

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И АГРЕГАТЫ (05.14.14)

ЭКОЛОГИЯ
(ПО ОТРАСЛЯМ: ЭНЕРГЕТИКА)
(03.02.08)

УДК 504.05

DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-66-76

База данных измерительных систем для экомониторинга выбросов тепловых электрических станций

П.В. Росляков, С.А. Сивцева

Согласно российскому природоохранному законодательству, все источники загрязнения атмосферы на предприятиях I категории в обязательном порядке должны быть оснащены автоматическими системами контроля и учета выбросов маркерных загрязняющих веществ. К подобным промышленным объектам относятся более 100 тепловых электростанций. Перечень маркерных загрязняющих веществ установлен в соответствующих отраслевых информационно-технических справочниках по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ). Номенклатура контролируемых на ТЭС автоматическими системами маркерных веществ включает оксиды азота NO_x , диоксид серы SO_2 , монооксид углерода CO и золу твердого топлива. При этом приоритетной является задача использования для этих целей отечественного измерительного оборудования. Однако в настоящее время отсутствует систематизированная информация об имеющихся на рынке газоаналитических системах.

Выполнен анализ средств измерений и создана база данных отечественных пробоотборных и беспробоотборных газоаналитических систем, включающая основные методы и средства измерений выбросов загрязняющих веществ, технические характеристики которых отвечают требованиям нормативных документов, и позволяющая специалистам оптимально выбрать средства измерения для организации непрерывного контроля выбросов на ТЭС с учетом конкретных условий и требований. Для создания БД использована реляционная система управления базами данных (СУБД) Microsoft Access, предоставляющая собой гибкую систему управления базами данных. В разрабатываемую БД средств измерений для контроля выбросов вошло оборудование 33-х российских фирм. СУБД позволяет организовать данные в таблицы, построить запросы на выборку определенных заданных параметров. При этом в бланк запросов могут быть включены как основные, так и дополнительные критерии отбора средств измерений. Для удобства выбора и внедрения АСНКиУВ на ТЭС в разработанной БД СИ учтены измеряемые параметры среды, метод и способ измерения, соответствие НДТ, диапазоны и погрешности измерений, расчетный и гарантийный срок эксплуатации, массогабаритные характеристики, стоимость и сложность обслуживания. Приведен пример выбора средств измерений из предложенной базы данных для контроля выбросов маркерных загрязняющих веществ для ТЭС МЭИ с помощью алгоритма оптимального выбора.

Ключевые слова: маркерные загрязняющие вещества, непрерывный контроль выбросов, средства измерений, газоаналитические системы, тепловые электростанции.

Для цитирования: Росляков П.В., Сивцева С.А. База данных измерительных систем для экомониторинга выбросов тепловых электрических станций // Вестник МЭИ. 2021. № 6. С. 66—76. DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-66-76.

The Database of Measuring Systems for Environmental Monitoring of Thermal Power Plant Emissions

P.V. Roslyakov, S.A. Sivtseva

According to the Russian environmental legislation, all sources of atmospheric pollution at Category I industrial enterprises must necessarily be equipped with automatic systems for monitoring and accounting of marker pollutants emissions. Such industrial facilities include more than 100 thermal power plants. The list of marker pollutants has been established in the relevant industry information and technical reference

books on the best available technologies (ITR BAT). The list of marker pollutants monitored at thermal power plants by automatic systems includes nitrogen oxides NO_x , sulfur dioxide SO_2 , carbon monoxide CO , and solid fuel ash. The use of domestically produced measuring equipment for these purposes is set forth as a priority task. However, there is currently no systematic information about gas analysis systems available in the market. The measuring instruments are analyzed, and a database of domestic sampling and non-sampling gas analytical systems is set up, which includes the main methods and means of measuring pollutants emissions, the technical characteristics of which meet the requirements of regulatory documents, and which allows specialists to optimally choose measuring instruments for organizing a continuous emission monitoring system (CEMS) at thermal power plants, taking into account specific conditions and requirements. The Microsoft Access Relational Database Management System (DBMS), which is a flexible database management system, is used to create the database. The developed database of measuring instruments for emission monitoring includes equipment from 33 Russian companies. The DBMS enables the user to organize data in tabular form and produce requests for selecting certain specified parameters. Both basic and additional criteria for selecting measuring instruments can be included in the request form. The developed DBMS takes into account the measured parameters of medium, the measurement method and means, compliance with BAT, measurement ranges and errors, estimated and warranty service life, mass and dimensional characteristics, and cost and complexity of maintenance, all serving for the convenience of selecting and implementing CEMS at thermal power plants. An example of the choice of measuring instruments from the proposed database for monitoring the marker pollutants emissions for the MPEI thermal power plant using the optimal choice algorithm is given.

Key words: marker pollutants, continuous emission monitoring, measuring instruments, gas-analytical systems, best available technologies, thermal power plants.

For citation: Roslyakov P.V., Sivtseva S.A. The Database of Measuring Systems for Environmental Monitoring of Thermal Power Plant Emissions. Bulletin of MPEI. 2021;6:66—76. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-66-76.

