

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д.т.н. Н. А. Любимова, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им.П.Василенко

*Рассмотрены возможности использования мультикомпонентного газоанализатора ULTRAMAT 23 для контроля выбросов крупного энергопредприятия. Использование модернизированного прибора позволяет намного улучшить качество и возможности управления выбросами, повысить надежность технологий. На основе полученных данных выполнены теоретические исследования планирования процедур контроля, исследованы методы повышения достоверности спектрально-нестационарных процессов загрязнения. Внедрение методов и возможностей информационного обеспечения ULTRAMAT 23 обеспечивает надежность технологических режимов и выполнение норм природопользования.*

*Розглянуті можливості використання мультикомпонентного газоаналізатора ULTRAMAT 23 для контролю викидів енергоємного підприємства. Використання модернізованого приладу дозволяє набагато покращити якість та можливості керування викидами, підвищити надійність технологічних процесів. На основі отриманих даних виконані теоретичні дослідження планування процедур контролю, досліджені методи підвищення достовірності спектрально-нестационарних процесів забруднення. Впровадження методів і можливостей інформаційного забезпечення ULTRAMAT 23 забезпечує надійність технологічних режимів та виконання норм природокористування.*

*The possibilities of using the ULTRAMAT 23 multicomponent gas analyzer to control emissions of a large energy enterprise are considered. The use of an upgraded instrument allows much improved quality and emission control capabilities. On the basis of the obtained data, theoretical studies of the planning of control procedures were carried out, methods for increasing the reliability of spectral and non-stationary pollution processes were investigated. The introduction of methods and capabilities of information support ULTRAMAT 23 ensures the reliability of technological regimes and the implementation of environmental standards.*

**Ключевые слова:** контроль, экологический мониторинг, выбросы, прибор, достоверность, надежность.

### Актуальность работы

Одним из основных загрязнителей атмосферы и гидросферы является энергетика. Энергетическое производство выдает товарный продукт в виде электрической и тепловой энергии, трансформированной из потенциальной энергии топлива. При этом материальные ресурсы целиком превращаются в отходы, поступают в виде газообразных и жидких продуктов сгорания в окружающую среду. Вместе с продуктами сгорания поступают все примеси исходного топлива –

часть золы, многие элементы таблицы Менделеева, окись углерода, частицы недогоревшего твердого топлива, продукты неполного сгорания жидких топлив, окислы серы и азота, многие другие соединения и элементы.

Технологический процесс, являясь основой любого производства, обеспечивает целенаправленное и последовательное изменение свойств сырья, полупродуктов, вспомогательных материалов для получения нового продукта с заранее заданными свойствами. Практические требования к ведению определенного технологического процесса излагаются в соответствующих технологических регламентах.

Технологический регламент является основным техническим документом, определяющим рецептуру, режим и порядок проведения операций технологического процесса [1].

В технологическом регламенте дается последовательное, подробное описание всех стадий производства и его аппаратурно-механического оснащения, описывается качество, физико-химические, взрывоопасные и токсические свойства сырья, полупродуктов, вспомогательных материалов и готовой продукции, а также время, отведенное для отдельных операций, объем, тоннаж и скорости загрузки аппаратов. В специальном разделе регламента перечисляются все отходы производства (твердые, жидкие, газообразные), используемые и неиспользуемые, указываются их количества и технические характеристики

Отходы могут давать также вспомогательные вещества, применяемые в технологических процессах: отработанные катализаторы, адсорбенты, растворители, вода от промывки оборудования и тары и другие...

В регламенте дан перечень выбросов в атмосферу, указаны их количества, нормы содержания примесей, применяемые методы обезвреживания, а также меры по устранению нарушений режимов очистки выбросов в атмосферу [2,3]. Также указаны технологические параметры нормального ведения процесса: концентрация отдельных веществ, их температура, давление, скорости подачи, скорости потоков и, что особенно важно, допустимые их отклонения.

