

расчёт поверхности теплообмена и подбор типовых теплообменных аппаратов с заданным значением запаса поверхности теплообмена.

Список литературы

Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов/Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1987. - 576 с., ил.

УДК 621.181

К ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Усиков Николай Васильевич,

кандидат технических наук,

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,

г. Новочеркасск

Дьяконов Евгений Михайлович

кандидат технических наук, доцент,

проректор, зав. кафедрой ТЭС и Т

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,

г. Новочеркасск

TO THE HISTORY OF DEVELOPMENT OF METHODS FUEL QUALITY CONTROL

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2020.2.63.359

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены приборы для измерения элементного состава уходящих газов котельных установок в их историческом развитии, методики теплотехнических расчетов сжигания топлива.

ABSTRACT

Devices for measuring the elemental composition of flue gases from boiler plants in their historical development, methods of heat engineering calculations of fuel combustion are considered.

Ключевые слова: паровой котел, газовый анализ, измерительные приборы, расчетные формулы для определения коэффициента избытка воздуха.

Key words: steam boiler, gas analysis, measuring instruments, calculation formulas for determining the excess air ratio.

Потребление котельными установками органического топлива занимает значительное место в структуре топливно-энергетического баланса страны, поэтому его экономия при эксплуатации дает существенный экономический эффект. К числу важнейших мероприятий по повышению эффективности относится постоянный контроль состояния котельного оборудования. Для правильной эксплуатации необходимо постоянно знать, насколько правильно и экономично работает котел, знать, почему котел работает именно так, с такой величиной $\eta_{ка}^{бр}$. Это необходимо для того, чтобы иметь возможность изменением условий работы котла повысить его эффективность и тем самым сберечь тепло топлива [1].

Главным условием экономичного сжигания топлива является подача в топку достаточного количества воздуха, с которым на горение поступает кислород. Достичь полного сгорания топлива в котле при подаче теоретически необходимого количества кислорода как по причине конструктивного несовершенства

топочного устройства, так и вследствие того, что абсолютное перемешивание топлива с воздухом невозможно. Но, работая даже с избытком воздуха, мы получаем только более или менее совершенное сгорание топлива. При увеличении количества воздуха температура в топке понижается, между тем как высокая температура в топке является столь же важным условием полного выгорания топлива, как и количество воздуха [1]. Большое количество воздуха, подающееся в топку, непроизводительно забирает часть теплоты топлива. На практике поэтому опытным путем приходится устанавливать наиболее выгодное (оптимальное) количество подаваемого воздуха.

Для определения избытка воздуха в уходящих (и топочных) газах используются автоматические и не автоматические, основанные на разности удельных плотностей, химические, интерферометры, диффузионные [1]. Рассматриваемые газоанализаторы были разработаны и использовались ещё в XIX веке.

При исследовании дымовых газов на основе химического анализа они засасываются в измерительную бюретку (с делениями) точно определенное количество газов (обычно 100 см^3) при атмосферном давлении и поочередно приводятся в соприкосновение с различными реактивами, поглощающими только одну составляющую часть газовой смеси. Как правило, сначала определяют углекислоту (CO_2), далее кислород (O_2), затем окись углерода (CO); азот определяется по остатку [1]. Использовались бюретки Бунте, Гемпеля (простые и сложные) и другие.

Исторически наибольшее применение в практике газового анализа при проведении наладочных работ на котельных установках нашли применение газоанализаторы, предложенные Орса с различными усовершенствованиями. Легкость освоения газоанализаторов Орса, простота

эксплуатации и доступность реактивов для производства анализов обеспечила им долгую «жизнь». Кое-где они применяются до сих пор. Общий вид прибора Орса с усовершенствованием Фишера показан на рис. 1 [1].

Видоизменение, предложенное Фишером (рис. 2), имело основной своей целью снижение габаритов прибора. В деревянном ящике укладывается как сам газоанализатор, так и склянки для реактивов, запирающиеся герметичным затвором, воронка и пр.

