

горе снижается на удвоенное значение модуляционных потерь при прямом прохождении электронов и плюс некоторые дополнительные выражения, пропорциональные углу пролета.

Таким образом, при обратном пролете электронов через зазор резонатора потери на модуляцию в центре зон колебаний больше, чем при прямом. Анализируя соотношение [3] и сравнивая его с аналогичными выражениями для полной колебательной мощности [1, 2], где не учитываются члены разложения в ряд, вплоть до квадратных, мы видим, что выражение (3) становится эквивалентным для полной колебательной мощности нагруженного клистронного генератора с эквивалентной проводимостью

$$g_e = g_0 M^2 (\psi_0 + 1 - \psi_0/2 \operatorname{ctg} \psi_0/2). \quad (4)$$

В данном случае учет мощности, идущей на модуляцию электронного потока высокочастотным полем, приводит к значительному увеличению собственной активной проводимости резонатора. Даже в простейшем случае, например при ускоряющемся напряжении  $V_0 = 200$  В,  $g_e$  может почти в 2 раза превышать внутреннюю проводимость  $g_0 = I_0/V_0$  и в рабочих условиях достиг значений  $10^{-4}$ .

Так как в реальных клистронах 3-сантиметрового диапазона проводимость тепловых потерь обычно составляет  $2-4 \cdot 10^{-5}$ , а в клистронах 10-сантиметрового диапазона  $5-8 \cdot 10^{-5}$ , то очевидно, что электронная проводимость при учете модуляционных потерь может быть сравнима, а в некоторых случаях превосходить проводимости тепловых потерь и таким образом определять значение и ход кривых, характеризующих основные параметры клистронного генератора в зависимости от угла пролета в зазор резонатора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шевчик В.Н. Электронные приборы СВЧ. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1980. — 241 с. 2. Дж. Е. Роу. Теория нелинейных явлений в приборах СВЧ: Пер. с англ. — М.: Сов. радио, 1977. — 325 с. 3. Полщук А.А., Савельев В.Я. Новые разработки элементов и схем радиотехнических устройств. — Минск: Выш. шк., 1973, с. 43—52.

УДК 661.5:697.326:662.994.001.5

В.С.СЕВЕРЯНИН, канд.техн.наук,  
М.Г.ГОРБАЧЕВА (БИСИ)

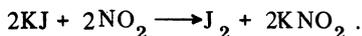
#### ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОКИСЛОВ АЗОТА В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ

В условиях повышенных требований к чистоте воздушного бассейна первостепенное значение имеют вопросы разработки надежных, быстродействующих и достаточно точных методов и прибо-

ров для измерения содержания вредных выбросов (окислов азота) в дымовых газах топливосжигающих установок.

Из известных методов измерения содержания окислов азота (газохроматографический, электрохимический, физико-химический, линейно-колористический, колориметрический) в нашей стране наибольшее распространение получили линейно-колористический (газоанализаторы УГ-2 и ГХ-4) и фотоколориметрический (ФЭК-56м, ФЭК-60) методы. Газоанализаторы УГ-2 и ГХ-4 выгодно отличаются быстротой и наглядностью получаемого результата, простотой и компактностью, уступая в чувствительности и точности фотоколориметрическому методу.

Колориметрический метод определения окислов азота основан на реакции поглощения окислов азота иодистым калием:



Содержание двуокиси азота определяется колориметрически по реакции образования азокрасителя с реактивом Грисса. Обладая высокой точностью, чувствительностью и универсальностью, колориметрические методы имеют и недостатки: трудоемкость приготовления жидкостных стандартных шкал при малых сроках (до 10 дней) пригодности их и определенном дефиците реактивов, построение градуировочного графика (при применении ФЭК), необходимость в оборудовании для фотоколориметрии [1—2].

При исследовании устройств пульсирующего горения, принципиально отличных по эмиссии окислов азота от обычных устройств со стационарным горением, возникла необходимость в быстродействующем портативном анализаторе.

В основу работы созданного авторами прибора положен колориметрический метод с реактивом Грисса (окислитель—перманганат калия).