В допустимых пределах отклонения стабильность технологического процесса не нарушается, если же рабочие параметры почему-либо выйдут за пределы допустимых отклонений, то это выведет реакционную систему из стабильного состояния, технологический процесс нарушится и потребуются некоторое, иногда длительное время, чтобы вернуть его в нормальное состояние. Естественно, что нарушение регламента вызовет изменения также и в количестве отходов, и в их качественной характеристике [2,3].

### Анализ литературы и достижений

Для расчета влияния выбросов энергетического предприятия на окружающую среду основным исходным показателем является выброс того или иного вещества в единицу времени. В настоящее время наметились два основных методологических подхода в области борьбы с загрязнением атмосферного воздуха.

Первый подход получил название «наилучших практически достижимых мер», состоит в том, что независимо от степени загрязнения атмосферного воздуха внедряются технологические меры борьбы с загрязнением, достижимые на данном уровне техники.

Второй подход, названный «управление качеством воздуха», предполагает наличие стандартов качества воздуха, на базе которых осуществляются все мероприятия по борьбе с загрязнением атмосферы путем очистки выбросов. В качестве стандартов качества воздуха приняты предельно допустимые концентрации (ПДК) различных поллютантов. Предельно допустимые концентрации атмосферных загрязнений устанавливаются в двух показателях: как максимально разовые (за 20 минут) и среднесуточные (за 24 часа). Соблюдение этих стандартов утверждено на законодательном уровне и влечет за собой необходимость проведения постоянно действующего контроля и управления газообразными выбросами ТЭС. Для выполнения норм международных экологических стандартов выбросов необходимо осуществлять соответствующий планируемый контроль качества и количества выбросов для не превышения норм в окружающую среду[2,3].

Рабочая масса органического топлива тепловой электростанции состоит из углерода, водорода, кислорода, азота, серы, влаги и золы. В результате процесса полного сгорания топлива в воздушной среде в дымовых газах образуются углекислый газ  $\text{CO}_2$ , водяные пары  $\text{H}_2\text{O}$ , азот  $\text{N}_2$ , окислы серы  $\text{SO}_2$  (сернистый газ),  $\text{SO}_3$  (серный ангидрид) и зола.

Из перечисленных составляющих к числу токсичных относятся окислы серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  и зола. При высоких температурах в ядре факела топочных камер котлов происходит частичное окисление азота воздуха и топлива с образованием окислов азота  $\text{NO}$  (окись азота) и  $\text{NO}_2$  (двуокись азота).

В случае неполного сгорания топлива в топках могут образовываться также окись углерода  $\text{CO}$ , углеводороды  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  и др., а также канцерогенные вещества. Продукты неполного сгорания являются весьма вредными, однако при современной технике сжигания топлива их образование можно исключить или свести к минимуму.

Любая система измерительного контроля – это информационная структура, преобразующая первичную количественную измерительную информацию в информацию вторичную, представленную качественными решениями. Последние характеризуются вероятностями ошибок, минимизация которых достигается, не в последнюю очередь, за счет статистической обоснованности подготовки первичных данных с учетом вида математической модели их преобразования.

Адекватность такой модели вероятностным свойствам объекта плана контроля обеспечивает отсутствие методических составляющих полной вероятности ошибки контроля и снижение рисков 1-го и 2-го рода [2,4,5].

Процессы загрязнения воздушной среды – это сложные диффузные объекты контроля, вероятностные свойства которых отличаются неопределенностью, зависящей во времени от множества случайных факторов. В настоящее время в Украине использование методов и приборов контроля и управления соответствующим технологическим процессом с целью минимизации нарушений норм природопользования выбросами в атмосферу на многих энергоёмких предприятиях нуждается в модернизации и внедрении инновационных технологий. В то же время от качественного и своевременного контроля зависит безаварийная работа предприятий и экологическая безопасность. Это определяет актуальность внедрения новых методов и приборов контроля окружающей среды.

