величин, индикацию.

Устройства РТВ осуществляют переключение контактов реле для управления внешними цепями по команде ЦВ, а также выдают выходной токовый сигнал. Устройство РТВ для управления элементами пробоподготовки осуществляет управление побудителем расхода пробы, воздуха и нагревателями по команде ЦВ.

Адаптер интерфейса предназначен для подключения к газоанализатору ПЭВМ по каналам RS232 и RS485. Модуль коммутации и аналоговых сигналов предназначен для присоединения входных унифицированных сигналов 4–20 мА от внешних датчиков.

2. Стационарный газоанализатор ПЭМ-2М осуществляет непрерывный контроль всей линейки процентного содержания в уходящих газах O_2 , CO , SO_2 , NO_2 (разработчик и производитель – АО «Проманалитприбор» (г. Бердск)).

В соответствии с устройством и структурной схемой газоанализатора газовая проба из газотока через пробоборборный зонд попадает в модуль управления пробоборбором (МУП), в который входят клапаны системы пробоборбора, продувки фильтра подогреваемого, защитный контроллер МУП, силовой блок питания ЛП, источник питания контроллера, коммутационная панель, силовой блок питания линии транспортировки пробы и защитный автомат питания МУП.

Информация из контроллера МУП по внутреннему интерфейсу RS485 передается в контроллер блока приема пробы (БПП) и далее – в удаленный компьютер. Далее проба через клапан пробы попадает в линию транспортировки пробы и по ней – в БПП, расположенный в шкафу. Транспортировка пробы (прокачка) обеспечивается насосом пробы БПП. Из линии транспортировки проба попадает на вход БПП.

Назначение контроллера БПП – управление по заданной программе всеми составляющими БПП.

Газовая проба, закачиваемая в измерительную кювету блока аналитического (БА), освобождается от механических примесей в системе фильтров, от излишней влаги – в холодильнике. Влага, выделенная из газовой пробы, по заданной программе удаляется наружу. Засорение системы фильтров, работоспособность газового насоса и концентрация кислорода в газе контролируются блоком контроля режима влаги (КРВ).

Блок аналитический смонтирован в верхней части шкафа ПЭМ-2М и служит для определения концентраций газов CO, NO, NO₂ в газовой пробе. В состав БА входят: оптический блок – BA1, контроллер БА – BA2, жидкокристаллический дисплей – BA3, клавиатура – BA4, блок питания ACE 723A – BA5, блок подсветки – BA6, сетевой разъем – BA7, разъем порта RS232 – BA8, устройство сопряжения – BL5 с разъемом порта RS485 – X3.

Жидкокристаллический алфавитно-цифровой дисплей служит для отображения показаний газоанализатора и представления служебной информации при тестировании газоанализатора и проведении поверочных и калибровочных работ. Встроенный клавишный пульт предназначен для выбора режимов работы газоанализатора. На этой же панели расположены клавиша включения питания БА, кнопка подсветки дисплея (опция), разъем соединения БА с БПП по интерфейсу RS485, разъем RS232 для сервисного обслуживания.

Алгоритм работы БПП следующий. При прокачке нулевого газа (режим «Прокачка воздуха») включается газовый насос M1 – насос воздуха. Газ (воздух) через штуцер забора нулевого газа, фильтр F3 (ФТО воздуха) прокачивается через холодильник U10 (блок холодильника), фильтр F4 (фильтр тонкой очистки) и через модуль КРВ попадает в БА. Во время прокачки нулевого газа часть газового потока через фильтр F5 (фильтр химический) направляется на датчик кислорода, и происходит калибровка измерителя кислорода. При прокачке измеряемого газа (режим «Прокачка газа») включается насос M2 (насос пробы). Газ через штуцер забора измеряемого газа, фильтры F1 (фильтр объемный), F2 (влагосорбник) прокачивается через холодильник U10, фильтр F4 (фильтр тонкой очистки) и через модуль КРВ попадает в БА. Во время прокачки измеряемого газа часть газового потока через фильтр F5 (фильтр химический) направляется на датчик кислорода, и происходит измерение концентрации кислорода. Через заданное время емкость влагосорбника F2 освобождается от конденсата с помощью перистальтического насоса M3 (насос слива). Во время анализа концентраций газов CO, NO, NO₂, SO₂ прокачка газа прекращается.

