

Радиоизотопные средства контроля, регулирования и автоматизации технологических процессов в промышленности

Б. П. БУЛАТОВ, В. А. ЯНУШКОВСКИЙ

Исследование свойств радиоактивных изотопов, закономерностей взаимодействия ионизирующих излучений с веществом и накопленный опыт развития ядернофизического приборостроения открыли возможности для широкого использования радиоактивных изотопов в различных областях народного хозяйства СССР. Возможность получения разнообразных и дешевых радиоактивных изотопов способствовала возникновению около 20 лет назад новой отрасли приборостроения — радиоизотопного приборостроения.

В настоящее время в СССР серийно выпускаются около 80 различных типов радиоизотопных приборов и устройств, а общее число разработок достигает 200. Среди серийно выпускаемых приборов около 10 типов релейных приборов разного назначения, например агрегатная унифицированная система радиоизотопных релейных приборов, уровнемеры, толщиномеры, счетчики предметов, терморегуляторы, сигнализационная комплексная пожарная установка, сигнализатор обледенения и др.

Внедрение радиоизотопных приборов в народное хозяйство, как правило, приводит к значительному росту производительности труда и снижению себестоимости продукции. Общая экономическая эффективность использования радиоизотопной аппаратуры оценивается в 30 млн. руб. в год; следует ожидать ее значительного увеличения в ближайшие годы.

Широкое внедрение радиоизотопных приборов в промышленность потребовало решения некоторых проблем: уменьшения весогабаритных параметров приборов и их энергопотребления, виброустойчивости, термостойкости, взрывобезопасности и т. п. Решение этих вопросов стало возможным при использовании

новейших достижений науки и техники: сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов излучений, полностью транзистрированных электронных схем, унифицированных методов получения, обработки и идентификации информации, комплексной автоматизации процессов контроля и регулирования.

Широкие принципиальные возможности радиоизотопных методов контроля определяются тем, что ионизирующее излучение, взаимодействующее со средой, по существу несет в себе весьма большое количество информации о тех физических особенностях структуры вещества среды, которые так или иначе проявляются в процессе взаимодействия с излучением, а также о геометрических характеристиках облученных тел и их положении в пространстве. Это может быть проиллюстрировано на примере радиоизотопных приборов, принцип действия которых основан на регистрации обратно рассеянного γ -излучения, несущего достаточно подробные сведения о параметрах облученной среды.

Если учесть все известные зависимости величины дифференциального альbedo энергии $a_0(E_0, \Theta_0, \Theta, \varphi, Z, d, \rho)$ от толщины рассеивающего слоя d , плотности ρ и атомного номера Z вещества отражателя, то с некоторыми допустимыми упрощениями выражение для потока энергии обратно рассеянного γ -излучения в месте детектирования можно записать в виде

$$J_\rho = A \frac{\rho}{Z^2} \cdot \frac{1}{\cos \Theta_0} \cdot \frac{1}{E_0} (1 - e^{-d/a}),$$

где A — константа, определяемая геометрией измерения и методическими особенностями регистрации; a — константа, приблизительно равная половине длины свободного пробега квантов первичного излучения с E_0 в среде.

Из выражения следует, что измерение интенсивности рассеянного излучения соответствующим образом прокалиброванным детектором дает возможность определять:

координаты поверхности контролируемой среды относительно места крепления детектора, т. е. уровень, высоту и т. п.;

плотность и эффективный атомный номер среды, т. е. концентрацию или элементный состав для простых, например двухкомпонентных, расплавов или смесей;

толщину отражающего слоя;

конфигурацию поверхности и т. п.

Эти возможности расширяются, если учесть некоторые особенности спектрального и пространственно-углового распределения рассеянного излучения.

Практически все промышленные радиоизотопные приборы состоят из следующих основных функциональных блоков: блока с источником радиоактивного излучения, блока детектора (датчика); электронного блока регистрации и идентификации излучений; блоков индикации и формирования команд и сигналов на исполнительные механизмы.

Выбор типа тех или иных блоков, схемное и конструктивное их выполнение в значительной степени определяются величиной объема информации, необходимой для качественного решения поставленных задач, а также конкретными условиями эксплуатации на рабочих местах (требования повышенной чувствительности и надежности, искро- и взрывобезопасности, термостабильности и т. д.).

Основные особенности развития отечественного радиоизотопного приборостроения наиболее удобно рассмотреть на примере развития отдельных функциональных блоков, а также физических методов определения заданных параметров среды.

