

В. Е. Ткаченко

*(Белорусский филиал Энергетического института
им. Г. М. Кржижановского)*

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ПЫЛЕВИДНЫХ ТОПЛИВ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ РАДИОИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ

Одной из проблем, возникающих в процессе сжигания твердого топлива на электростанциях и не нашедших до последнего времени приемлемого практического решения, остается проблема измерения массового расхода пылевидного топлива при его пневмотранспорте к топке котла. Обзору существующих в настоящее время методов измерения расхода дисперсных потоков была посвящена работа [1], в которой делался вывод о перспективности применения радиоизотопного метода измерения расхода аэродисперсного потока.

В данной статье дается описание расходомера, основанного на радиоизотопном методе, и приводятся некоторые результаты экспериментальной проверки опытного макета такого расходомера, разрабатываемого в Белорусском филиале ЭНИИ.

Радиоизотопный метод измерения массового расхода относится к косвенным методам, когда непосредственно измеряются два параметра: концентрация дисперсной фазы и скорость потока, а величина массового расхода получается путем перемножения в счетно-решающем устройстве этих параметров по уравнению

$$B = F \mu v, \quad (1)$$

где B — массовый расход дисперсной фазы; μ — концентрация дисперсной фазы; v — скорость потока; F — площадь поперечного сечения трубопровода потока.

Очевидно, что в уравнение (1) следует подставлять средние значения концентрации и скорости.

Как будет показано ниже, предлагаемая конструкция радиоизотопного расходомера позволяет измерять усредненное по диаметру трубопровода значение концентрации. Необходимо лишь подчеркнуть, что в уравнение (1) входит величина истинной концентрации, показывающая количество килограммов транспортируемого материала, содержащегося в пространстве, заполненном 1 кг транспортирующего воздуха. Наряду с истинной концентрацией применяется величина расчетной весовой концентрации, показывающая, сколько килограммов материала транспортируется 1 кг воздуха. Связь между этими двумя величинами определяется выражением

$$\mu = \frac{B}{G} \cdot \frac{v}{v_m} = \mu^p \epsilon, \quad (2)$$

де μ — истинная концентрация; μ^p — расчетная концентрация; B — расход материала; G — расход воздуха; v — скорость воздуха; v_m — скорость материала; $\epsilon = \frac{v}{v_m}$ — коэффициент скольжения.

Выражение (2) показывает, что соотношение между истинной и расчетной концентрацией зависит от соотношения скоростей воздуха и материала. Если у распыленного угля перемещение твердой фазы составляет 98—99% скорости воздуха, то в опытах по пневмотранспорту частиц торфяного кокса [2] истинная концентрация превышала расчетную в 10—20 раз в зависимости от скорости воздуха.