Неприятной стороной работы с газоанализатором Орса является необходимость в утомительной многократной перегонки исследуемого газа из бюретки в сосуды с реактивами и обратно. Поглощение при полном анализе на CO_2 , O_2 и CO требует довольно много времени, поэтому желательно было иметь приборы, где газ энергично перемешивался бы с реактивами.

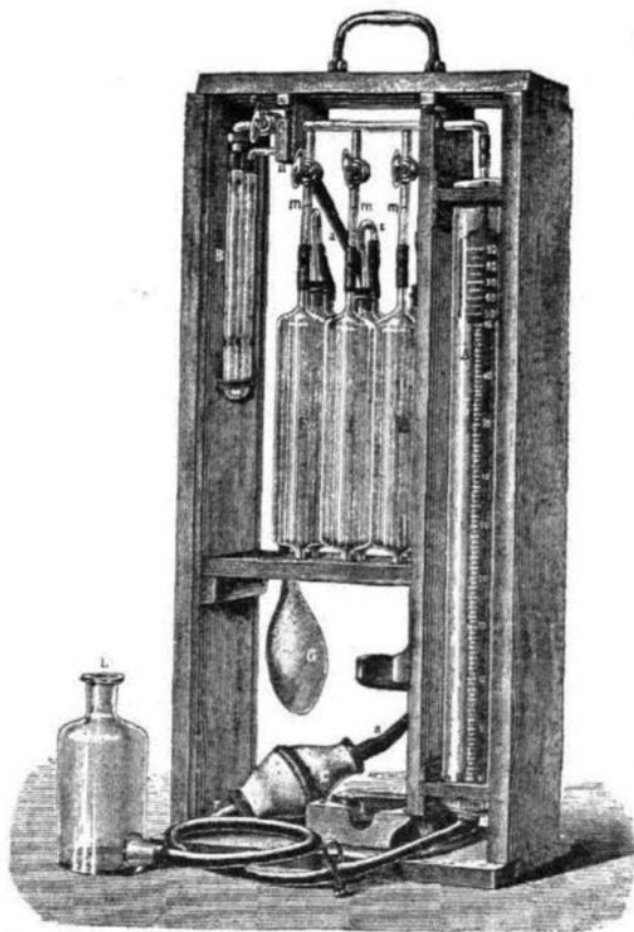


Рис. 1. Прибор Орса (Orsat), усовершенствованный Фишером (Fischer).

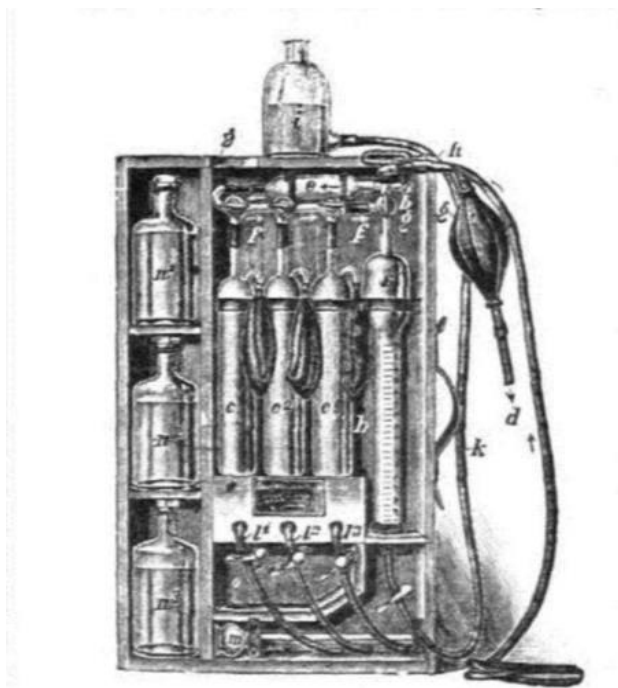


Рис. 2. Прибор Орса (Orsat), усовершенствованный Шмитцем (Schmits).

Такие приборы были предложены Клейне, Ломшаковым и Ганом, фирмой Зиберт и Кун.