Развитие радиоизотопных методов определения физико-технических характеристик контролируемых объектов происходит главным образом путем повышения чувствительности датчиков ионизирующих излучений и совершенствования методов идентификации и обработки информации. Так, например, разработанный под руководством П. Л. Грузина нейтронно-изотопный метод измерения влажности ферритов в процессе изготовления из них изделий позволяет производить необходимые измерения с помощью источника $Po - Be$, скантлационного кристалла $LiI(Eu)$ и амплитудного многоканального анализатора с точностью до 1%.

Достаточно высокую точность автоматического контроля размеров и качества кабельных изделий обеспечивают радиоизотопные методы контроля, разработанные М. Л. Гольдиным и П. А. Самосудовым. Основанные на количественном различии эффектов взаимодействия γ - и β -излучений с веществами электроизоляционных покрытий, материалами токопроводящих тел и защитных оболочек кабелей, эти методы позволяют определять толщину и разность изоляции медных эмалированных проводов диаметром от 0,4 мм и выше.

Разработанный под руководством Е. М. Лобанова радиационный метод определения структурных характеристик взвешенного слоя, применяемый в технологических операциях цементной и металлургической промышленности, проводимый по нескольким направлениям, позволяет получить картину объемного распределения веществ в исследуемых слоях, необходимую для поддержания оптимальных режимов технологического процесса.

Л. А. Рубинштейн предложил метод использования двух источников β -излучения с различными E_{β} для контроля толщины покрытий, а исследования А. Д. Тумулькана и др. по обратному рассеянию β -частиц дают принципиальную возможность установить взаимосвязь между структурой металлических материалов, количеством и пространственно-угловым распределением рассеянных β -частиц.

Радиоизотопная методика определения пароудержания в двухфазных неравновесных пульсационных потоках (предложенная Е. П. Невструевой и Д. А. Хлесткиным), заключающаяся в просвечивании потока в трех сечениях β -частицами, позволяет кроме определения режимных характеристик течения исследовать пространственную структуру и механизм образования различного типа неоднородностей в потоке.

Исследования, проведенные А. М. Дробизом и др., позволили разработать аэрозольно-ионизационный метод контроля микропримесей в газах, заключающийся в селективном переводе контролируемого компонента газовой смеси в аэрозоль и измерении концентрации аэрозоля в ионизационной камере с внутренним источником ионизации.

Применение нейтронных влагомеров (разработки Ю. П. Бетина и др.) для автоматического контроля влажности дробленых руд, кеков, поступающих с вакуум-фильтров, шихт и концентратов позволяет успешно решать задачи автоматизации процессов сушки концентратов

на обогатительных фабриках, процессов обжига и агломерации в производстве черных и цветных металлов. Н. М. Кочегурой и др. предложены радиоизотопные методы измерения плотности и влажности литейных форм, позволяющие значительно улучшить качество последних и существенно снизить брак в литейном производстве.

Радиоизотопные методы определения плотности снега, почв и грунтовых вод, разработанные М. Г. Дмитриевым, могут найти широкое применение в строительных и сельскохозяйственных работах.

Широкие возможности промышленного использования радиоизотопных методов автоматизации технологических процессов, контроля и регулирования могут быть эффективно использованы лишь при условии применения совершенных методов обработки и идентификации информации, получаемой с датчиков. Этим методам было посвящено большое число сообщений на конференции.

В. Н. Афанасьевым проведен анализ количества и качества информации, получаемой от радиоизотопных приборов, а также основных характеристик этих приборов: точности, быстродействия, надежности. В частности, рассматривается специфическая особенность определения методами теории надежности вероятности сбоя в работе радиоизотопных приборов.

Работы В. А. Машинина и др., посвященные исследованиям физических характеристик потоков β -излучения после прохождения через контролируемые материалы, существенно дополняют информацию о физических характеристиках облученного материала и, в частности, позволяют использовать потоки электронов для измерений сравнительно больших толщин контролируемых веществ.

Влияние степени коллимации регистрируемого детектором β -излучения некоторых изотопов на величину эффективного коэффициента поглощения, исследованное Б. Н. Вейцем и др., достаточно велико, и изменение в известных пределах отношения высоты квадратной коллимационной решетки к ее шагу позволяет в 2—3 раза изменять коэффициенты ослабления пучка β -излучения.

И. И. Крейндлиным и Л. В. Матвеевым рассмотрен способ повышения точности измерений радиоизотопным абсорбциометрическим методом. Один из путей повышения точности радиоизотопных приборов (улучшение линейности) рассмотрен В. И. Стеценко и др. Показано, что для этих целей могут быть использованы

кремниевые диоды (для линейаризации выходного сигнала детектора). В измерителях уровня жидких металлов линейаризация шкалы достигается с помощью источника из нескольких точечных излучателей, располагаемых на определенном расстоянии друг от друга.