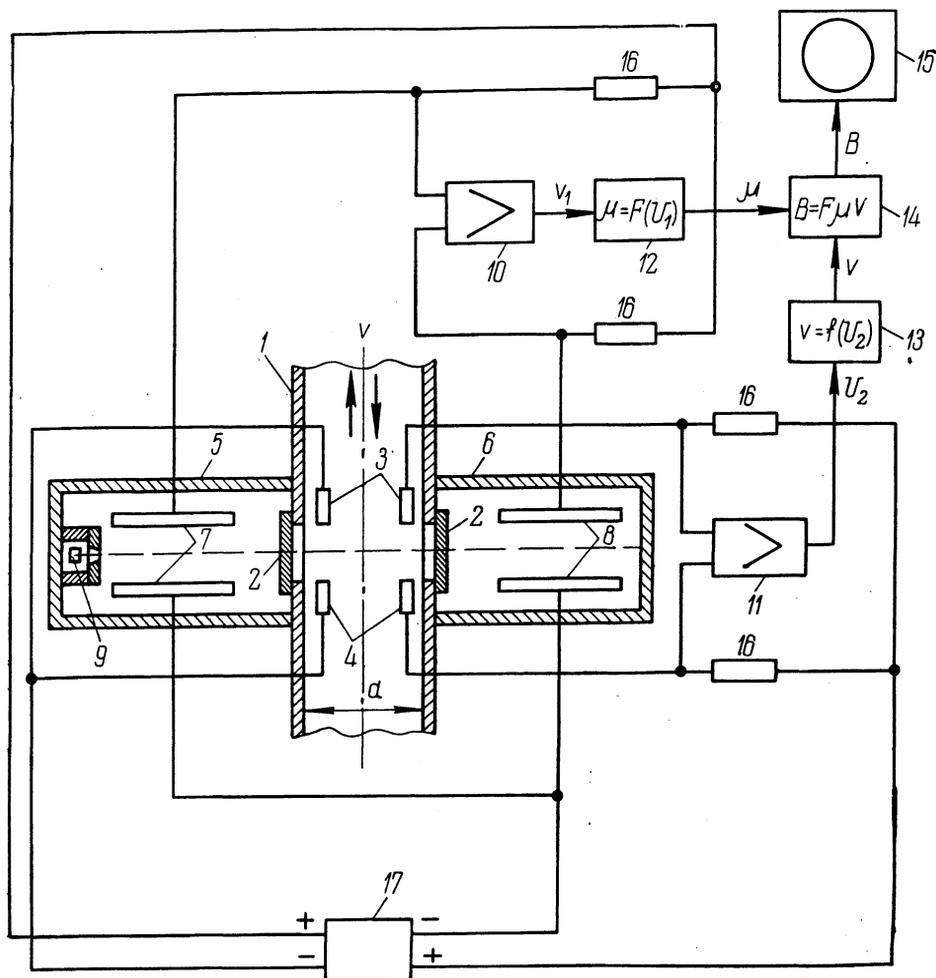


Рис. 1. Блок-схема радиоизотопного массового расходомера аэродисперсного потока.

Что касается измерения величины скорости, входящей в уравнение (1), то предлагаемая конструкция расходомера позволяет измерять усредненную по диаметру трубопровода скорость транспортирующего воздуха, что, как будет показано ниже, вытекает из принципа действия расходомера.

На рис. 1 представлена блок-схема расходомера, реализующая радиоизотопный метод измерения массового расхода дисперсной фазы аэродисперсного потока. Принцип работы расходомера следующий. Ионизирующее излучение от бета-источника 9, пройдя камеру 7, попадает через окно 2, закрытое фольгой, в трубопровод 1, по которому движется пылевоздушная смесь со скоростью v в одном из направлений, указанных стрелками. Ослабленное веществом потока излучение попадает в ионизационную камеру 8. Ток этой камеры пропорционален интенсивности попадающего в нее ослабленного излучения. В свою оче-

редь ослабление излучения функционально связано с плотностью пылевоздушной смеси (или усредненной концентрацией μ дисперсной фазы потока при прочих неизменных параметрах потока). Так как камеры 7 и 8 соединены по дифференциальной схеме, то на вход усилителя 10 подается разность токов камер 7 и 8, функционально связанная с величиной концентрации μ .

С другой стороны, излучение, пронизывающее поток, будет ионизировать дисперсионную среду потока (воздух). В результате в ионизационных камерах 3 и 4 установится ионизационный ток. Так как камеры включены по дифференциальной схеме, то на вход усилителя 11 подается разность токов этих камер. При скорости потока $v=0$ можно добиться равенства нулю разности токов камер 3 и 4 (для электродов одинакового размера это достигается симметричным расположением камер относительно оси излучения и подачей на каждую камеру одинакового потенциала).

Если $v \neq 0$, то унос потоком ионов нарушит равновесие токов камер. Если, например, поток будет двигаться вверх по трубе, то ток камеры 3 увеличится, а камеры 4 — уменьшится. Разность токов камер будет, таким образом, функционально связана с усредненной по диаметру трубопровода скоростью потока, а полярность этой разности будет соответствовать направлению потока. Таким образом, на входе усилителя 11 появится сигнал, функционально связанный с усредненной скоростью потока v .

После усиления на выходе усилителя 10 появится напряжение U_1 , являющееся функцией концентрации, а на выходе усилителя 11 — напряжение U_2 , являющееся функцией скорости. Эти напряжения затем преобразуются в функциональных преобразователях 12 и 13 соответственно в сигналы, пропорциональные концентрации μ и скорости v .

Счетно-решающее устройство 14 решает уравнение (1). Остальные элементы схемы на рис. 1 следующие: 5, 6 — защитные кожухи; 15 — показывающий и регистрирующий приборы; 16 — сопротивление; 17 — источник высокого напряжения для питания камер.

Из описания принципа работы радиоизотопного массового расходамера следует, что определение массового расхода дисперсной фазы производится путем измерения плотности и скорости пылевоздушного потока. Измерение плотности основано на зависимости степени поглощения ядерного излучения от плотности пылевоздушного потока, а измерение скорости — на уносе измеряемым потоком ионов, образованных этим же излучением. Таким образом, при выборе источника излучения необходимо учитывать, что его излучение должно обладать хорошей проникающей и ионизирующей способностью. Такими свойствами обладает источник бета-излучения.

В радиоизотопном расходомере применен источник бета-излучения с изотопами стронций-90 или таллий-204, испускающими сплошной спектр электронов β -распада с максимальной энергией бета-частиц соответственно 0,540 и 0,765 Мэв.

Ослабление бета-излучения изотопа веществом потока происходит по закону

$$I/I_0 = \exp(-\mu_m \mu d), \quad (3)$$

где I_0 — интенсивность излучения, попадающего в ионизационную камеру 8 (см. рис. 1) при отсутствии в потоке твердой фазы, т. е. при прохождении по трубопроводу только несущего газа с тем же расходом, что и при транспортировании твердой фазы; I — то же при наличии твердой фазы потока; μ — концентрация твердой фазы; d — диаметр трубопровода; μ_m — массовый коэффициент поглощения бета-излучения.

