

УДК 539.16:691

Ю. Д. Козлов, О. П. Сидельникова

РАДИАЦИОННОЕ АППАРАТОСТРОЕНИЕ — ОСНОВА СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ НОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На основе фундаментальных и прикладных исследований процессов под действием источников ионизирующих излучений возникла новая область — радиационно-химическая технология. Она включает различные ионизирующие излучения: гамма-излучение, электронное излучение и ядерные реакторы с β -распадом, захватом нейтронов, деление ядер. Развивающееся направление — радиационно-химическое аппаратостроение — основа создания технологической базы новых строительных материалов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: радиационно-химическая технология, радиационно-химическое аппаратостроение, радиационно-химическая установка, ядерное излучение, электронные ускорители, электронное излучение, протоны, искусственные изотопные источники излучения.

On the basis of fundamental and applied research of processes that take place under the influence of ionizing radiation sources a new sphere — the radiation-chemical technology has developed. The new sphere includes various ionizing radiation: gamma radiation, electron radiation and nuclear reactors with β -decay, neutron capture, nuclear fission. On the basis of these studies the radiation-chemical basis of apparatus engineering was developed — the basis of creation of technological base for new construction materials.

K e y w o r d s: radiation-chemical technology, radiation-chemical apparatus engineering, radiation-chemical equipment, nuclear radiation, electron accelerators, electron radiation, proton, artificial isotope radiation sources.

В результате широкого развития фундаментальных и прикладных исследований процессов под действием ядерных излучений и разработки нового направления — радиационно-химического аппаратостроения — возникла самостоятельная область — радиационно-химическая технология (РХТ) [1—4].

В соответствии с известными определениями под радиационно-химической технологией мы понимаем область науки, изучающую и разрабатывающую методы и устройства для наиболее экономичного осуществления с помощью ядерных излучений (или излучений ускорителей заряженных частиц) физико-химических процессов и придания материалам и готовым изделиям улучшенных (или новых) эксплуатационных свойств. Выделение этого направления в отдельную область обосновано технологическими и экономическими причинами.

Ионизирующие излучения, используемые для реализации РХТ в промышленности, делятся на две основные группы:

1. Ядерные излучения, т. е. излучения, сопровождающие различные ядерные реакции (β -распад, захват нейтронов, деление и др.). К этой группе относятся:

γ - и β -излучение искусственно радиоактивных изотопов, получающихся тем или иным способом в ядерном реакторе. Для решения задач радиационно-химического аппаратостроения существенно, что долгоживущие изотопы (с периодом полураспада в несколько лет, например, Co^{60} , Cs^{137} , Sr^{90}) могут использоваться в установках, удаленных от ядерных реакторов. Напротив, эффективное использование короткоживущих изотопов (с периодом полураспада

порядка нескольких минут и часов, например, In^{116} , Na^{24} , Mn^{56} , значительная часть продуктов деления тяжелых ядер) возможно лишь в установках — радиационных контурах (РК), расположенных при действующих реакторах. Для внедрения РХП в промышленность чрезвычайно важно, что использование γ -излучения рабочих веществ РК (так же как и долгоживущих изотопов) не приводит к активации продуктов РХП;

потоки нейтронов, γ -излучения и осколков, возникающие в момент деления тяжелых ядер. Реализация РХП с использованием этих излучений возможна лишь непосредственно в действующем ядерном реакторе, связана с возникновением радиоактивных загрязнений в облучаемых материалах (вследствие активации нейтронами или за счет поглощения продуктов деления) и, следовательно, с необходимостью решения проблем очистки.

2. Потоки электронов, генерируемые в специальных машинах (ускорителях) за счет потребления электроэнергии. Реализация РХП с помощью ускоренных электронов хотя и является в ряде случаев технически целесообразной и экономически выгодной, однако в отличие от ядерных излучений не имеет прямого отношения к проблеме использования атомной энергии.