Согласно российскому природоохранному законодательству [1], на промышленных объектах I категории [2], негативно воздействующих на окружающую среду (НВОС), стационарные источники выбросов в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ) должны быть оснащены автоматическими средствами измерения концентрации ЗВ и учета массы их выбросов (АСНКиУВ). К таким промышленным объектам относят более 100 тепловых электростанций (ТЭС) [3].

Автоматическая система непрерывного контроля и учета выбросов ЗВ предназначена для непрерывных (круглосуточных) инструментальных измерений содержания ЗВ в дымовых газах стационарных энергетических установок тепловых электростанций (ТЭС) и котельных с установленной погрешностью [4]. В номенклатуру контролируемых на ТЭС автоматическими системами параметров входят перечень маркерных ЗВ, установленный в информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям (НДТ) ИТС 38—2017 [5] (NO_x , SO_2 , CO , зола твердого топлива), а также ряд дополнительных параметров (содержание O_2 , скорость газов и их температура в измерительном сечении газохода), необходимых для пересчета измеренных концентраций ЗВ на стандартные условия и расчета массовых выбросов [6, 7].

Одной из проблем выбора необходимого измерительного оборудования при проектировании и внедрении АСНКиУВ на ТЭС является отсутствие систематизированной информации об имеющихся на рынке газоаналитических системах. В этой связи цель настоящей работы — создание актуальной базы данных (БД) газоаналитических систем, включающей основные методы и средства измерений выбросов ЗВ, технические характеристики которых отвечают требованиям нормативных документов (НД) по созданию и эксплуатации АСНКиУВ [4 — 9]. Разработка подобной БД позволит существенно облегчить для специалистов ТЭС проведение оптимального выбора измерительных систем (ИС) для контроля выбросов ЗВ.

В разрабатываемую БД вошло измерительное оборудование (газоанализаторы, анализаторы пыли/зола, измерители скорости газов), соответствующее обязательным метрологическим требованиям к средствам измерений [7], имеющее сертификат (свидетельство) об утверждении типа средств измерений, выданный Росстандартом, и приведенное в Реестре средств измерений Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений [10, 11].

В соответствии с ИТС 38—2017 [5], в качестве НДТ организации производственного экологического контроля (ПЭК) на КТЭУ возможно применение одной или нескольких технологий из перечисленных в табл. 1.

При использовании НДТ ПЭК значения допустимой относительной погрешности измерений с учетом дополнительной погрешности в условиях эксплуатации не должны превышать [4, 12]:

- для концентраций O_2 , CO , NO_x , SO_2 $\pm 10\%$
- для концентрации твердых частиц $\pm 25\%$
- для скорости дымовых газов $\pm 10\%$

Измерительное оборудование для различных ТЭС должно также соответствовать техническим параметрам, приведенным в [4] (табл. 2). При этом установленные на ТЭС автоматические средства измерения обязаны обеспечивать верхний предел измерения не менее 2,5-кратного значения показателя выбросов, установленного для конкретного стационарного источника выбросов ЗВ в окружающую среду комплексным экологическим разрешением [9].

В настоящее время в Реестр средств измерений [10] включены 1772 отечественных и зарубежных газоанализатора, предназначенных для измерения различных химических веществ [13], и 66 анализаторов пыли, из них стационарных газоанализаторов, служащих для измерения концентрации газообразных ЗВ, — 79. Из 168 зарегистрированных производителей газоаналитического оборудования на российских производителях приходится 62% (104 производителя) [14].

Таблица 1

Наилучшие доступные технологии измерения массы выбросов маркерных загрязняющих веществ в атмосферу с дымовыми газами КТЭУ

Контролируемый параметр	Метод контроля	Периодичность контроля	Метод измерения	Область, условия и ограничения применения НДТ
Оксиды азота $NO_x = NO + NO_2$ (в пересчете на NO_2)	Прямой инструментальный	Непрерывно	Оптический	Определение массы максимальных разовых и валовых выбросов от КТЭУ, отнесенных к перечню источников, оснащаемых АСНКиУВ
Монооксид углерода CO				Определение массы максимальных разовых и валовых выбросов от КТЭУ, сжигающих твердое и (или) жидкое топливо и отнесенных к перечню источников, оснащаемых АСНКиУВ
Диоксид серы SO_2			Фотометрический, гравиметрический	
Зола твердого топлива				

Таблица 2

Технические параметры газоаналитических систем [4]

Параметр	Вид топлива			
	Природный газ	Твердое	Жидкое	
Диапазоны измерений, мг/м ³	CO	0...300	0...400	0...300
	NO и NO_x	40...400	2...2000 ¹ /200...500 ²	100...500
	NO_2	0...50	0...500	0...50
	SO_2	—	0...5800	0...1500
	Зола	—	50...5000	—
	O_2 (в %)	0...21	0...21	0...21
Погрешность измерения	CO, NO, NO_2 , SO_2 : ±10% Зола (тв. частицы): ±25%			
Максимально допустимая температура газов	200 °C			
Соответствие НДТ	Беспробоотборные и пробоотборные системы, оптические, термомагнитные методы			

Примечание: 1 — для каменных углей; 2 — для бурых углей

В разрабатываемую базу данных средств измерений (БД СИ) для контроля выбросов ЗВ занесено оборудование 33-х российских фирм (табл. 3).