Выделяют две составляющих информационной неопределенности результатов измерительного контроля, снижающие достоверность экологического контроля.

Во-первых, это инструментальная составляющая, обусловленная погрешностями средств первичного измерения и преобразования контролируемых компонентов загрязнения.

Во-вторых, это методическая составляющая, обусловленная несовершенством информационных технологий преобразования количественной входной измерительной информации в ИИС (информационные измерительные системы) экологического контроля в информацию вторичную, представленную логическими решениями о состоянии объекта контроля.

### Цель и задачи работы

Рассмотрим возможности, опыт и преимущества применения непрерывных газоанализаторов на примере ULTRAMAT 23, установленных на отдельных энергоёмких предприятиях Украины в качестве «пилотных проектов».

### Основная часть

На ТЭЦ на угле необходимо использовать непрерывно измеряющие анализаторы и измерительные приборы во многих точках.

Измерения необходимы для:

- функционирования и экономичной работы электростанции, применяя контроль над всеми этапами процесса и следующими из этого мер по оптимизации;
- безопасности персонала и оборудования, контроле пожаробезопасности и взрывобезопасности;
- охраны окружающей среды, посредством управления и контроля, относящихся к системе очистки дымового газа установок, а также для контроля соблюдения допустимых предельных значений остаточных концентраций вредных веществ в дымовом газе.

Непрерывный газоанализатор ULTRAMAT 23 – это газоанализатор, работающий в системах с отбором

проб с одновременным измерением компонентов O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> в одном приборе.

Важное положительное качество работы ULTRAMAT 23 – это его процесс калибровки, с использованием окружающего воздуха. Поверка с использованием дорогих поверочных газов необходима только раз в год.

Опыт эксплуатации прибора ULTRAMAT 23 подтвердил ряд заявленных производителем свойств. Они приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Свойства прибора ULTRAMAT 23

Приборы, методы измерений и детектирования		Область применения
ULTRAMAT 23	С «отбором пробы» Не дисперсионное инфракрасное поглощение	Параллельное определение активных инфракрасных газовых компонентов, до 3-х компонентов (например: CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , а также O <sub>2</sub> )

Таблица 2.

Свойства прибора и эффекты использования ULTRAMAT 23

Свойства прибора ULTRAMAT 23	Эффект использования
Однолучевой метод с многослойным детектором и интегрированной функцией автоматической калибровки	Высокая избирательность и стабильность, не требуются поверочные газы, благодаря работе с поверкой по окружающему воздуху
Модульный тип конструкции с 1-3 инфракрасными каналами и дополнительной опцией для измерения O <sub>2</sub> с помощью гальванического элемента	Высокая экономичность благодаря измерению до 4-х компонентов в одном устройстве и высокая стойкость O <sub>2</sub> – ячейки
Чистить камеры легко – ячейку очень легко заменить	Незначительные издержки на обслуживание
Программный пакет SIPROM GA для удаленного управления и обслуживания. Интерфейс для PROFIBUS PA (опция).	Простое подключение к системе автоматизации

Среди актуальных решаемых задач непрерывным газоанализатором ULTRAMAT 23 выполнялся контроль возгорания угольных бункеров. При работе угольных бункеров высока вероятность угрозы возникновения местных самовозгораний угля с опасностью взрыва и/или токсичных выбросов. Самовозгорание угля сложно предвидеть, так как его возникновение зависит от многих параметров.

Одним из эффективных защитных мероприятий является наблюдение за концентрацией CO в верхней части (пустом пространстве) бункера, так как внезапное повышение концентрации CO сигнализирует о пожаре в этой области и позволяет принять немедленные контрмеры.

Для точного и надежного контроля CO в угольном бункере наиболее пригодны ULTRAMAT 6 (тип конструкции для внешнего монтажа или модульный), а также ULTRAMAT 23 в различных исполнениях. Совместно с соответствующим забором и подготовкой газа они образуют систему устройств, которая наиболее точно отвечает требованиям поставленной задачи. В качестве альтернативы применению метода «с отбором проб», измерение может быть также проведено с помощью LDS 6, т.е. метода измерений «на месте» (in-situ).