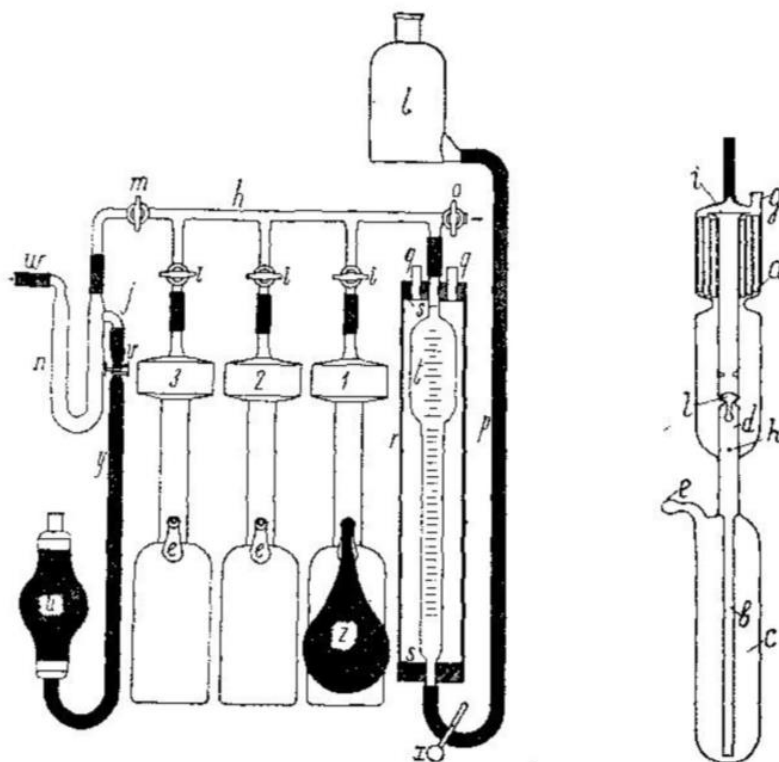


Рис. 3. Прибор Ломшакова.

На рис. 3 показан газоанализатор А. С. Ломшакова. Достоинством прибора является то, что перевод газа в каждую поглотительную бюретку производится один раз; работа сводится к быстрому периодическим нажатиям груши; поглощение идет быстро.

Газоанализатор Адос (Ados) является первым автоматическим регистрирующим прибором для

определения CO_2 и O_2 (рис. 4). Прибор устанавливается в выбранном месте по уровню. Анализируемые газы пропускаются через фильтр очистки, заполненный мелкой древесной стружкой и крупными опилками.

Кроме анализатора Адос использовались также автоматические анализаторы Экарта,

«Эконограф», Пинча, Штрахе, Мюллера, Ломшакова [1]

По результатам газового анализа коэффициенты избытка воздуха определялись по: «кислородной» формуле:

$$\alpha = \frac{21}{(1+\beta)CO_2} = \frac{21}{21-O_2},$$

по «азотной» формуле:

$$\alpha = \frac{21}{21-79\frac{O_2}{N_2}}.$$

При наличии в продуктах горения CO «азотная» формула имела следующий вид [1]:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79\frac{O_2 - \frac{1}{2}CO}{N_2}}.$$

На начальной стадии развития котельной техники методология газового анализа позволяла определять только RO_2 и O_2 [2]. Это явилось стимулом формирования расчетно-теоретических методов определения химического недожога на основе топливной характеристики β . Если ввести по Бунте коэффициент β , определяющий изменение характеристики RO_2^{max} реального топлива, то получим основное уравнение полного горения :

$$RO_2^{max} = \frac{21}{1 + \beta}.$$

Значение β вычисляется по данным элементного состава топлива [2].