Большими преимуществами по сравнению с другими детекторами ионизирующих излучений с точки зрения количества и качества информации обладают полупроводниковые детекторы.

Характерной особенностью развития радиоизотопного приборостроения является широкое использование ЭВМ для определения оптимальных параметров конструкции и электронных схем. Так, И. М. Давлетчиным произведены расчеты зависимости основных характеристик радиоизотопных приборов (статистической надежности, скорости счета и быстродействия) от требуемой активности источника и величины перепада и построены соответствующие графики.

Расчеты изменений спектральных характеристик излучений радиоактивных источников при их прохождении через вещество представляют большой интерес, в особенности в отношении β -спектров, так как в этом случае нет достаточно удовлетворительных методов расчета для практически важных случаев. В двух работах, проведенных под руководством И. М. Таксара, предлагается вариант метода статистических испытаний для расчета с использованием ЭВМ статистических характеристик потока электронов, рассеянных на мишенях, толщина которых ограничивает применение теории многократного рассеяния, и предлагается использование метода статистических испытаний для получения β -спектров промышленных источников. Приводятся результаты расчета деформации β -спектра $Sr^{90} + Y^{90}$. Бета-спектры промышленных источников отличаются от «идеальных». Результаты вычислений хорошо согласуются с экспериментальными данными.

В других работах ЭВМ успешно использованы для расчета параметров нейтронных или γ -полей в применении к конкретным радиационнофизическим задачам.

В настоящее время наибольшее распространение в электронном приборостроении получили аналоговые методы построения измерительной аппаратуры. Радиоизотопная аппаратура, как показали доклады на конференции, в основном также строится на аналоговых системах. Характерной особенностью этих сис-

тем является отображение параметра измеряемого процесса в виде тока или напряжения. Однако такие системы имеют и принципиальные недостатки: сигнал, несущий информацию об измеряемом параметре, при прохождении по цепям аппаратуры и каналам связи под влиянием помех подвергается искажению. Поэтому при аналоговом методе построения измерительной аппаратуры используют небольшое число каскадов, при этом к точности и стабильности элементов предъявляются более жесткие требования. С повышением точности измерений свыше 1% аппаратура, созданная по аналоговому методу, значительно усложняется. Таким образом, конструктивно-технологические трудности накладывают на аналоговую аппаратуру ограничение, которое в общем случае определяется порогом точности.

Для аналогового метода характерно и то обстоятельство, что каждая конкретная задача требует специфического схемного решения. Такая особенность затрудняет проведение унификации измерительной электронной аппаратуры радиоизотопных приборов технологического контроля, что заставляет переходить к дискретным (цифровым) системам построения электронной аппаратуры. В дискретных системах носителем информации является цифровая форма сигнала, т. е. сочетание и отображение информационных символов в дискретных различных электрических сигналах.

К достоинствам дискретных приборов кроме высокой точности измерений относятся также большое быстродействие, большая степень автоматизации процесса измерений, возможность введения результатов измерения в цифровые вычислительные машины, простота и удобство регистрации результатов измерения, возможности передачи их на расстояние без потери точности и применения минимального количества унифицированных узлов, строящихся на основе логических элементов. Кроме того, точность измерения дискретными приборами повышается благодаря отсутствию ограничений при отсчете результатов, налагаемых размерами шкал в обычных стрелочных приборах, и отсутствию субъективной погрешности отсчета.

К недостаткам дискретных приборов следует отнести значительную их сложность и большую стоимость по сравнению с аналоговыми приборами в диапазоне невысоких точностей радиоизотопных приборов (для высоких точностей измерения можно легко получить хорошие технико-экономические показатели).

Разработанная Рижским научно-исследовательским институтом радиоизотопного приборостроения агрегатная унифицированная система радиоизотопных релейных приборов (АУС РРП) предназначена для автоматического контроля и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности и включает в себя источники радиоактивности и излучения, датчики, блоки сигнализации, контроля и управления. АУС РРП позволяет регистрировать потоки β - и γ -излучений в широком диапазоне изменения интенсивностей, формировать и выдавать сигналы на контрольно-измерительную или регулируемую аппаратуру и используется на многих предприятиях машиностроительной, химической, пищевой и других отраслей промышленности. При комплектации приборов системы выбор отдельных блоков определяется взаимосвязью значительного числа параметров объекта контроля и аппаратуры, поэтому для проведения соответствующих инженерных расчетов разработаны номограммы.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте радиационной техники разработан релейный прибор РТР-1, выпускающийся в коррозийно-устойчивом и взрывобезопасном исполнении. Опыт эксплуатации этого прибора на технологических объектах химической промышленности в качестве датчика системы автоматического поддержания условного уровня кипящей средней щелочи, индикатора уровня для осуществления автоматического регулирования подачи плава входного продукта на участках производства гексахлорбензола и т. п. показал его высокую аппаратурную и статистическую надежность.