Для удобства выбора и внедрения АСНКиУВ на объекты НВОС в разработанной БД СИ учтены следующие характеристики газоанализаторов: измеряемые параметры среды (концентрации, температуры, расходы), метод и способ измерения, соответствие НДТ, допустимая температура окружающей среды и газов, диапазоны и погрешности измерений, расчетный и гарантийный срок эксплуатации, массо-габаритные характеристики (вес, размеры), стоимость и сложность обслуживания (табл. 4). Дополнительно приведены название фирмы-производителя, ее сервисные центры, сайт и контакты для связи, а также ссылки на техническое описание средств измерений.

Для создания БД использована реляционная система управления базами данных (СУБД) Microsoft Access, предоставляющая гибкую систему управления

базами данных и позволяющая легко упорядочивать важную информацию. СУБД организует данные в таблицы, строит запросы или формы и объединяет их в цепочку, используя макрокоманды.

БД СИ содержит двенадцать тематических таблиц, связанных между собой отношением «один ко многим». В каждую из таблиц входит определенный перечень параметров для характеристики выбираемого средства измерения (газоанализаторов, анализаторов пыли, измерителей скорости) (рис. 1). Таблицы созданы с помощью «Конструктора таблиц» и связаны между собой с помощью «Мастера подстановок».

В БД имеется возможность упрощения выбора измерительного оборудования за счет использования языка структурированных запросов SQL, способного соединять наборы данных, хранящиеся в разных источниках.

В программной среде Access можно создать запрос на выборку определенных заданных параметров

Таблица 3

Российские производители газоаналитических систем

Местонахождение	Название фирмы-производителя
г. Москва	ООО «Турбоконтроль», НПФ Анагэк, ЗАО «ЭНАЛ», АО «Артгаз», ООО «ЭльГаз», ОАО НПП «Дельта», ЗАО «ЭКСИС», ООО «Политехформ-М», ООО «ЭкоМон», ООО «БАП «Хромдет-Экология», АО «Полигаз», АО НИЦ «Автоматика», МПП «Тангэк»
г. Санкт-Петербург	АО «Евротехлаб», ЗАО «Электронстандарт-Прибор», ООО «Информаналитика», ЗАО «Оптэк», ООО «ПФ Аналитик», ЗАО «Инсовт», ООО «Промэкоприбор», ООО «Мониторинг», ЗАО «Анагаз», ЗАО «Метеоспецприбор», ОАО «КОТ»
г. Нижний Новгород	НПЦ Аналитех, ООО «Эковест», ООО «Дитангаз»
г. Смоленск	ФГУП «СПО «Аналитприбор»
г. Чайковский	ООО «ЭРИС»
г. Рязань	ООО «Полиорт»
г. Ангарск	ООО «НПП ОКБА»
г. Бердск	АО «Проманалитприбор»

Таблица 4

Пример представления информации в базе данных средств измерений (БД СИ)

Измеряемые параметры	NO _x	SO ₂	O ₂	Твердые частицы	
Фирма-производитель	Евротехлаб, Санкт-Петербург	НПЦ Аналитех, Нижний Новгород	Пергам, Москва	Аналитприбор, Смоленск	
Тип прибора	Конвертер ETL NO _x	АГМ-510	ГАСК4000Е	КГО	
Метод измерения	ИК-спектроскопия	Электрохимический	Многоканальный ИК с отбором горячей пробы	Оптический	
Соответствие НДТ	+	—	+	—	
Допустимая температура, °С	ОС	+5...+45	45	-20...+50	-50...+80
	Газ	200	800	600	1500
Диапазон измерений	до 400 ppm	0...2000 ppm	0...6000 ppm	5 г/м ³ без устройства обратной продувки; 50 г/м ³ с устройством обратной продувки	
Погрешность, %	±15	±10	±8	±15	
Гарантийный срок, лет	1	1	3	1,5	
Расчетный срок, лет	10	8	15	10	
Массогабаритные характеристики	Вес, кг	10	2	6,4	120
	Размеры, мм	483×140×355	280×120×120	161×104×86	600×2200×600
Стоимость, руб	137599	от 182900 до 336 000	—	от 455500	
Наличие сервисных центров	Санкт-Петербург, Новосибирск	Нижний Новгород	Москва	Смоленск	

в режиме «Конструктор запросов». Такой вид запроса позволяет выбирать данные из таблиц в БД СИ, связанных между собой связью «один ко многим». Из выбранных таблиц генерируются схема данных в бланке запросов (верхняя часть рис. 2) и бланк запросов для