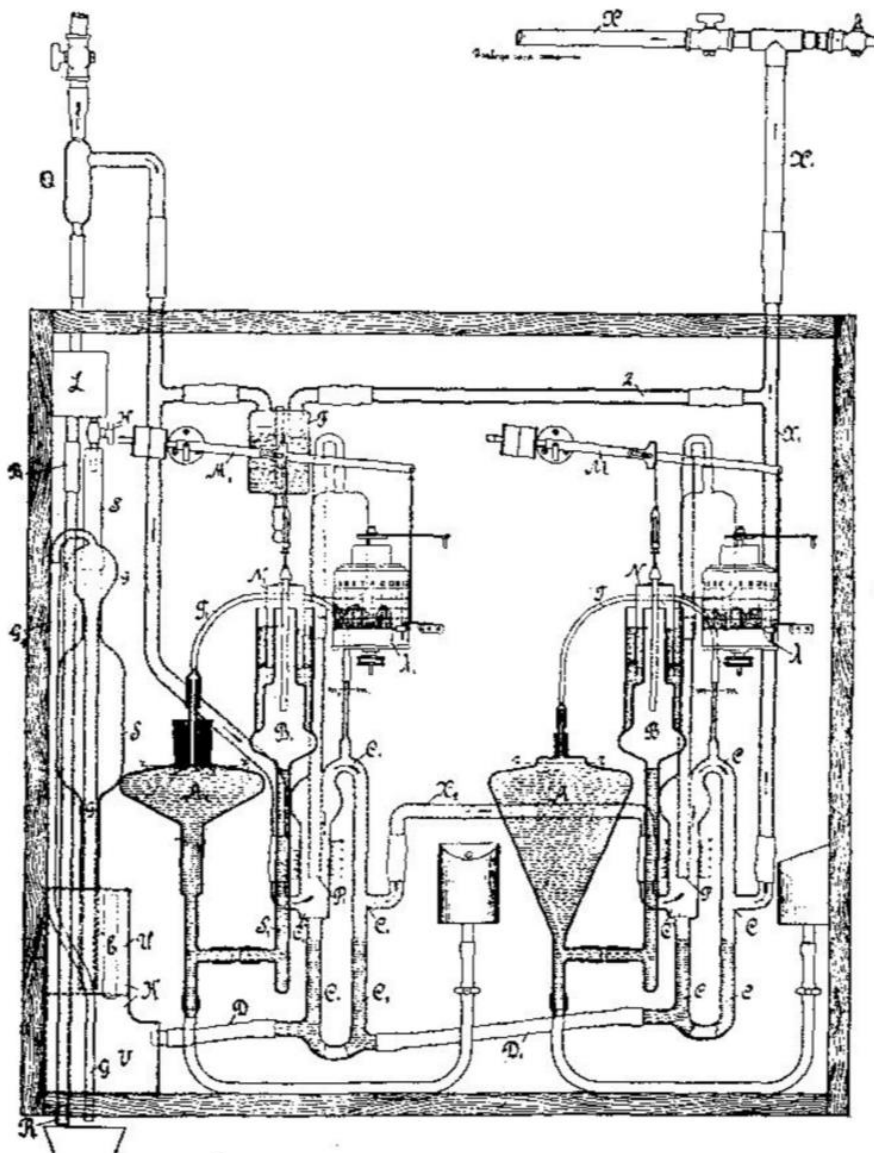


Рис. 4. Анализатор Адос (Ados).

На рис. 5 представлена схема современного газоанализатора типа Орса – ГХП-2, ГХП-3, ГХП-

ЗМ. Обычно в аппаратах Орса применяются поглотительные сосуды контактного типа. К их

недостатком относится непрочность трубки, соединяющей передний и задний цилиндры.