Блок холодильника представляет собой полностью автономный модуль, управляемый собственным контроллером. Контроллер холодильника связан с контроллером БПП по внутреннему интерфейсу RS485, по которому передается состояние холодильника и могут изменяться настройки, которые также можно изменять и с помощью кнопок, расположенных на передней панели контроллера.

Холодильник – термоэлектрический, на основе элемента Пельтье. Холодная поверхность элемента Пельтье (термоэлектрического модуля) контактирует с теплоизолированным теплообменником, через который проходит газовая проба, а тепло с горячей поверхности отводится воздушным радиатором, обдуваемым вентилятором. Температура в теплообменнике поддерживается на уровне 3–4 °С, что соответствует остаточной влажности пробы на уровне 5–6 мг/м³.

Транспортировка пробы (прокачка) обеспечивается насосом пробы БПП. Пробоотборное устройство предназначено для забора газовой пробы в газоходе. Конструктивно пробоотборное устройство представляет подогреваемый фильтр с зондом из нержавеющей стали, который монтируется на газоходе. Подогрев линий осуществляется обогревающим кабелем с максимальной мощностью тепловыделения 40 Вт/м. Теплоизоляция выполнена алюминированным цилиндрическим теплоизолятором.

Дешифратор RS485 – 8 × (4–20 мА) служит для преобразования сигналов выбранных измерительных каналов (от 1 до 8) из цифрового в аналоговый вид – токовый сигнал (допускается установка двух дешифраторов). Выбор и настройка диапазона каналов происходит при программировании преобразователя и определяется заказчиком на стадии формирования технического задания и изменению пользователем не подлежит.

3. Стационарный быстродействующий газоанализатор «АНГОР-С» (разработчик и производитель – фирма аналитического приборостроения «Информаналитика» (г. Санкт-Петербург)) осуществляет контроль процентного содержания в уходящих газах O₂, CO и NO. Газоанализатор выполнен в виде двух блоков: блока датчиков (БД) и блока индикации и управления (БИУ).

Дополнительно в состав газоанализатора может входить шкаф (щит) пневматики для управления подачей калибровочных смесей в газоанализатор, а также сетевой источник питания для формирования напряжения питания 24 В.

Принцип действия газоанализатора основан на измерении сигналов электрохимических чувствительных элементов (сенсоров). Тип применяемого сенсора определяется газом, подлежащим контролю.

Способ пробоподготовки – фильтрация и нагрев до температуры выше точки росы, подача пробы к газоанализатору – диффузионная или за счет динамического давления потока анализируемого газа в газоходе.

Рассмотрим устройство и конструкцию газоанализатора «АНГОР-С». Блок датчиков предназначен для отбора, подготовки и транспортировки анализируемой пробы к измерительным датчикам концентраций, обработки сигналов датчиков и формирования выходного цифрового сигнала, содержащего информацию об измеряемых компонентах и функциональном состоянии основных элементов БД. Сигналы датчиков поступают в многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), обрабатываются микроконтроллером, после чего рассчитанные значения концентраций, а также необходимые диагностические сигналы

выводятся на последовательный цифровой порт RS485 для передачи во внешнее устройство индикации и управления – БИУ. БД включает в себя пробоотборный зонд с крепежным фланцем.

Анализируемая часть потока дымовых газов при помощи трубки зонда перенаправляется к газовым сенсорам, отделенным от анализируемой среды фильтром из многослойной стальной сетки. В качестве датчика кислорода используется твердоэлектродный потенциометрический сенсор на основе циркониевой керамики, в качестве сенсоров CO и NO – высокотемпературные электрохимические сенсоры.

БИУ предназначен для индикации измеренных значений концентраций, аварийных и прочих диагностических сигналов газоанализатора, а также для управления процедурой калибровки и формирования выходных сигналов для вторичных регистрирующих приборов и исполнительных механизмов.

Выводы и обсуждение. Представленное описание оборудования производственно-экологического мониторинга позволяет провести экспертное сравнение технических характеристик газоанализаторов [11]. Далее, опираясь на методы обоснования решений по выбору состава оборудования в инновационных проектах [12–14], представлены выводы и обсуждение результатов анализа, выполненного по 11 экспертно-значимым параметрам.

1. По номенклатуре контролируемых газов по предпочтениям на одном уровне находятся стационарный многокомпонентный газоанализатор техноэкологического контроля АНКAT-410 и стационарный газоанализатор ПЭМ-2М, удовлетворяющие требованиям НТД по перечню контролируемых газов.