В этом же институте С. С. Емельяновым и др. разработан комплекс радиоизотопных бортовых приборов РИО для обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов в условиях обледенения. В основу принципа работы этих приборов положен эффект ослабления β -излучения тонкослойным льдообразованием, возникающим на чувствительной поверхности радиоизотопного датчика, вынесенного на воздушный поток. Приборы обеспечивают измерение интенсивности обледенения и автоматическое включение противообледенительной системы.

ЦНИИЧермет совместно с некоторыми металлургическими заводами и В/О «Изотоп» произвел анализ работ и показал технико-экономическую эффективность использования серийно выпускаемых установок УРМС-2

в системах контроля и регулирования уровня шихты. На конференции доложены технические характеристики новой установки УРМС-2М, обеспечивающей автоматизацию управления загрузкой доменных печей.

В Рижском научно-исследовательском институте радиоизотопного приборостроения разработан комплекс радиоизотопной аппаратуры для измерения толщины листовых материалов (в бумажной, химической, металлургической промышленности), включающий в себя радиоизотопные датчики; скенирующие устройства с блоком управления различных конструкций, размеров и назначения для перемещения датчика по всей ширине контролируемого материала; блоки регулирования технологического процесса; статистический анализатор с гистограммой для анализа выработанной продукции. Одна из модификаций такого комплекса нашла широкое применение на отечественных целлюлозно-бумажных комбинатах.

Уральский политехнический институт представил на конференцию доклад В. С. Кортва и К. А. Сухановой, в котором дается описание радиоизотопного толщиномера для автоматического контроля и отбраковки биметаллического листового проката. В основу работы прибора положена связь между интенсивностью обратно рассеянного γ -излучения и толщиной измеряемого слоя. Конструкция сцинтилляционного датчика и геометрия измерения обеспечивают пространственное разделение первичного и вторичного потоков γ -излучения, что позволяет использовать более простую счетную измерительную схему вместо спектрометрической.

В опытно-конструкторском бюро автоматизации разработаны приборы аналитического контроля химического состава вещества, в основу которых положены процессы фотоэлектрического поглощения мягкого γ -излучения, а также ослабления потоков β -излучения. Анализатор жидкости АЖС-1 является стационарным автоматическим самопишущим прибором, предназначенным для непрерывного определения общей концентрации серы в дизельном топливе в диапазоне до 2% веса с погрешностью не хуже 5%; АТЖ-2 — анализатор, предназначенный для контроля и регулирования процентного содержания одного из компонентов в трехкомпонентных системах. Например, при контроле состава электролитической щелочи прибор имеет шкалу 80—100 г/л NaOH или 160—220 г/л NaCl с ошибкой ± 5 г/л.

Одно из наиболее эффективных средств защиты от статического электричества в химиче-

ских и текстильных производствах — применение радиоизотопных нейтрализаторов. В период 1964—1967 гг. количество нейтрализаторов, переданных в промышленность, возросло в семь раз и составило более 5600 шт. В докладах К. Д. Писманника и др. приводятся данные о конструкции и технических характеристиках радиоизотопных и радиоизотопно-индукционных нейтрализаторов, разработанных в некоторых институтах.

Большое число докладов было посвящено опыту практического применения радиоизотопной аппаратуры в народном хозяйстве и ее экономической эффективности.

Опыт применения радиоизотопной аппаратуры в химической промышленности обобщен в докладах А. С. Штань, Л. И. Короткова, С. В. Мамиконяна и др.

П. Л. Грузин и др. доложили о результатах разработки и внедрения регуляторов уровня жидкой стали в кристаллизаторах установок непрерывной разливки стали, установок для регулирования уровня засыпи шихты в доменных печах, измерителей толщины горячего проката, измерителей толщины холодного листового проката, измерителей толщины стенок горячих труб и других приборов и установок.

П. П. Фаминский и др. рассказали об опыте применения радиоактивных изотопов в легкой промышленности по пяти основным направлениям: контроль и регулирование технологических процессов; нейтрализация электростатических зарядов в процессе производства; исследование свойств материалов и технологических процессов; изменение свойств текстильных материалов; стерилизация марлевых перевязочных материалов и гигроваты.