Согласно 13-му предписанию при введении международного закона об экологии (13.BImSchV), необходимо непрерывно контролировать концентрации вредных газов CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, а также в качестве базисного O<sub>2</sub> и пыль в дымовом газе перед выбросом в окружающую среду с помощью специальных, разрешенных для этих целей измерительных приборов.

В особых случаях это также относится к суммарному значению тяжелых металлов и углеводородов. Указанные предельные значения, по определению, являются суточными средними значениями (TMW), допустимые получасовые значения (HMW) составляют, как правило, двойную величину соответствующего суточного значения (TMW).

Лучше всего задаче контроля выбросов, согласно директиве 13.BImSchV, соответствует инфракрасный газоанализатор ULTRAMAT 23 в модульном исполнении.

Его особые свойства:

- допуск к эксплуатации профессиональной экспертизой;
- экономный замер основных четырех газовых компонентов в одном устройстве;
- высокая избирательность и точность измерения благодаря физической конструкции источника излучения с 2-х и трехслойным детектором;
- долговременная стабильность без применения дорогих поверочных газов благодаря автокалибровке по окружающему воздуху;
- исполнение согласно требованиям норм EN 14181 14 956.

Таблица 3

Минимально допустимый диапазон измерения для замера выбросов согласно 13.BImSchV

Прибор	Компоненты	Минимально допустимый диапазон измерения	
		Прибор для измерения 1-2-х компонентов	Прибор для измерения 3-х компонентов
ULTRAMAT 23	CO	0-150 мг/м <sup>3</sup>	0-250 мг/м <sup>3</sup>
	NO	0-100 мг/м <sup>3</sup>	0-400 мг/м <sup>3</sup>
	SO <sub>2</sub>	0-400 мг/м <sup>3</sup>	0-400 мг/м <sup>3</sup>
Коэффициент перерасчета NO в NO <sub>2</sub> = 1,53			

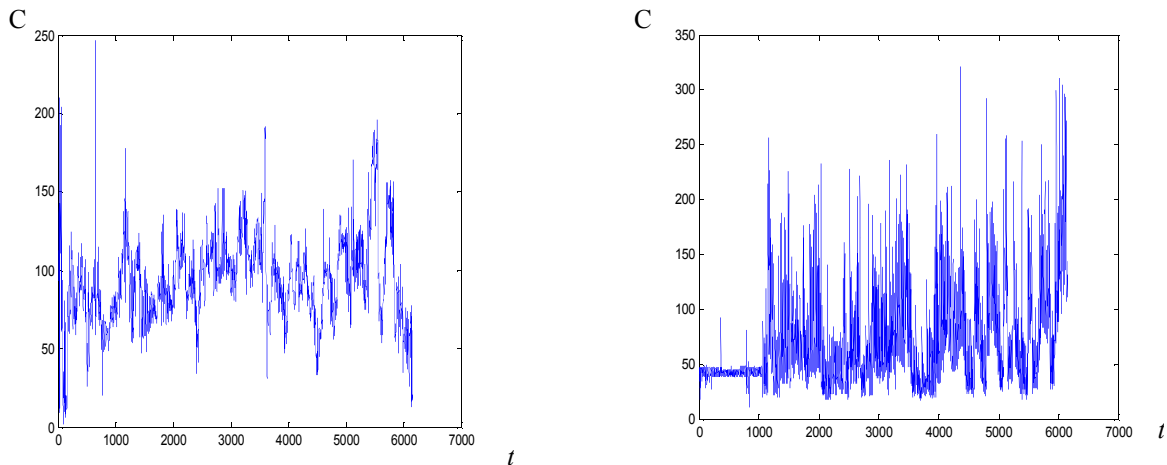


Рис. 1. Типичные реализации измеренных значений показателей пыли в выбросах дымовых газов ТЭС: С – концентрация ( $\text{мг}/\text{м}^3$ );  $t$  – время (за 22 суток, мин.)