задания конкретных требований к выбираемому средству измерений (нижняя часть рис. 2). В бланк запросов могут войти дополнительные критерии отбора из представленных в БД (например, метод газового анализа, способ отбора пробы, расчетный и гарантийный

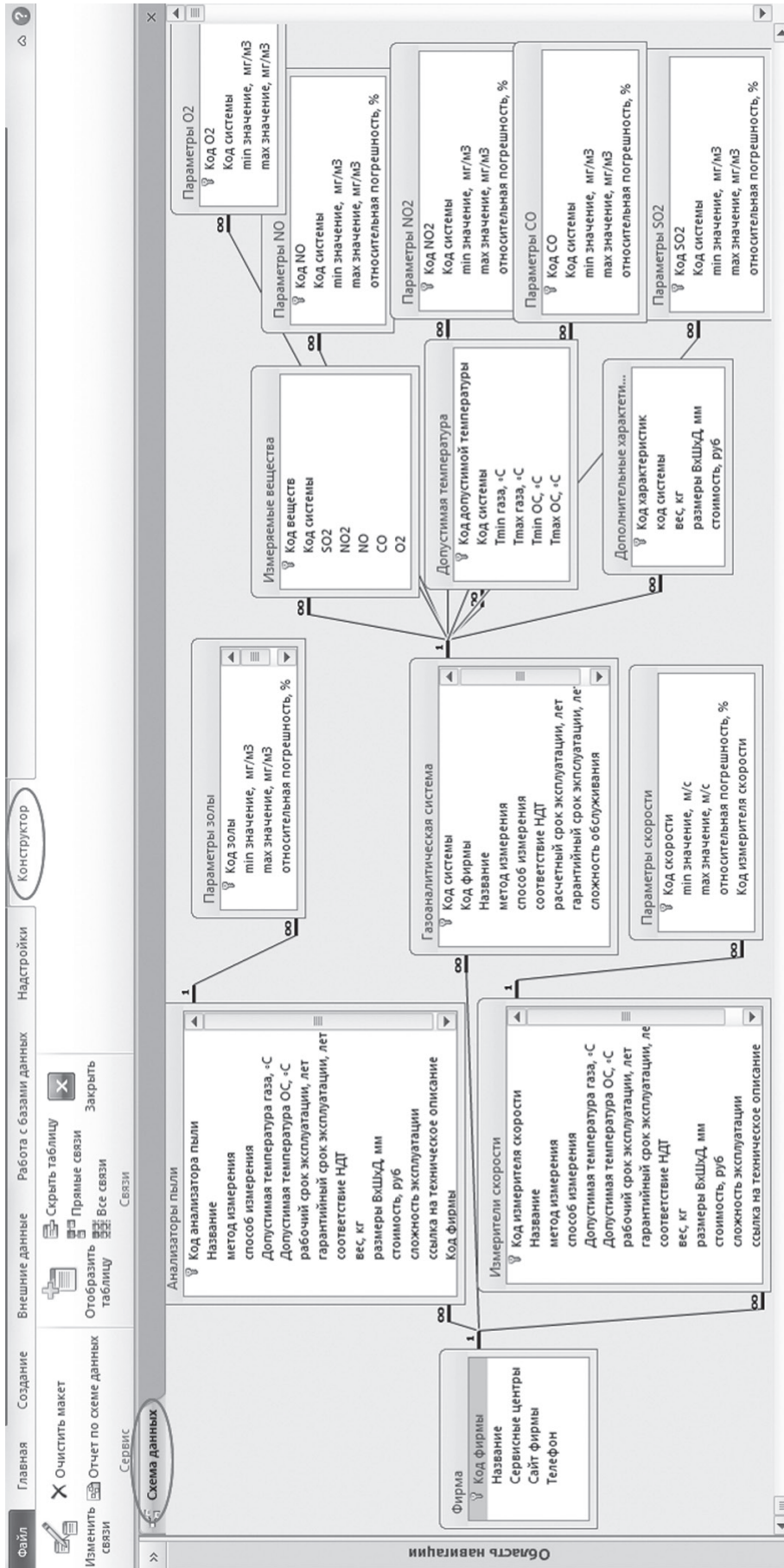


Рис. 1. Связь таблиц в СУБД Microsoft Access

Конструктор

Итоги Параметры

Показать или скрыть

Страница свойств

Имена таблиц

Вставить строки

Удалить строки

Построитель

Возврат: Все

Настройка запроса

Образовать таблицу

Надстройки

Объединение

К серверу

Управление

Работа с базами данных

Перекрестный анализ

Удаление

Объединение

К серверу

Управление

Внешние данные

Обновление

Перекрестный анализ

Удаление

Объединение

К серверу

Управление

Создание

Выборка

Создание таблиц

Обновление

Перекрестный анализ

Удаление

Объединение

К серверу

Управление

Главная

Выполнить

Выборка

Создание таблиц

Обновление

Перекрестный анализ

Удаление

Объединение

К серверу

Управление

Тип запроса

Выбор газоанализатора для ТЭЦ МЭИ

Газоаналитическая ...