Величина массового коэффициента поглощения μ_m для конкретно-дисперсного потока является постоянной и зависит от порядковых номеров элементов, входящих в состав вещества дисперсного потока, и от энергии бета-частиц. Указывается [3], что для химических элементов с порядковым номером менее 13 справедливо выражение

$$\mu_m = \frac{3,5 Z}{AE_{\max}^{1,14}} [m^2/кг], \quad (4)$$

где Z — порядковый номер элемента в таблице Менделеева; A — атомный вес элемента; E_{\max} — максимальная энергия бета-частиц.

Соотношение (4) можно применять для случая пневмотранспорта распыленного угля, поскольку компонентами пылеугольной смеси являются в основном углерод, азот и кислород, т. е. элементы с порядковым номером менее 13.

Измерительный канал скорости радиоизотопного массового расходомера использует ионизационную способность бета-излучения измерительного канала плотности пылевоздушного потока. При этом определяется усредненная по диаметру трубопровода скорость транспортирующего воздуха по уносу потоком ионов. Здесь необходимо учитывать следующие особенности. В чистом ионизированном газовом потоке заряженными частицами являются положительные и отрицательные газовые ионы. В аэрозолях заряженными частицами являются газовые ионы и заряженные твердые аэрозольные частицы [4]. Под ионизацией аэрозолей следует понимать процессы ионизации газов, входящих в состав воздуха, и ионной зарядки аэрозольных частиц.

Помимо процессов ионизации, в потоке аэрозоля будут происходить процессы сообщения частицам заряда во время их непосредственного контакта с электродами камер 3 и 4 (с. рис. 1), а также во время пролета частиц в электрическом поле этих электродов (электризация электростатической индукцией). Если же частицы пролетают недостаточно близко от электродов для индуцирования в них заряда, то могут происходить процессы поляризации аэрозольных частиц. Образуется электроаэрозоль — аэрозоль с заряженными или поляризованными частицами.

В создании ионизационного тока измерительного канала скорости основную роль играют газовые ионы, хотя присутствие аэрозоля также влияет на величину токов камер 3 и 4 (см. рис. 1). Теоретическое установление зависимости выходного сигнала скорости от скорости потока затруднительно, так как величина этого сигнала зависит от множества факторов. Однако применение дифференциальной схемы включения ионизационных камер позволяет значительно снизить зависимость сигнала скорости от таких факторов, как температура, влажность, давление потока, уменьшение активности изотопа, колебание высокого напряжения на электродах.

Для проверки работоспособности изложенного выше радиоизотопного метода была разработана конструкция и изготовлен опытный макет датчика радиоизотопного расходомера. Датчик включает источник излучения (стронций-90 активностью 35 мкюри) и ионизационные камеры, собранные в одном корпусе (позиции 1—9 на рис. 1). Эксперименты проводились на лабораторной установке. В качестве дисперсной фазы использовались кварцевый песок и угольная пыль АШ. Программа экспериментов заключалась в определении зависимостей выходных сигналов концентрации и скорости от концентрации дисперсной фазы и скорости пылевоздушного потока (выходные сигналы усилителей 10 и 11 на рис. 1). Использовались электрометрические усилители У1-2. Источниками напряжения служили стабилизированные выпрямители ВС-22. Массовый

расход дисперсной фазы контролировался весовым способом за определенное время.

Несовершенство лабораторной установки и применяемых приборов не позволило осуществить всесторонние испытания датчика.

Однако проведенные эксперименты подтвердили работоспособность предлагаемого радиоизотопного метода; были получены данные, необходимые для разработки оптимальной конструкции датчика радиоизотопного расходомера для применения его на электростанциях. В настоящее время проводятся исследования с целью подготовки конструкции расходомера для промышленных испытаний.

В заключение необходимо отметить, что описанный радиоизотопный метод полностью применим для измерения массового расхода чистых газовых потоков.

Литература

1. *Каханович В. С., Ткаченко В. Е.* Методы измерения расхода потока пылевидных топлив на электростанциях. — В сб.: «Теплоэнергетика». Вып. 3. Минск, 1973. 2. *Мартыненко О. Г., Ревзин И. С., Федоров В. И.* Определение концентрации твердых частиц в потоке пылевзвеси. — В сб.: «Тепло- и массообмен в капиллярно-пористых телах». Минск, 1965. 3. *Паркинсон М.* Измерение расхода пылевидных веществ в трубопроводе. — «Экспресс-информация ВИНТИ». Сер. «Приборы и элементы автоматики», 1968, № 41. 4. *Лившиц Л. Н., Моисеев В. М.* Электрические явления в аэрозолях и их применение. М.—Л., 1965.