С целью ускорения газовых анализов процентный раствор иодистого калия мелко распыливается с помощью распылителя самой же исследуемой газовой пробой, что резко увеличивает площадь контакта газа и поглотителя, коэффициент диффузии и позволяет ускорить реакцию поглощения. Для упрощения и удешевления прибора вместо жидкостной шкалы стандартов используется протарированная цветовая шкала.

Прибор (рис. 1) состоит из корпуса 1, в котором расположены две полости а и б. В полости а расположены элементы схемы взаимодействия газа с поглотительным раствором (рис. 2) — емкость 2 с исследуемым газом, сосуд 3 с поглотительным раствором, распылитель 4 типа пульверизатора, расположенный в пробке емкости 2, насос 5, соединительные трубки 6 и 7 с зажимами, фильтр 8, доокислительный сосуд 9. При работе насоса исследуемый газ из емкости 2 проходит по трубке 6 через фильтр 8 и доокислительный сосуд, вытесняет и подсасывает поглотительный раствор из сосуда 3, переносит его в емкость 2 и там распыливает в виде мельчай-

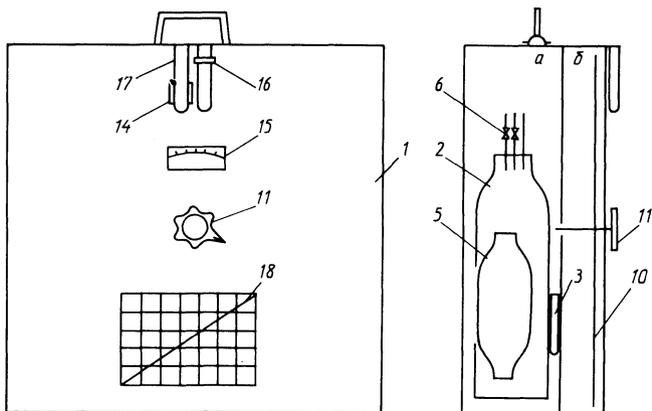


Рис. 1. Устройство прибора.

Рис. 2. Схема взаимодействия исследуемого газа с поглотительным раствором.

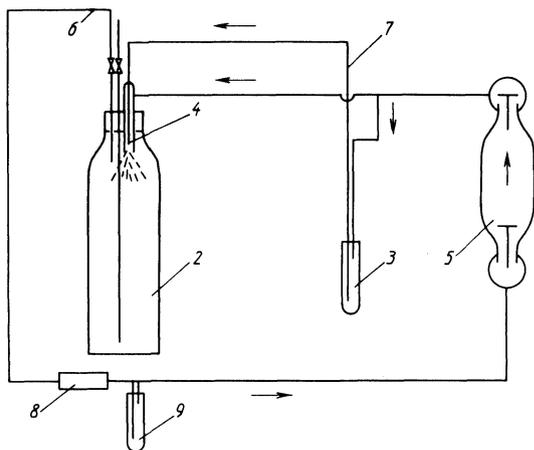
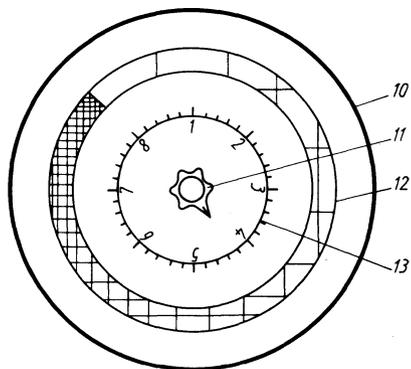


Рис. 3. Диск с цифровой и цветовой шкалами.



ших капелек. Полость а (рис. 1) имеет открывающуюся заднюю стенку.

В полости б корпуса прибора вращается плоский диск 10 (рис. 3) с рукояткой 11 и с нанесенной на него круговой цветовой шкалой 12 — полосой непрерывно меняющейся плотности от белого фона до некоторого максимума, а также с цифровой шкалой 13.

На передней панели (рис. 1) корпуса перед диском 10 расположены окна 14 и 15 для выделения участков цветовой и цифровой шкал соответственно, хомутик 16 для пробирки с исследуемой жидкостью 16, имеющей определенную степень окраски после взаимодействия с реактивами. Для идентичности колориметрирования перед окном 14 устанавливается пробирка 17 с чистой водой.