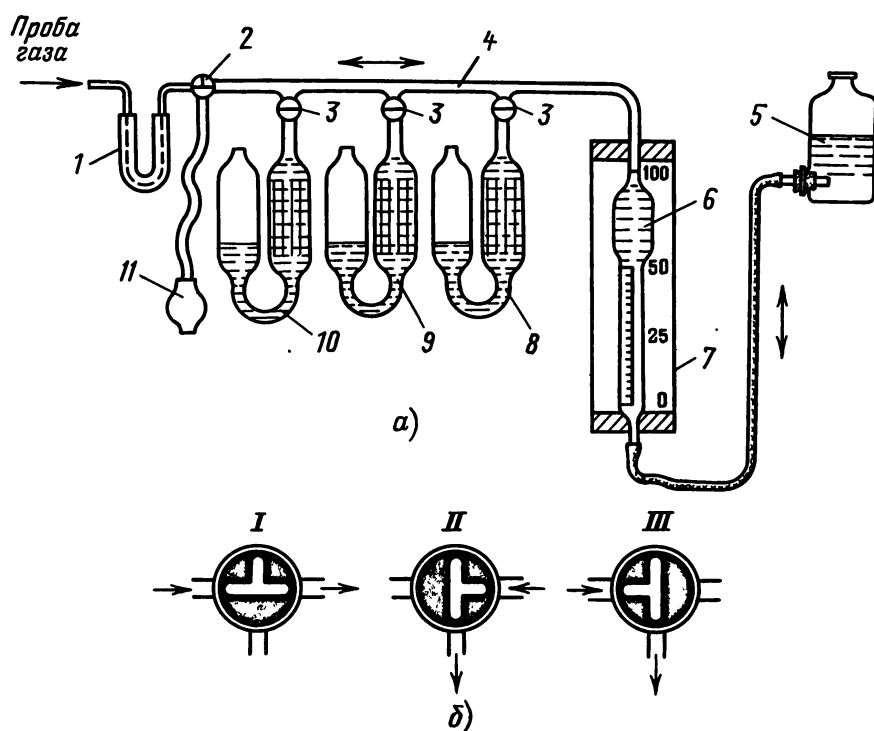


Рис. 5. Схема газоанализатора типа Орса

а) схема газоанализатора; б) положение трехходового крана

1 – измерительная бюретка; 2 – соединительная гребенка; 3 – фильтр; 4 – уравнительный (напорный) сосуд; 5-7 – поглотительные сосуды; 8 – трехходовой кран; 9 – двухходовые краны; 10 – водяная рубашка; 11 – груша.

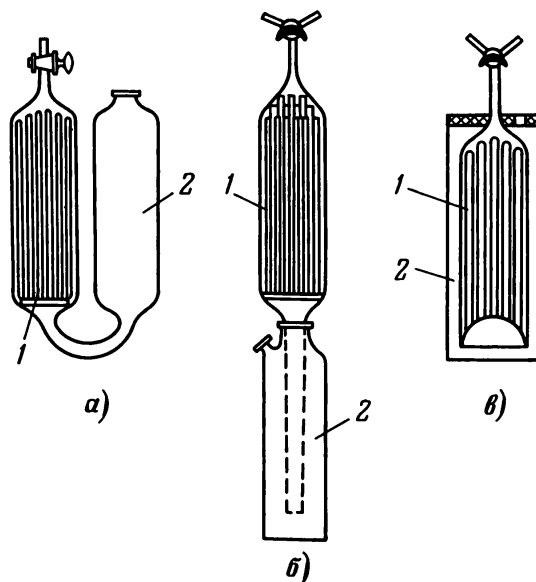


Рис. 6. Поглотительные сосуды контактного типа.

1 – контактный цилиндр; 2 – цилиндр для приема реактива.

Этот недостаток устранен в поглотительных сосудах другого типа (рис. 6). В аппаратах Орса поглотительные сосуды заполняются следующими реактивами: раствором КОН для поглощения CO_2 и SO_2 , щелочным раствором пирогаллола для

поглощения O_2 аммиачным раствором полухлористой меди для поглощения CO .

В газоанализаторе системы ВТИ-2 (рис. 7) определение RO_2 , C_nH_m , O_2 и CO основано на принципе избирательного поглощения;

определение H_2 и C_nH_{2n+2} – на принципе раздельного дожига на окиси меди; азот определяется по остатку.