Код системы

Код фирмы

Название

метод измерен

способ измере

соответствие Н

Допустимая темпер...

Код доступино

Код системы

Tmin газа, °C

Tmax газа, °C

Tmin ОС, °C

Tmax ОС, °C

Измеряемые вещещ...

Код веществ

Код системы

SO2

NO2

NO

CO

Параметры O2

Код O2

Код системы

мин значение, мг/

мак значение, мг/

относительная по

Параметры NO

Код NO

Код системы

мин значение, мг/

мак значение, мг/

относительная по

Параметры CO

Код CO

Код системы

мин значение, мг/

мак значение, мг/

относительная по

Параметры NO2

Код NO2

Код системы

мин значение, мг/

мак значение, мг/

относительная по

Название	Газоаналитиче...	метод измерения	Tmax газа, °C	NO2	NO	CO	диапазон: [мг/м3]	погрешность: [%]	диапазон: [мг/м3]
Газоаналитическая ...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Допустимая темпер...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Измеряемые вещещ...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Параметры O2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Параметры NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Параметры CO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Параметры NO2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Параметры SO2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Имя таблицы

Сортировка:

Выход на экран:

Условие отбора:

или:

Рис. 2. Режим «Конструктор запросов» с заполненными полями и условиями выбора

сроки эксплуатации, стоимость, допустимая температура окружающей среды, название фирмы-производителя, наличие сервисного центра).

Результат заполнения бланка запросов — итоговая таблица требований к СИ, состоящая из столбцов (нижняя часть рис. 2):

- Название фирмы..... таблица «Фирма»
- Название газоаналитической системы..... таблица «Газоаналитическая система»
- Метод газового анализа (метод измерения)..... таблица «Газоаналитическая система»
- Измеряемые вещества (NO₂, NO, CO, O₂)..... таблица «Измеряемые вещества»
- Диапазон измерения (NO₂, NO, CO, O₂) таблица «Параметры»
- Погрешность измерения (NO₂, NO, CO)..... таблица «Параметры»
- Максимально допустимая температура газов таблица «Допустимая температура»
- Соответствие НДТ таблица «Газоаналитическая система»

После заполнения бланка запросов во вкладке «Конструктор» и выполнении команды «Выполнить» на экран монитора выводится итоговая таблица выбора всех средств измерений, отвечающих заданным требованиям (рис. 3). Ее можно экспортировать в программы Microsoft Word или Excel.

В качестве примера использования разработанной БД СИ приведен выбор средств измерений для контроля выбросов маркерных ЗВ (NO_x и CO) для АСНКиУВ ТЭЦ МЭИ, работающей на природном газе.

Требуемые технические параметры газоанализатора для ТЭЦ МЭИ

Диапазон концентраций измеряемых газообразных веществ, мг/м³:

- CO 0...300
- NO, NO_x 20...150
- NO₂ 0...20
- O₂, % 0...15 (для ГТУ); 0...6 (для котла БМ 35-РФ)
- Диапазон измерения температуры уходящих газов, °C 50...150
- Погрешность измерения, % CO, NO, NO₂; ±10
- Соответствие НДТ пробоотборные и беспробоотборные системы; оптические и термомагнитные методы

Диапазон концентраций измеряемых маркерных веществ выбирается таким образом, чтобы верхний предел измерения был не менее 2,5-кратного значения показателя выбросов ЗВ, установленного для конкретного стационарного источника выбросов [12].

Для выбора измерительного оборудования в созданной базе данных средств измерений (БД СИ) сформирован запрос. Его результатом стала итоговая таблица газоаналитических систем (см. рис. 3) с заявленными техническими характеристиками.

Затем для оптимального выбора газоаналитического оборудования для АСНКиУВ ТЭЦ МЭИ из предложенного перечня (см. рис. 3) был использован алгоритм, описанный в [4]. Он включает последова-

Газоаналит	способ изм.	Tmax	NO ₂	NO	CO	O ₂	Параметр	Парам	соответств
EN-7000	ИК-спектроск	+800	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±10	1400	<input checked="" type="checkbox"/>
ПЭМ-2М	оптический	+800	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±10	1000	<input checked="" type="checkbox"/>
ИГС-98	оптический (ф	+200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±10	500	<input checked="" type="checkbox"/>
ET-2000	оптический ит	+200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±10	2000	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 3. Таблица результатов выбора газоанализаторов по заданным требованиям

тельность процедур сравнительного анализа предложенных средств измерений:

- формирование таблицы, содержащей технические характеристики сравниваемых газоанализаторов;
- анализ сравниваемых СИ на соответствие требуемым техническим параметрам (в случае несоответствия хотя бы одного параметра СИ исключается из дальнейшего рассмотрения);
- определение экспертных оценок (EV) по соответствию каждому основному и дополнительному критериям для каждого СИ.

В качестве дополнительных критериев для отбора СИ учитывали: расчетный и гарантийный сроки эксплуатации, наличие и расположение сервисных центров, сложность обслуживания, стоимость полного комплекта оборудования.