Тарировка цветовой и цифровой шкал производилась по стандартной жидкостной шкале путем последовательной установки пробирок стандартной шкалы в позицию 16 и вращения диска 10 до совпадения цветов жидкости в пробирке и цветовой полосы в окне 14.

Работа прибора заключается в следующем. Емкость 2 заполняется исследуемым дымовым газом. При отборе газа использовались стеклянные трубки. В пробку емкости 2 вставляется распылитель 4 и собирается устройство по схеме рис. 2. В сосуд 3 наливается поглотительный раствор (8 % KI). При работе насоса 5 газ из емкости 2 поступает по трубке 6 к насосу, проходя через фильтр 8 и доокислительный сосуд 9, под напором подается к распылителю 4 и в сосуд 3, вытесняет из него поглотительный раствор по трубке 7 в емкость 2 в распыленном состоянии. Далее из емкости 2 отбирают в пробирку 1—2 мл жидкой пробы и обрабатывают ее реактивами Грисса с сульфаниловой кислотой.

Для сравнения цветов отобранной пробы и круговой цветовой шкалы пробирку с пробой помещают в позицию 16, вращением диска 10 добиваются совпадения плотности цветов в пробирке и в окне 14, отсчет в производят по цифровой шкале в окне 15. Расчет концентрации окислов азота в газе ведется по формуле

$$\text{NO}_2 = \frac{ab}{cv} ,$$

где а — общее содержание раствора в поглотительном сосуде, мл; в — содержание двуокиси азота  $\text{NO}_2$ , найденное по протарированной цифровой шкале, мкг; с — количество реактива, отобранного на анализ, мл; v — объем пропущенного через поглотитель газа, приведенного к нормальным физическим условиям, л.

При постоянных а, с, v можно пользоваться графиком 18.

Прибор используется для определения концентрации окислов азота в газообразных продуктах сгорания [ 3 ] .

Результаты измерения содержания окислов азота удовлетворительно согласуются с результатами анализов по обычному колориметрическому методу с применением жидкостной шкалы стандартов.

Достоинства приборов заключаются в простоте конструкции, быстродействии, экономии реактивов, соизмеримой точности анализа. Прибор имеет малые габариты и вес.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрометрическим методам анализа. — Л.: Химия, 1968. — 325 с. 2. Внуков А.К., Стриха И.И., Мурзо В.П. Усовершенствование аппаратуры для определения окислов азота в дымовых газах парогенераторов. — Изв. вузов. Энергетика, 1975, № 10, с. 67—72. 3. Северянин В.С., Горбачева М.Г. Об эмиссии окислов азота при пульсирующем горении. — В кн.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Минск: Выш. шк., 1982, вып. 9, с. 122—127.

УДК 621.311.1.016.351.001

С.М.РАТМАНОВ (БПИ)

### ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПРИ РАСЧЕТАХ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При исследовании статической устойчивости сложных регулируемых электроэнергетических систем (ЭЭС) неизбежно возникает задача эквивалентирования. В соответствии с этим может быть выполнено разделение сложной ЭЭС на совокупность эквивалентных подсистем, статическую устойчивость режима которых возможно определить по каждой подсистеме. Выделение эквивалентных подсистем производится по условию инвариантности показателя устойчивости [ 1 ].

При построении эквивалентных подсистем узлы примыкания к вышестоящим подсистемам моделируются в виде шин бесконечной мощности, а связи по линиям электропередачи и через систему автоматического регулирования частоты и активной мощности (при учете ее влияния) с нижестоящими по иерархии расчетными подсистемами отражаются эквивалентами. При функциональном представлении элементов ЭЭС амплитудно-фазовыми частотными характеристиками, устанавливаемыми по векторным отклонениям режимных параметров, эквивалент преобразуемой части системы моделируется результирующими частотными характеристиками.

В развитие положений [ 2 ] в статье рассматривается методика определения результирующих частотных характеристик преобразуемой части сложной ЭЭС с учетом изменения и регулирования частоты.

Рассмотрим электроэнергетическую систему, в которой выделяется исследуемый район  $a$  и связанная с ним по шинам примы-