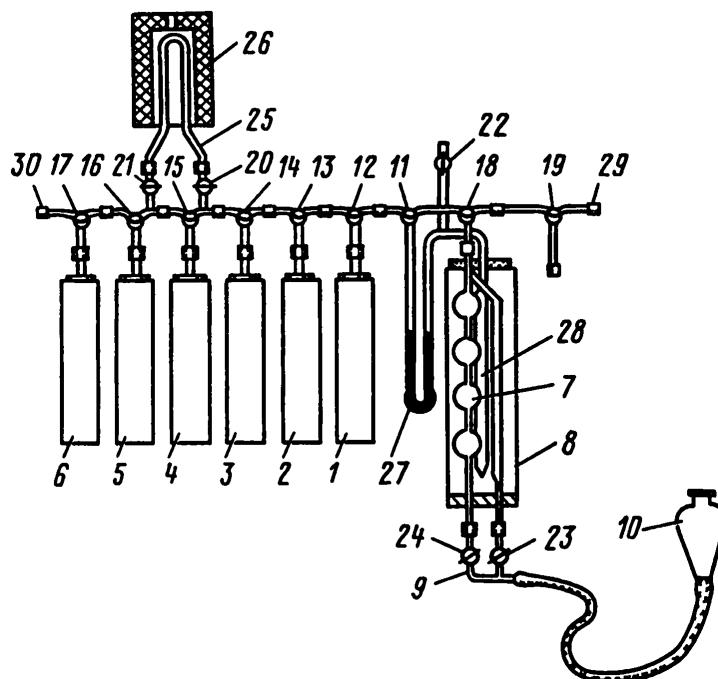


Рис. 7. Схема газоанализатора ВТИ-2.

1-6 – поглотительные сосуды; 7 – измерительная бюретка; 8 – водяная рубашка; 9 – вилка-тройник; 10 – уравнительный (напорный) сосуд; 11-19 – трехходовые серповидные краны; 20-24 – одноходовые краны; 25 – петля, заполненная окисью меди; 26 – электрическая печь; 27 – манометр; 28 – компенсационная трубка; 29-31 – свободные отростки; 32 – резиновый шланг.

Хроматография является физико-химическим методом разделения. При этом происходит многократное повторение элементарных актов сорбции и десорбции (рис. 8).

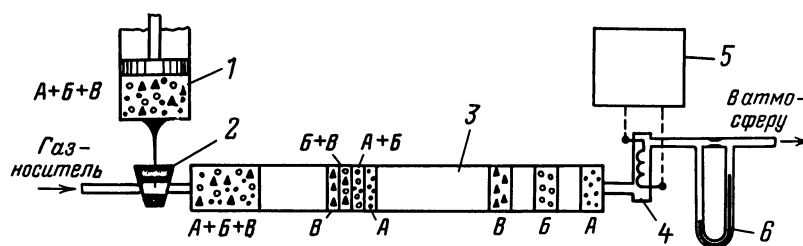


Рис. 8. Схема проявительного метода хроматографического метода анализа газов.

А, В, V – определяемые компоненты; 1 – разделительная колонка; 2 – устройство для ввода пробы; 3 – детектор; 4 – регистрирующий прибор; 5 – дозатор; 6 – реометр.

Хроматографические методы анализа начали широко применяться при определении концентраций в уходящих газах оксидов азота. В

СССР был разработан газоанализатор-хроматограф «Газохром-3101» («Союз») (рис. 9).

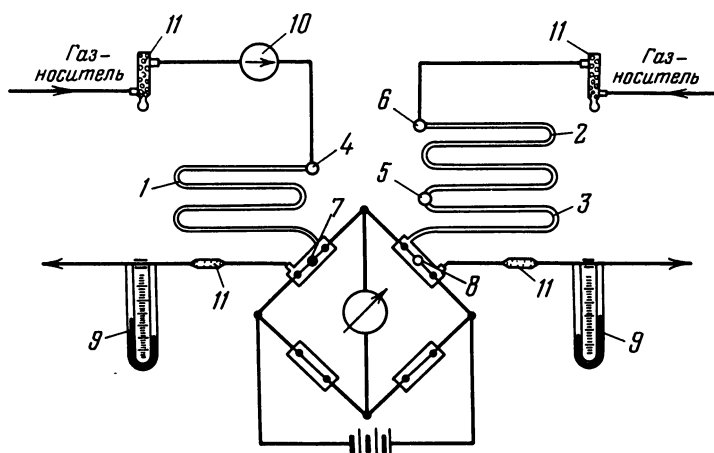


Рис. 9. Принципиальная схема хроматографа «Газохром-3101» («Союз»).

1-3 – разделительные колонки; 4-6 – дозаторы; 7, 8 – чувствительные элементы; 9 – реометры;
10 – микропроцессор; 11 – фильтры-осушители.