Для полного выполнения требований нормативно-технической документации (НТД) по перечню контролируемых газов наряду с применением стационарного быстродействующего газоанализатора «АНГОР-С» необходимо применение дополнительно газоанализатора, измеряющего содержание двуокиси серы.

Необходимо отметить, что фирма аналитического приборостроения «Информаналитика» (г. Санкт-Петербург) выпускает целую линейку электрохимических первичных преобразователей концентрации диоксида серы (сенсоры) для применения в приборах газового анализа других производителей.

2. Наиболее высокий средний срок службы датчиков (электрохимических ячеек) – у стационарного многокомпонентного газоанализатора техноэкологического контроля АНКAT-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)). Данные по среднему сроку службы в документации на стационарный быстродействующий газоанализатор «АНГОР-С» (разработчик и производитель – фирма аналитического приборостроения «Информаналитика» (г. Санкт-Петербург)) отсутствуют.

3. Показатели диапазона температуры окружающей среды для нормальной работы газоанализатора самые высокие у быстродействующего газоанализатора «АНГОР-С» (разработчик и производитель – фирма аналитического приборостроения «Информаналитика» (г. Санкт-Петербург)).

4. Одним из важнейших параметров в условиях рыночной экономики являются трудозатраты на обслуживание. Этим параметром для всех типов газоанализаторов является время работы газоанализаторов без корректировок (чем меньше трудозатраты на проведение данной операции, тем эффективнее). Чем больше время работы газоанализатора без корректировки, тем лучше. Самый большой срок работы без корректировки – у газоанализаторов стационарного многокомпонентного газоанализатора техноэкологического контроля АНКAT-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)) – 6 месяцев.

5.1. Диапазон измерения содержания кислорода в уходящих газах всех без исключения газоанализаторов соответствует требованиям нормативных документов по организации измерений содержания кислорода в уходящих газах.

5.2. Самый широкий диапазон измерения содержания угарного газа в уходящих газах составляет у стационарного многокомпонентного газоанализатора техноэкологического контроля АНКAT-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)) – 0–4000 млн⁻¹.

5.3. С диапазоном измерения 0–4000 млн⁻¹ содержания окисей азота в уходящих газах лидируют: стационарный многокомпонентный газоанализатор техноэкологического контроля АНКAT-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)) и стационарный газоанализатор ПЭМ-2М (разработчик и производитель – АО «Проманалитприбор» (г. Бердск)).

5.4. Наиболее широкий диапазон 0–5000 млн⁻¹ измерений содержания окисей серы – у стационарного газоанализатора ПЭМ-2М (разработчик и производитель – АО «Проманалитприбор» (г. Бердск)). Необходимо отметить, что газоанализаторы обоих производителей укладываются в требования нормативных документов к этой технической характеристике.

6. Опция по наличию выходных аналоговых сигналов реализована только в двух газоанализаторах: в стационарном многокомпонентном газоанализаторе техноэкологического контроля АНКAT-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)) с формированием выходных аналоговых сигналов двух типов – 0–5 мА и 4–20 мА, и в стационарном быстродействующем газоанализаторе «АНГОР-С» (разработчик и производитель – фирма аналитического приборостроения «Информаналитика» (г. Санкт-Петербург)) с формированием выходного аналогового сигнала 4–20 мА. Необходимо отметить, что благодаря наличию данных выходных сигналов вышеназванные газоанализаторы могут использоваться для интеграции в общешлюсовую АСУТП с подключением в модули аналогового ввода устройств связи с объектом (УСО).

7. Опция по наличию выходных дискретных сигналов реализована только в стационарном многокомпонентном газоанализаторе техноэкологического контроля АНКAT-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)). Необходимо отметить, что благодаря наличию данных

выходных сигналов вышеназванный газоанализатор может использоваться для интеграции в общешлюзовую АСУТП с подключением в модули дискретного ввода УСО.

8. Все три газоанализатора имеют цифровой выход с интерфейсом RS-485. Стационарный многокомпонентный газоанализатор техноэкологического контроля АНК-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)) имеет цифровой выход с интерфейсом RS-232. Производителями стационарного быстродействующего газоанализатора «АНГОР-С» (разработчик и производитель – фирма аналитического приборостроения «Информаналитика» (г. Санкт-Петербург)) и стационарного многокомпонентного газоанализатора техноэкологического контроля АНК-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)) определен протокол обмена ModBus RTU.