В легкой промышленности используются главным образом общепромышленные радиоизотопные приборы: терморегуляторы, γ - и β -реле, плотномеры. Объем внедрения невелик, но в ближайшие годы планируется расширить их использование.

Система многопозиционных изотопных индикаторов уровня на 18 точках измерения впервые была использована для автоматизации химической станции приготовления чернотинных красителей на Первой московской ситценабивной фабрике. По подсчетам эта автоматизированная химическая станция дает экономический эффект более 6000 руб. в год.

В докладе К. З. Ефременко, Е. В. Печко и др. изложен опыт использования радиоизотопных приборов в целлюлозно-бумажной промышленности. В частности, указывается, что в на-

стоящее время в промышленности работает 51 регулятор веса 1 м² бумажного и картонного полотна типа РРВ-64 и РВБ, экономический эффект от внедрения которых составляет 25—50 тыс. руб. в год.

По данным Р. С. Морусана и др., радиоизотопные приборы нашли широкое применение на угольных предприятиях УССР. В настоящее время в эксплуатации находится более 800 приборов. С помощью 550 гамма-релейных приборов осуществляется автоматизация ски-

повых подъемников на многих шахтах. Это дает определенный технико-экономический эффект.

В других сообщениях приводятся данные об основных направлениях применения радиоизотопных методов и аппаратуры на предприятиях машиностроительной, горнорудной, текстильной и других отраслей промышленности, излагаются научные основы методов анализа технико-экономической эффективности внедрения радиоизотопных приборов в народное хозяйство.

Радиационная химия

Л. Т. БУГАЕНКО

Секция радиационной химии открылась вступительным словом В. И. Гольданского. Он отметил, что в области радиационной химии в Советском Союзе за истекшие 20 лет достигнуты значительные успехи как в теоретических разработках, так и в практическом использовании ее достижений в химической промышленности.

Теоретические проблемы радиационной химии обсуждались на двух заседаниях.

В докладе В. Л. Тальрозе освещены современное состояние и основные проблемы радиационнохимической кинетики. Прослежены связи между первичными элементарными процессами в газовой и конденсированной фазах и скоростью и направлением реакций образования конечных продуктов радиолиза. В частности, автор остановился на первичных процессах, протекающих при воздействии медленных электронов на молекулу, причем отметил особую роль масс-спектрометрии для выявления процессов образования и распада первичных ионов и возбужденных молекул. Рассмотрены кинетические закономерности четырех типов процессов, протекающих с участием ионов (ионно-молекулярные реакции), возбужденных молекул (передача энергии, реакции возбужденных частиц с молекулами), радикалов (их изучение оказывается более выгодным в процессе облучения), ионных пар. Выделены в особый кинетический класс «перекрестные» реакции активных частиц (радикально-ионные и т. д.). Значительное внимание уделено косвенному действию излучения в смесях и принципу аддитивности действия излучения на каждый из компонентов. Показано, что понятие электронной доли нуждается в уточнении. Рассмотрены кинетические особенности радиационно-индуцированных цепных реакций с прямыми, раз-

ветвленными и вырожденно-разветвленными цепями. Определены области температур и мощностей доз, в которых наблюдается или может наблюдаться влияние излучения на скорость цепной реакции, период ее индукции, пределы воспламенения, скорость распространения пламени и т. д., а также области температур и мощностей доз, в которых радиационнохимический процесс имеет ряд преимуществ перед цепным процессом, инициированным другим способом. Предложенные В. Л. Тальрозе номограммы температура — мощность дозы — заданное время превращения дают исследователям метод оценки технологичности исследуемого цепного радиационнохимического процесса.

Тема доклада П. И. Долина — применение импульсного метода в радиационной химии. В последнее время он получил очень широкое развитие, так как позволяет получать информацию о природе, строении и кинетических характеристиках короткоживущих частиц как в жидкой, так и в твердой фазе (кристаллы, замороженные растворы). Описана общая схема импульсных установок с использованием электронного, рентгеновского и светового излучения с импульсами продолжительностью от нано- до микросекунд. Для слежения за изменением концентрации короткоживущих частиц или конечных продуктов, возникающих под действием излучения, могут быть использованы спектрофотометрический и потенциостатический методы (последний впервые был применен в СССР), методы электропроводности и ЭПР.

Приведены примеры использования импульсного метода радиолиза для выяснения механизма радиолиза и природы продуктов в воде и органических соединениях.