Для каждого газоанализатора, отвечающего основным критериям отбора, экспертным путем выставляли количественные значения (EV) по изучаемым параметрам в диапазоне от 0 до 1 (1 — полностью соответствует требованиям; 0,5 — частично соответствует; 0 — полностью не соответствует). Кроме этого для оценки относительной значимости каждого параметра вводили весовые коэффициенты или факторы приоритета (PF), величина которых для всех показателей устанавливалась путем экспертных оценок, исходя из значимости этих параметров для создания и функционирования системы мониторинга.

Количественную оценку оборудования проводили суммированием по всей группе произведений критериальных оценок (EV) на соответствующие факторы приоритета (PF). Наилучшей в каждой группе считалась

газоаналитическая система, набравшая наибольшую сумму $\Sigma(EV \cdot PF) = Si$. При этом конкретные величины факторов приоритета (PF) выбраны таким образом, что максимально возможная сумма произведений оценок на факторы приоритета $\max \Sigma(EV \cdot PF) = 100$.

Исходные данные для сравнения газоанализаторов по дополнительным критериям отбора даны в табл. 5. Результаты сравнительного анализа технико-экономических показателей газоаналитических систем по исходным данным, полученным по запросу в разработанной БД, представлены в табл. 6. Наибольшую сумму баллов 72,5 (из возможных 100) получил беспроботборный инфракрасный оптико-абсорбционный газоанализатор ЕН-7000 фирмы ЗАО «ЭНАЛ».

В состав газоанализатора ЕН-7000 входят два модуля — инфракрасный оптико-абсорбционный для измерения содержания CO_2 , CO , NO , NO_2 и термоманитный для измерения концентрации O_2 . Погрешность измерений составляет $\pm 4\%$ от верхнего значения диапазона. Он полностью автоматизирован, оборудован современным процессором, обеспечивающим автоматическую диагностику и установку нулевых показаний перед измерением, переключение диапазона измерений, включение калибровки шкалы, удаленное управление и проч.

Для контроля расхода газов выбран ультразвуковой измерительный комплекс «Вымпел-100» российской фирмы «НПО Вымпел», а для измерения температуры продуктов сгорания — преобразователь термоэлектрический ТХА 002 ведущего российского производителя СКБ «Термоприбор».

Таблица 5

Исходные данные газоанализаторов с дополнительными характеристиками

Название фирмы		ЗАО «ЭНАЛ»	Проманалитприбор	НПП «Дельта»	ООО «ЭТЭК»
Тип газоанализатора		ЕН-7000	ПЭМ-2М	ИГС-98	ЕТ-2000
Метод газового анализа		оптико-абсорбционный, термоманитный	оптический, термоманитный	оптический (фотоколориметрический), термоманитный	ИК-спектроскопия, циркониевая ячейка
Способ измерения		беспроботборный	проботборный	проботборный	беспроботборный
Сроки эксплуатации, лет	Гарантийный	2	1	1	1
	Расчетный	10	6	8	6
Сложность обслуживания		монтаж на высоте	необходимы обогреваемые линии пробоподготовки и периодическое обслуживание не реже одного раза в месяц	необходимы обогреваемые линии пробоподготовки и специальное помещение, периодическое обслуживание не реже одного раза в месяц	монтаж на высоте, ручная калибровка
Наличие сервисных центров		г. Москва	г. Бердск	г. Москва	
Стоимость, тыс. руб.		от 470	от 81 (без учета проботборного устройства)	от 83 (без учета проботборного устройства)	от 22

Сравнительный анализ технико-экономических показателей газоаналитических систем

Параметр	PF	ЕН-7000		ПЭМ-2М		ИГС-98		ЕТ-2000	
		EV	EV·PF	EV	EV·PF	EV	EV	EV	EV·PF
Гарантийный срок: 1 — 2 года и более 0,5 — 1—2 года 0 — менее 1 года	15	1	15	0,5	7,5	0,5	7,5	0,5	7,5
Расчетный срок эксплуатации: 1 — 10 лет и более 0,5 — 5—9 лет 0 — менее 5 лет	15	1	15	0,5	7,5	0,5	7,5	0,5	7,5
Сложность обслуживания: 1 — низкая 0,5 — средняя 0 — высокая	20	0,5	10	0,5	10	0	0	0	0
Наличие (и местоположение) сервисных центров в России: 0,5 — 1 — да (в зависимости от местоположения) 0 — отсутствие	15	1	15	0,5	7,5	1	15	1	15
Стоимость полного комплекта (с учетом инженерного обеспечения): 1 — низкая (менее 500 тыс. руб.) 0,5 — средняя (от 500 тыс. до 1,58 млн руб.) 0 — высокая (более 1,5 млн руб.)	35	0,5	17,5	1	35	1	35	1	35
Всего	100	72,5		67,5		65,0		65,0	

Таким образом, взятые средства измерения отвечают всем предъявляемым техническим требованиям и могут быть установлены на ТЭЦ МЭИ в составе АСНКиУВ.