9. Самый высокий уровень защиты ПО от непреднамеренных и преднамеренных изменений, соответствующий уровню защиты «А» в соответствии с МИ 3286–2010 (не требуется специальных средств защиты, исключающих возможность несанкционированной модификации, обновления (загрузки), удаления и иных преднамеренных изменений метрологически значимой части ПО СИ и измеренных данных), выполнен в ПО стационарного многокомпонентного газоанализатора техноэкологического контроля АНК-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)).

У стационарного газоанализатора ПЭМ-2М (разработчик и производитель – АО «Проманалитприбор» (г. Бердск)) выполнен уровень «В» защиты встроенного ПО в соответствии с Р 50.2.077–2014.

В документации на стационарный быстродействующий газоанализатор «АНГОР-С» (разработчик и производитель – фирма аналитического приборостроения «Информаналитика» (г. Санкт-Петербург)) отсутствует определение уровня защиты встроенного ПО в соответствии с вышеуказанными документами, хотя в состав данного газоанализатора входит микроконтроллер собственной разработки и производства.

10. Все газоанализаторы по такой технической характеристике, как наработка на отказ, находятся в равном положении со сроком в 15 000 ч.

11. По назначенному сроку службы самый высокий показатель 10 лет – у стационарного многокомпонентного газоанализатора техноэкологического контроля АНК-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)).

Заключение. Таким образом, проведенный экспертный анализ может дополнить результаты предварительного обследования персоналом ТЭС или специализированной организацией, осуществляющей проектирование СНМВ ТЭС, используемые при разработке технического задания. В частности, исходя из сравнения вышеперечисленных характеристик, лучшим по техническим характеристикам и архитектуре для применения в системах производственно-экологического мониторинга уходящих газов пылеугольных тепловых электростанций является стационарный

многокомпонентный газоанализатор техноэкологического контроля АНК-410 (разработчик и производитель – ФГУП «СПО «Аналитприбор» (г. Смоленск)). При этом необходимо учесть, что проектирование СНМВ ТЭС на основании утвержденного технического задания осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами [15]. Рекомендуется выполнять технико-экономическое обоснование принимаемых решений с учетом особенностей оборудования, условий производства, требований безопасности и удобства обслуживания.

Благодарности. Представленные авторами результаты получены при выполнении проекта № 18-48-240007 в рамках конкурса РФФИ – Красноярский край – р_а (Соглашение № 228 между Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Красноярского края о проведении региональных конкурсов проектов фундаментальных научных исследований от 22 декабря 2015 года).

Acknowledgements. The results presented by the authors were obtained in the performance of project No. 18-48-240007 within the framework of the RFBR contest – Krasnoyarsky Krai – р_а (Agreement No. 228 between the Russian Foundation for Basic Research and the Government of Krasnoyarsk Krai on holding regional competitions for projects of fundamental researches dated 22 December 2015).

Библиографические ссылки

1. Росляков П. В., Кондратьева О. Е. Первоочередные мероприятия по реализации нового экологического законодательства // Новое в российской электроэнергетике. 2016. № 5. С. 6–17.
2. Система непрерывного контроля (мониторинга) и регулирования вредных газообразных выбросов ТЭС в атмосферу / П. В. Росляков [и др.] // Записки Горного института. 2003. Т. 154. С. 94–96.
3. Организация мониторинга вредных выбросов из дымовых труб ТЭС на основе численных исследований / П. В. Росляков [и др.] // Вестник МЭИ. 2008. № 4. С. 28–39.
4. Информационно-вычислительный комплекс системы непрерывного мониторинга и регулирования выбросов ТЭС / П. В. Росляков [и др.] // Записки Горного института. 2004. № 158. С. 126–128.
5. Борисов Г. М., Балтян В. Н., Скубиенко С. В. Специфика предприятий электрических сетей как источников выбросов вредных веществ в атмосферу // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2003. № 2. С. 51–53.
6. Росляков П. В. Методы защиты окружающей среды. М. : Издат. дом МЭИ, 2007. 336 с.
7. Организация контроля газового состава продуктов сгорания стационарных паровых и водогрейных котлов : СО 34.02.320–2003. М. : СПО ОРГРЭС, 2003.
8. Нормы погрешности измерений технологических параметров тепловых электростанций и подстанций : РД 34.11.321–96. М. : ВТИ, 1997.

9. Кондратьева О. Е. Основные подходы к созданию систем мониторинга воздействия ТЭС на окружающую среду // Энергетик. 2016. № 12. С. 32–40.

10. Коробов В. Б., Тутыгин А. Г. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2010. № 122. С. 108–115.