Основные технические характеристики: CH_4 и другие углеводороды до C_4 включительно.
определяемые компоненты: O_2 , CO_2 , N_2 , H_2 , CO , Относительная погрешность $\pm 5\%$.

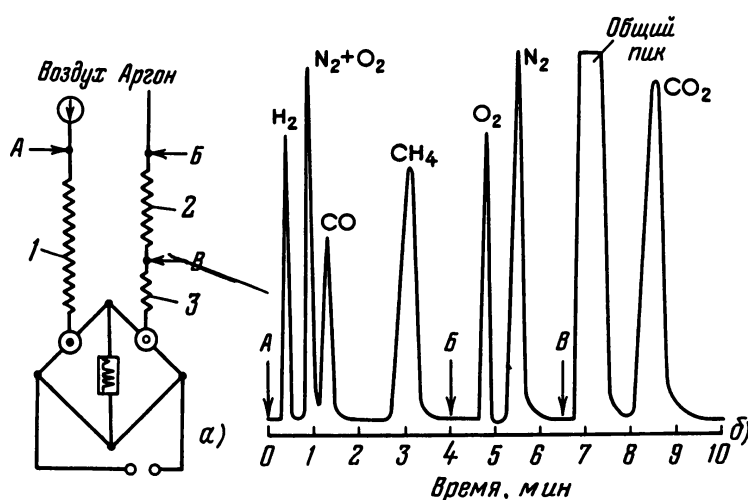


Рис. 10. Схема проведения анализа на хроматографе «Газохром-3101» при определении H_2 , CO , CH_4 , O_2 , N_2 и CO_2 .

A – схема прибора, б – вид хроматограммы; 1-3 – разделительные колонки;
A, Б, В – дозируемые объемы.

Специально для контроля состава дымовых газов при сжигании различных видов топлива были разработаны жидкостные колориметрические приборы и методы определения оксидов азота. Принцип их действия основан на поглощении индикаторным реактивом диоксида азота из

анализируемой пробы с последующим измерением интенсивности окраски образовавшегося азокрасителя. В качестве индикатора чаще всего используют реактивы Грисса-Илюсвая и Зальцмана (рис. 11).

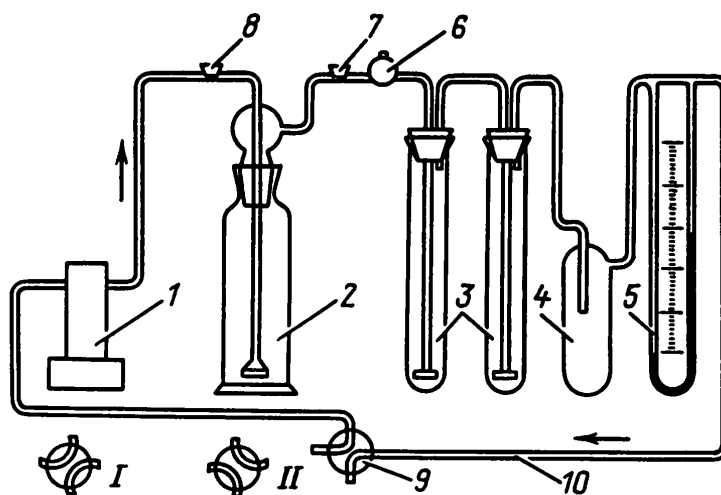


Рис. 11. Принципиальная схема «Эвдиометра»
положение крана б: I – прибор работает по разомкнутой схеме;
II – прибор работает по замкнутой схеме.

На рис. 12 приведена схема установки для определения оксидов азота по ГОСТ 17577-72.