Заключение

В настоящее время российский рынок измерительных газоаналитических систем обладает значительным количеством отечественных и импортных средств измерений, основанных на различных физических и физико-химических принципах. Для облегчения выбора измерительного оборудования при организации на ТЭС АСНКиУВ маркерных загрязняющих веществ с учетом конкретных требований и условий разработана база данных средств измерений (БД СИ).

Литература

1. **Федеральный закон** № 96-ФЗ от 04 мая 1999 г. Об охране атмосферного воздуха (с изменениями на 8 декабря 2020 г.) [Электрон. ресурс] www.docs.cntd.ru/document/901732276 (дата обращения 16.02.2021).
2. **Постановление** Правительства РФ № 2398 от 31 декабря 2020 г. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий [Электрон. ресурс] www.docs.cntd.ru/document/573292854 (дата обращения 16.02.2021).

Для удобства выбора и внедрения АСНКиУВ на ТЭС в разработанной БД СИ учтены измеряемые параметры среды, метод и способ измерения, соответствие НДТ, диапазоны и погрешности измерений, расчетный и гарантийный сроки эксплуатации, массогабаритные характеристики, стоимость и сложность обслуживания.

База данных позволяет специалистам по созданному конкретному запросу из большого количества измерительных систем с различными характеристикам оптимально выбрать средства измерений с учетом необходимых требований.

Исходя из определенных технических параметров в разработанной базе данных, выполнены запрос и выбор средств измерений для организации АСНКиУВ на ТЭЦ МЭИ.

References

1. **Federal'nyy Zakon** № 96-FZ ot 04 Maya 1999 g. Ob Okhrane Atmosfernogo Vozdukha (s Izmeneniyami na 8 Dekabrya 2020 g.) [Elektron. Resurs] www.docs.cntd.ru/document/901732276 (Data Obrashcheniya 16.02.2021). (in Russian).
2. **Postanovlenie** Pravitel'stva RF № 2398 ot 31 Dekabrya 2020 g. Ob Utverzhdenii Kriteriev Otneseniya Ob'ektov, Okazyvayushchikh Negativnoe Vozdeystvie na Okruzhayushchuyu Sredu, k Ob'ektam I, II, III i IV Kategoriy [Elektron. Resurs] www.docs.cntd.ru/document/573292854 (Data Obrashcheniya 16.02.2021). (in Russian).

3. **Государственный реестр** объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [Электрон. ресурс] www.23.rpn.gov.ru/opendata/7703381225-ptouonvos (дата обращения 16.02.2021).

4. **ПНСТ 187—2017**. Наилучшие доступные технологии. Автоматические системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных (загрязняющих) веществ тепловых электростанций в атмосферный воздух. Основные требования.

5. **Информационный** технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС-38—2017. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии.

6. **Постановление** Правительства РФ № 1847 от 16 ноября 2020 г. Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений [Электрон. ресурс] www.docs.cntd.ru/document/566385039 (дата обращения 16.02.2021).

7. **Федеральный закон** № 102-ФЗ от 26 июня 2008 г. Об обеспечении единства измерений (с изменениями и дополнениями) [Электрон. ресурс] www.docs.cntd.ru/document/902107146 (дата обращения 16.02.2021).

8. **Постановление** Правительства РФ № 262 от 13 марта 2019 г. Правила создания и эксплуатации систем автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ [Электрон. ресурс] www.docs.cntd.ru/document/553884118 (дата обращения 16.02.2021).

9. **Постановление** Правительства РФ № 263 от 13 марта 2019 г. Требования к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, к техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в Государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [Электрон. ресурс] www.docs.cntd.ru/document/553884117 (дата обращения 16.02.2021).

10. **Реестр** средств измерения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений [Официальный сайт] www.fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4 (дата обращения 28.03.2021).

11. **Перечень** газоанализаторов для измерения концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах, допущенных к применению в 2020 г. [Электрон. ресурс] www.nii-atmosphere.ru/wp-content/uploads/2020/01/perechenga2020-1.pdf (дата обращения 28.03.2021).

12. **Информационный** технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 22.1—2016. Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения.

3. **Gosudarstvennyy Reestr** Ob'ektov, Okazyvayushchikh Negativnoe Vozdeystvie na Okruzhayushchuyu Sredu [Elektron. Resurs] www.23.rpn.gov.ru/opendata/7703381225-ptouonvos (Data Obrashcheniya 16.02.2021). (in Russian).

4. **PNST 187—2017**. Nailuchshie Dostupnye Tekhnologii. Avtomaticheskie Sistemy Nepreryvnogo Kontrolya i Ucheta Vybrosov Vrednykh (Zagryaznyayushchikh) Veshchestv Teplovykh Elektrostantsiy v Atmosfernyy Vozdukh. Osnovnye Trebovaniya. (in Russian).

5. **Informatsionnyy** Tekhnicheskiy Spravochnik po Nailuchshim Dostupnym Tekhnologiyam ITS-38—2017. Szhiganie Topliva na Krupnykh Ustanovkakh v Tselyakh Proizvodstva Energii. (in Russian).