Таким образом, источниками излучений для проведения РХП в одних случаях являются радиоактивные изотопы, в других — ускорители электронов, в третьих — ядерные реакторы. В последнем случае крупномасштабная реализация радиационно-химических процессов тесно связана с перспективами развития атомной энергетики.

В связи с применением этих совершенно новых в химической технологии инициаторов и источников энергии для решения задачи получения продукции при минимальной стоимости оборудования (включая источники излучения) и максимально эффективном использовании сырья и энергии излучения (т. е. при минимальных капитальных вложениях и эксплуатационных затратах) возникла необходимость разработки научно-технических проблем, не существовавших ранее и принципиально отличных от тех, которые решались и решаются в обычной химической технологии. Работы в этом направлении, впервые поставленные и выполненные в НИФХИ им. Л. Я. Карпова и его филиале, привели к разработке научных и инженерных аспектов радиационно-химического аппаратостроения.

Для решения сформулированных выше общих задач РХТ в радиационно-химическом аппаратостроении развиваются следующие направления работ, взаимно дополняющие друг друга:

разработка методов расчета РХА и радиационно-химических установок (РХУ) для наиболее эффективного использования мощности, генерируемой источниками излучения, т. е. достижение как можно более высоких значений КПД (по излучению) РХА и РХУ при заданных параметрах процессов;

разработка общих принципов конструирования установок с различными источниками излучений и создание мощных универсальных установок для исследовательских целей, крупномасштабных экспериментов, а также РХУ для проведения РХП в промышленных масштабах;

разработка наиболее экономичных источников излучений, т. е. таких источников, для которых минимальны удельные капитальные затраты, себестоимость излучения или, в конечном счете, приведенные затраты. Мощность этих источников должна быть достаточной для организации крупномасштабных производств;

разработка достаточно точных методов определения мощности источников излучения, а также поглощенных доз и их распределений в реакционном объеме;

изучение надежности отдельных узлов и радиационно-химических установок в целом, а также разработка мероприятий по радиационной безопасности обслуживающего персонала;

разработка методов оценки экономической эффективности РХП с использованием различных источников излучений.

Разумеется, при выборе наиболее экономичного процесса первостепенное значение имеет также определение оптимальных по радиационно-химическому выходу физико-химических и радиационных параметров и разработка способов управления процессом. Эти вопросы относятся к физико-химическим основам РХТ и в радиационно-химическом аппаратостроении не рассматриваются.

Разработанные методы расчета позволяют определять основные параметры РХА с источниками γ -излучения, а именно: производительность аппарата, мощность, габариты и конфигурацию облучателя, распределение активности по облучателю, обеспечивающее необходимую равномерность поля поглощенных доз в реакционном объеме при достаточно высоких значениях коэффициента полезного действия РХА по γ -излучению.

Другая сторона проблемы: разработка принципиальных схем и конструкций РХУ с источниками γ -излучения решалась путем крупномасштабного эксперимента, состоявшего в создании серий исследовательских установок с постепенно нарастающей γ -мощностью облучателей. Одновременно с этим развитие конструкций установок было направлено на обеспечение проведения процессов в более широком диапазоне физико-химических параметров, усложнение условий проведения экспериментов, а также на увеличение их масштабов, включая моделирование различных РХА и выпуск опытных партий продукции.

Радиационно-химические установки по своему назначению делятся на две группы [4]: установки для радиационно-химических исследований и установки для проведения радиационно-химических процессов в опытно-промышленных и промышленных масштабах.

Согласно классификации установки, принадлежащие к обеим группам, различаются по подвижности облучателей, а также, по необходимости, для обеспечения нормальной эксплуатации установки постройки специальных помещений или изготовления местной защиты, позволяющей размещать установки в обычных производственных помещениях.