11. Степанов В. Р. Основы теории принятия решений. Экспериментальное учебное пособие. Чебоксары : Клио, 2004. 134 с.

12. Самков А. В., Зяткова А. В. Методы обоснования решений по выбору состава оборудования в инновационных проектах // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2015. № 3. С. 68–72.

13. Копотева А. В. Поддержка принятия решения о модернизации производства на промышленном предприятии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2014. № 325(6). С. 14–25.

14. Гулиева П. В. Кызы. Теоретико-методологические проблемы модернизации промышленных предприятий // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2015. № 6(2). С. 130–132.

15. Кондратьева О. Е., Росляков П. В. Основные стадии внедрения систем непрерывного контроля выбросов в атмосферу на ТЭС // Электрические станции. 2016. № 9. С. 25–29.

References

1. Roslyakov P. V., Kondrat'yeva O. E. [Priority measures for the implementation of the new environmental legislation]. *New in the Russian electric power industry*. 2016, No. 5, P. 6–17 (In Russ.).

2. Roslyakov P. V., Zakirov I. A., Ionkin I. L., Egorova L. E., Karankevich E. N. [The system of continuous monitoring (monitoring) and control of harmful gaseous emissions of thermal power plants in the atmosphere]. *Zapiski Gornogo Instituta*. 2003, Vol. 154, P. 94–96 (In Russ.).

3. Roslyakov P. V., Novozhilova L. L., Egorova L. E. [Organization of monitoring of harmful emissions from chimneys of thermal power plants based on numerical studies]. *Vestnik MEI*. 2008, No. 4, P. 28–39 (In Russ.).

4. Roslyakov P. V., Ionkin I. L., Zakirov I. A., Morokhovets Yu. E., Egorova L. E. [Information and Computing System for Continuous Monitoring and Emission Control of Thermal Power Plants]. *Zapiski Gornogo instituta*. 2004, Vol. 158, P. 126–128 (In Russ.).

5. Borisov G. M., Baltyan V. N., Skubienko S. V. [The specifics of the enterprises of electrical networks as a source of emissions of harmful substances into the at-

mosphere]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*. 2003, No. 2, P. 51–53 (In Russ.).

6. Roslyakov P. V. *Metody zashchity okruzhayushchey sredy* [Environmental Protection Methods]. Moscow, Izdatel'skii dom MEI Publ., 2007, 336 p. (In Russ.).

7. *Organizatsiya kontrolya gazovogo sostava produktov sgoraniya statsionarnykh parovykh i vodogreynykh kotlov : SO 34.02.320-2003* [Organization of control of the gas composition of products of combustion of stationary steam and hot water boilers : CO 34.02.320-2003]. Moscow, SPO ORGREHS Publ., 2003 (In Russ.).

8. *Normy pogreshnosti izmereniy tekhnologicheskikh parametrov teplovykh elektrostantsiy i podstantsiy : RD 34.11.321-96* [Error limits of measurement of technological parameters of thermal power plants and substations: RD 34.11.321-96]. Moscow, VTI Publ., 1997 (In Russ.).

9. Kondrat'yeva O. E. [The main approaches to the creation of systems for monitoring the impact of thermal power plants on the environment]. *Energetik*. 2016, No. 12, P. 32–40 (In Russ.).

10. Korobov V. B., Tutygin A. G. [Advantages and disadvantages of the hierarchy analysis method]. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A. I. Gertsena*. 2010, No. 122, P. 108–115 (In Russ.).

11. Stepanov V. R. *Osnovy teorii prinyatiya reshenii* [Basics of decision theory]. Cheboksary, Klio Publ., 2004, 134 p. (In Russ.).

12. Samkov A. V., Zyat'kova A. V. [Methods to justify decisions on the choice of equipment in innovative projects]. *Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2015, No. 3, P. 68–72 (In Russ.).

13. Kopoteva A. V. [Support decision making on the modernization of production at an industrial enterprise]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2014, Vol. 325, No. 6, P. 14–25 (In Russ.).

14. Gulieva P. V. Kyzy. [Theoretical and methodological problems of modernization of industrial enterprises]. *Gumanitarnye, sotsial'no-ehkonomicheskie i obshchestvennye nauki*. 2015, No. 6(2), P. 130–132 (In Russ.).

15. Kondrat'yeva O. E., Roslyakov P. V. [The main stages of the introduction of systems for continuous monitoring of emissions into the TPP]. *Elektricheskiye stantsii*. 2016, No. 9, P. 25–29 (In Russ.).