6. **Postanovlenie** Pravitel'stva RF № 1847 ot 16 Noyabrya 2020 g. Ob Utverzhdenii Perechnya Izmereniy, Otnosyashchikhsya k Sfere Gosudarstvennogo Regulirovaniya Obespecheniya Edinstva Izmereniy [Elektron. Resurs] www.docs.cntd.ru/document/566385039 (Data Obrashcheniya 16.02.2021). (in Russian).

7. **Federal'nyy Zakon** № 102-FZ ot 26 Iyunya 2008 g. Ob Obespechenii Edinstva Izmereniy (s Izmeneniyami i Dopolneniyami) [Elektron. Resurs] www.docs.cntd.ru/document/902107146 (Data Obrashcheniya 16.02.2021). (in Russian).

8. **Postanovlenie** Pravitel'stva RF № 262 ot 13 Marta 2019 g. Pravila Sozdaniya i Ekspluatatsii Sistem Avtomaticheskogo Kontrolya Vybrosov Zagryaznyayushchikh Veshchestv i (ili) Sbrosov Zagryaznyayushchikh Veshchestv [Elektron. Resurs] www.docs.cntd.ru/document/553884118 (Data Obrashcheniya 16.02.2021). (in Russian).

9. **Postanovlenie** Pravitel'stva RF № 263 ot 13 Marta 2019 g. Trebovaniya k Avtomaticheskim Sredstvam Izmereniya i Ucheta Pokazateley Vybrosov Zagryaznyayushchikh Veshchestv i (ili) Sbrosov Zagryaznyayushchikh Veshchestv, k Tekhnicheskim Sredstvam Fiksatsii i Peredachi Informatsii o Pokazatelyakh Vybrosov Zagryaznyayushchikh Veshchestv i (ili) Sbrosov Zagryaznyayushchikh Veshchestv v Gosudarstvennyy Reestr Ob'ektov, Okazyvayushchikh Negativnoe Vozdeystvie na Okruzhayushchuyu Sredu [Elektron. Resurs] www.docs.cntd.ru/document/553884117 (Data Obrashcheniya 16.02.2021). (in Russian).

10. **Reestr** Sredstv Izmereniya Federal'nogo Informatsionnogo Fonda po Obespecheniyu Edinstva Izmereniy [Ofits. Sayt] www.fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4 (Data Obrashcheniya 28.03.2021). (in Russian).

11. **Perechen'** Gazoanalizatorov dlya Izmereniya Kontsentratsiy Zagryaznyayushchikh Veshchestv v Promyshlennykh Vybrosakh, Dopushchennykh k Primeneniyu v 2020 g. [Elektron. Resurs] www.nii-atmosphere.ru/wp-content/uploads/2020/01/perechenga2020-1.pdf (Data Obrashcheniya 28.03.2021). (in Russian).

12. **Informatsionnyy** Tekhnicheskiy Spravochnik po Nailuchshim Dostupnym Tekhnologiyam ITS 22.1—2016. Obshchie Printsipy Proizvodstvennogo Ekologicheskogo Kontrolya i Ego Metrologicheskogo Obespecheniya. (in Russian).

13. **Кондратьева О.Е., Росляков П.В.** Сравнительный анализ газоаналитических систем для проведения непрерывного мониторинга выбросов ТЭС // Теплоэнергетика. 2017. № 6. С. 48—62.

14. **Отчетность** рынков газоанализаторов в России — 2020 [Электрон. ресурс] www.s.rbk.ru/v5_marketing_media/demo/7/34/136034513840347.pdf (дата обращения 28.03.2021).

13. **Kondrat'eva O.E., Roslyakov P.V.** Sravnitel'nyy Analiz Gazoanaliticheskikh Sistem dlya Provedeniya Nepreryvnogo Monitoringa Vybrosov TES. Teploenergetika. 2017;6:48—62. (in Russian).

14. **Otchetnost'** Rynkov Gazoanalizatorov v Ros-sii — 2020 [Elektron. Resurs] www.s.rbk.ru/v5_marketing_media/demo/7/34/136034513840347.pdf (Data Obrashcheniya 28.03.2021). (in Russian).

Сведения об авторах:

Росляков Павел Васильевич — доктор технических наук, профессор кафедры моделирования и проектирования энергетических установок НИУ «МЭИ», e-mail: RoslyakovPV@mpei.ru

Сивцева Сaina Алексеевна — магистр по направлению «Электроэнергетика и электротехника» программы «Техногенная безопасность в электроэнергетике и электротехнике» НИУ «МЭИ», e-mail: Saina-sivseva@mail.ru

Information about authors:

Roslyakov Pavel V. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Modeling and Design of Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: RoslyakovPV@mpei.ru

Sivtseva Saina A. — Master's Degree in the Direction of «Electric Power and Electrical Engineering» of the Program «Technogenic Safety in Electric Power and Electrical Engineering», NRU MPEI, e-mail: Saina-sivseva@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 16.06.2021

The article received to the editor: 16.06.2021