Для реализации РХП в блочных системах (таких, например, как модифицирование полимеров и композиций полимеров с древесиной или бетоном) даже в опытно-промышленном масштабе требуются γ -облучатели мощностью порядка 1...10 кВт (105...106 г-экв. радия), а для промышленных РХУ порядка 100 кВт (107 г-экв. радия). Выполнение требований по равномерности поля поглощенных доз в блочных объектах при таких активностях приводит к созданию протяженных (чаще всего плоскостных) облучателей, а это исключает создание РХУ с «местной» защитой. В этих случаях технически и экономически целесообразным является строительство установок со специальными помещениями (рабочие камеры с достаточно толстыми стенами).

В то же время было показано, что для организации непрерывной транспортировки блочных изделий к облучателю и обратно (при обязательном условии обеспечения радиационной безопасности персонала) наиболее целесообразно создавать рабочие камеры с лабиринтными входами. Разработки экспериментально проверенных методов расчета лабиринтных входов в рабочие камеры мощных γ -установок стала возможной лишь в результате исследований, выполненных на мощных универсальных установках типа К-60 000 [3, 5—8].

Конструкция опытно-промышленных и промышленных установок классов ПП-2 и ПН-2 разрабатывалась в значительной мере на основе накопленного опыта создания и эксплуатации РХУ классов ИУП-2 и ИП-2. В работе [5] дано описание опытно-промышленной РХУ для облучения крупноблочных объектов с плоскостным облучателем Соб0 (высотой $\sim 1,5$ м, с переменной длиной 4,5...3 м), являющейся развитием конструкции установки типа К-60 000.

Дальнейшее совершенствование этой схемы привело к разработке и созданию в России наиболее мощной опытно-промышленной γ -установки с облучателем Соб0 проектной активностью 1,2 млн г-экв. радия для радиационной вулканизации высоко термоморозостойкой полигетеросилоксановой изоляционной ленты и резиностеклоткани [6]. Установка рассчитана на производительность 400 т ленты в год.

Разработка путей эффективного использования ускорителей для проведения радиационно-химических процессов занимает одно из важнейших мест в радиационно-химическом аппаратостроении.

В первом систематическом обзоре работ по применению различных источников излучений для радиационно-химических исследований и проведения процессов большое внимание было уделено ускорителям электронов и рассмотрению физических особенностей электронного излучения, существенных для этих применений. Была отмечена необходимость проведения работ по технико-экономическому анализу и выбору областей применения ускорителей электронов. Значительное внимание практическим применениям ускорителей электронов за последние годы было уделено также в монографиях [6—8], на российских и международных конференциях.

Такое широкое использование ускорителей электронов для реализации РХП обусловлено следующими обстоятельствами:

1. Разработаны процессы (модифицирование полиолефимов в тонких пленках и трубках или в виде изоляции проводов и кабелей, отверждение полимерных покрытий и т. п.), для реализации которых применение ускоренных электронов является технически целесообразным.

2. В результате развития соответствующего направления радиационно-химического аппаратостроения разработаны методы расчета основных параметров РХА с ускорителями электронов, применение которых позволяет определять необходимые для данного процесса характеристики ускорителя (энергия, мощность, параметры развертки и др.), а также выбирать целесообразные методы облучения и создавать устройства для наиболее эффективного использования ускоренных электронов при проведении данного РХП. К ним относятся, прежде всего, методы и устройства для реализации по возможности больших значений КПД (по электронному излучению) РХА при выполнении всех технологических требований и в том числе заданной равномерности поля

мощностей поглощенных доз, как по поверхности, так и по толщине объектов. Изучены вопросы радиационной безопасности, определены показатели надежности некоторых ускорителей.

3. Большие мощности доз (на 2...3 порядка превышающие мощности доз, реализуемые с помощью источников γ -излучения) приводят, при прочих равных условиях, к меньшему времени облучения, а это в ряде случаев — к упрощению технологии и аппаратного оформления, к сокращению производственных площадей и т. д.

4. Удельные капитальные затраты и стоимость излучения, т. е. приведенные затраты для сравнительно низковольтных ускорителей, пригодных для проведения процессов в сравнительно тонких неперемешиваемых (блочных) системах, ниже, чем соответствующие величины для РХУ с источниками γ -излучения Co^{60} (и тем более с Cs^{137}).