Газоанализатор ULTRAMAT 23 согласно директиве и требованиям к чистоте воздуха допущен также по QAL 1. Необходимая согласно QAL 3 регулярная поверка погрешности (дрейфа) может выполняться с помощью соответствующей автокалибровки вручную, либо программном обеспечении прибора - SIPROM GA. Принцип автокалибровки ULTRAMAT 23 отлично зарекомендовал себя в течении многих лет на практике. Поэтому организации по допуску считают соответствие этого газоанализатора требованиям QAL 3 наиболее полным.

При практическом анализе работы прибора были проведены исследования на Старобешевской ТЭС. Длительность эксперимента 22 дня. Общее число многократных измерений по каждой из компонент – 6150 (шаг дискретизации – 5 минут). Для многомерных измерений была использована многоканальная ИИС «Ультрамат–23» с максимальной погрешностью измерений не превышающей 5 % (приведенное значение). Типичные реализации процессов воздушного загрязнения физико-химическими компонентами выбросов электростанций представлены на рис. 1. Реализации рис. 1 были получены в ходе экспериментальных исследований воздушных многокомпонентных процессов загрязнения на Старобешевской тепловой электростанции.

Аналогичные экспериментальные данные с использованием прибора ULTRAMAT 23 были получены и для  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  в указанном временном диапазоне. Полная выборка результатов измерений по контролируемым компонентам ( $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ ) представлена в работе [8]. Полученные данные с помощью ULTRAMAT 23 дали возможность провести ряд теоретических исследований. Был проведен анализ эффектов спектральной нестационарности в процессах загрязнения воздушной среды [8], разработана статистическая модель обнаружения нежелательных трендов контроля параметров газообразных выбросов [6], применение моделей прогнозирования при многомерном контроле [7], предложены ряд критериев оценки качества контроля [8].

### Выводы

Таким образом, полученные с помощью ULTRAMAT 23 данные позволяют расширить возможности контроля и управления выбросами энергоемких предприятий, обеспечить надежность и безаварийность их работы, улучшить информационное обеспечение технологического процесса, качественно выполнять нормы природопользования

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Щапов П.Ф. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях не определенности / П.Ф. Щапов, О.Г. Аврунин // Харьков: ХНАДУ. – 2011. – 192 с.
2. Шестопалов А.В., Повышение точности контроля концентрации выбросов в атмосфере города стационарными источниками: д. к. т. н.: 05.11.13 / А.В.Шестопалов // Омск – 2007. – 114 с.
3. Масікевич Ю.Г. Методи вимірювань параметрів навколишнього середовища / Ю.Г. Масікевич, С.О.Гринь, В.К. Сівак, В.Д. Солодкий, В.Ф.Моїсєєв, В.П.Шапорєв, М.С.Рогозинський// Чернівці: Зелена Буковина. –2005.–344 с.
4. G.Ososkov. Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals / G.Ososkov, A.Shitov – Computer Physics Communication, Vol.126 (2000). – P. 149-157.
5. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф.Лион; пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого // М.: Мир. – 1981. – 520 с.
6. Любимова Н.А. Статистическая модель обнаружения нежелательных трендов контроля контролируемых параметров газообразных выбросов энергетических производств / Н.А.Любимова // К.: Электронное моделирование. – 2014. – Т. 36, № 2. – С. 97 – 105.
7. Любимова Н.А. Применение моделей прогнозирования при многомерном контроле процессов загрязнения/ Н.А.Любимова// Вісник НТУ «ХП», Х.-2014. - №19. – С.76-83.
8. Любимова Н.А. Анализ эффектов спектральной нестационарности в процессах загрязнения воздушной среды/ Н.А. Любимова// Електроніка і зв'язок. – К.: НТУ «ХП». - 2014. – Т. 19, № 4 (81). – С 104-110.