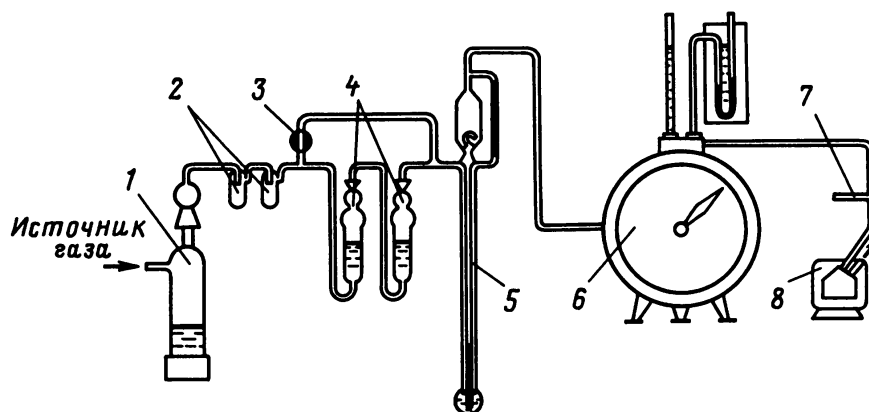


Рис. 12. Схема установки для определения оксидов азота по ГОСТ 17577-72.
1 – окислительный сосуд; 2 – ловушки; 3 – соединительный кран; 4 – поглотительные сосуды;
5 – реометр; 6 - газовый барабанный счетчик; 7 – винтовой зажим;
8 – ротационный побудитель расхода.

Коэффициент избытка воздуха подсчитывается по «азотной» формуле:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76O_2}$$

При наличии химической неполноты сгорания топлива «азотная» формула приобретает следующий вид:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76(O_2 - 2CH_4 - 0,5CO - 0,5H_2)}$$

При проведении испытаний коэффициент избытка воздуха рекомендуется контролировать по «кислородной» формуле. Для случая полного сгорания она имеет вид:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2}$$

При неполном сгорании «кислородная» формула для подсчета α приобретает вид:

$$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 - 2CH_4 - 0,5CO - 0,5H_2)}$$

Используются и другие формулы для подсчета α [2-4]. Относительную погрешность определения коэффициента избытка воздуха можно оценить $\pm 3,5\%$.

Для определения коэффициента избытка воздуха при условии обогащения атмосферного воздуха кислородом С. Г. Тройбом предложена формула [6]

$$\alpha = 1 + \frac{V_{RO_2}^0 O_2 - 0,5CO - 0,5H_2 - 2CH_4}{V_{O_2}^0 RO_2 + CO + CH_4}$$

При проведении испытаний котлов и непрерывного контроля выбросов вредных веществ в атмосферу сейчас используются приборы с твердотельными датчиками [7]. Они оснащены программным обеспечением, что позволяет производить статистическую обработку большого количества измерительной информации.

Электрохимические газоанализаторы получили в России широкое распространение благодаря их относительно невысокой стоимости, возможности измерения одним прибором большого числа компонентов дымовых газов O_2 , NO_2 , NO , CO , SO_2 , температуры, статического и динамического давлений, компактности и простоте обслуживания. В настоящее время на рынке имеется большой выбор электрохимических газоанализаторов. Данные приборы в зависимости от исполнения позволяют проводить все виды измерений – от разовых (экспресс-анализов) до непрерывного мониторинга.

Калибровка приборов выполняется при их включении атмосферным воздухом.

Список литературы:

1. А. С. Ломшаков. Испытание паровых котлов. Методы и приборы, применяемые при испытании и постоянном контроле котельных устройств. С. – Петербург, 1915, 534 с. с ил.
2. Данилин Е. А., Клочков В. Н. Контроль сжигания топлива в промышленных котельных установках. К., Техника, 1988, 167 с. с ил.
3. С. В. Гатеев. Теплотехнические испытания котельных установок. М. – Л., Госэнергоиздат, 599 с. с ил.
4. В. И. Трёмбовля, Е. Д. Фингер, А. А. Авдеева. Теплотехнические испытания котельных установок. М., Энергоатомиздат, 1991, 416 с. с ил.
5. Г. Ф. Кнорре. Тепловые расчеты по газовому анализу. Л.-М.: Госэнергоиздат, 1947, 208 с. с ил.
6. С. Г. Тройб. Контроль коэффициента избытка воздуха. Свердловск, Госиздат лит. по черной и цветной металлургии, 1955, 228 с. с ил.
7. П. В. Росляков. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов. М., издательский дом МЭИ, 2007, 336 с. с ил.