Все эти обстоятельства, а также опыт первых разработок РХУ с ускорителями электронов и их эксплуатации, позволили создать в последнее время у нас и за рубежом опытно-промышленные и промышленные установки. Наиболее интенсивно внедряются в производство процессы сшивки или вулканизации полимерных материалов и каучуков, привитой полимеризации мономеров на готовых полимерах радиационно-химического модифицирования поверхностей резин полиэфирными смолами и пористых материалов путем полимеризации мономеров в порах.

Таким образом, в тех случаях, когда для проведения РХП нужны электроны с энергией, не превышающие 1...1,2 МэВ, а форма, габариты и условия транспортировки объектов позволяют использовать местную защиту, РХУ такого типа представляют наибольший интерес для РХТ. Подобные радиационно-химические установки созданы в нашей стране и за рубежом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пшежецкий С. Я.* Механизм и кинетика радиационно-химических реакций. М. : Химия, 1986.
2. Радиационная химия // Сб. тр. Всесоюз. науч.-техн. конф. «XX лет производства и применения изотопов и ядерных излучений в народном хозяйстве СССР». Ч. 1. М. : Атомиздат, 1972.
3. *Брегер А. Х.* Источники ядерных излучений и их применение в радиационно-химических процессах. М. : ВИНТИ, 1960.
4. Основы радиационно-химического аппаратостроения. / А. Х. Брегер и др. М. : Атомиздат, 1967.
5. Атомная энергия. Радиационная химия / Козлов Ю. Д. и др. Ч. 2. М. : Атомиздат, 1972.
6. *Козлов Ю. Д., Никулин К. И., Титов Ю. С.* Расчет параметров и конструирование радиационно-химических установок с ускорителями электронов. М. : Атомиздат, 1976.
7. *Козлов Ю. Д.* Радиационно-химическая технология в производстве строительных материалов и изделий. М. : Энергоатомиздат, 1989.
8. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности : учебное пособие / Козлов Ю. Д. и др. М. : Энергоатомиздат, 2006.
1. *Pshezhckij S. Ja.* Mehanizm i kinetika radiacionno-himicheskikh reakcij. M. : Himija, 1986.
2. Radiacionnaja himija // Sb. tr. Vsesojuz. nauch.-tehn. konf. «HH let proizvodstva i primeneniya izotopov i jadernyh izluchenij v narodnom hozjajstve SSSR». Ch. 1. M. : Atomizdat, 1972.
3. *Breger A. H.* Istochniki jadernyh izluchenij i ih primenenie v radiacionno-himicheskikh proces-sah. M. : VINITI, 1960.
4. Osnovy radiacionno-himicheskogo apparatostroenija. / A. H. Breger i dr. M. : Atomizdat, 1967.
5. Atomnaja jenergija. Radiacionnaja himija / Kozlov Ju. D. i dr. Ch. 2. M.: Atomizdat, 1972.
6. *Kozlov Ju. D., Nikulin K. I., Titov Ju. S.* Raschet parametrov i konstruirovanie radiacionno-himicheskikh ustanovok s uskoriteljami jelektronov. M. : Atomizdat, 1976.

7. Kozlov Ju. D. Radiacionno-himicheskaja tehnologija v proizvodstve stroitel'nyh materialov i izdelij. M. : Jenergoatomizdat, 1989.

8. Vysokie tehnologii s ispol'zovaniem istochnikov ionizirujushhih izdelij v promyshlennosti : uchebnoe posobie / Kozlov Ju. D. i dr. M. : Jenergoatomizdat, 2006.

© Козлов Ю. Д., Сидельникова О. П., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Козлов Ю. Д., Сидельникова О. П. Радиационное аппаратостроение — основа создания технической базы новых строительных материалов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KozlovSidelnikova2-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KozlovSidelnikova2-2013_2(27).pdf)