



Сегодня радиационная обработка используется для стерилизации многих медицинских предметов, таких как хирургические инструменты и катетеры, и для упрочнения проводов и кабелей для телефонных линий (Предоставлена КЕС)



## Современные предметы торговли

### Промышленные радиационные процессы все в большей мере осуществляются „за сценой”

Витомир Маркович

Почти не освещаемое ранее в широкой печати применение ионизирующего излучения стало ценным средством повышения эффективности многих промышленных процессов производства продукции, используемой во всем мире.

За последние 15 лет применение радиационной обработки, при которой используется гамма-излучение или электроны высокой энергии (промышленные энергетические источники), возрастает примерно на 10–15 % в год. Основным показателем такого роста является число и установленная мощность радиационных источников.

В настоящее время используются в основном два типа радиационных источников: источники гамма-излучения с радиоактивными изотопами (кобальт-60 и цезий-137) и электроны высокой энергии, производимые электронными ускорителями в интервале энергий до 10 мегавольт. Ни один из этих видов радиации не создает радиоактивности в обрабатываемых материалах.

В. Маркович — сотрудник Отдела исследований и лабораторий, Департамент исследований и изотопов МАГАТЭ.

Более 130 промышленных гамма-излучателей работают в 41 стране, а электронных ускорителей насчитывается во всем мире около 400. Эти устройства используются для содействия производству таких изделий, как покрышки для автомобильных колес, детали электронно-вычислительных машин, телефонные кабели, упаковочные пластики и пленки; для дезинфекции и стерилизации медицинских изделий для больниц и домашних аптек.

Этот обзор основан на материалах международных совещаний по процессам радиационной обработки, проведенных за период с 1976 по 1984 г. с двухлетними интервалами соответственно в Пуэрто-Рико, Майами, Токио, Дубровнике и Сан-Диего. Эти совещания стали важными форумами для обмена информацией по научным и техническим проблемам в данной области. В работе совещания в Сан-Диего, например, приняли участие около 470 представителей из 32 стран; на 23 заседаниях было представлено 120 докладов, охвативших все возможные области применения радиационных процессов, включая различные аспекты радиационной техники, безопасности, промышленной радиационной дозиметрии, разработки промышленных радиационных источников, а также регламентационные и правовые аспекты.



Эта находящаяся в Югославии установка для гамма-облучения — одна из 133, работающих в настоящее время в 41 стране.

Трудно подсчитать общую стоимость облученной продукции, но практически она, по-видимому, во много раз превышает сумму в один миллиард долларов США, приведенную в 1977 г. в журнале *Business Week*. Это говорит о том, что радиационная обработка стала распространенным производственным методом.

### Как осуществляется процесс

Радиационная технология основывается на использовании энергии излучения в целях инициирования химических реакций, индуцирования биологических изменений или изменения химических и физических свойств материалов. При применении обычной небольшой поглощенной дозы одного киловатта энергии излучения достаточно, например, для замедления прорастания, а, следовательно, и порчи картофеля при скорости обработки 10 тонн в час. С другой стороны, при применении большой поглощенной дозы можно стерилизовать медицинские изделия со скоростью около 2000 шприцев в час или примерно 15–20 миллионов в год.

В этом и других видах применения радиационная обработка имеет в целом значительные преимущества перед альтернативными промышленными процессами, связанными с использованием химикатов и тепла. Почти в каждом виде применения радиационной обработки наблюдается существенная экономия энергии по сравнению с другими технологическими методами. К преимуществам радиационной обработки относятся также надежность и простота управления соответствующими процессами, сокращение или полное устранение промышлен-

ных загрязнителей, высокое или даже уникальное качество продукции.

Еще один момент, которому часто не придается надлежащего значения, — высокий уровень безопасности на промышленных радиационных установках, достигнутый на основе очень хорошо поставленного дела обеспечения безопасности на многих радиационных установках, эксплуатируемых уже в течение длительного периода времени.

По стоимостным показателям радиационная обработка не является техническим чудом: она может быть дешевле, одинаковой или более дорогостоящей, чем альтернативные методы. Однако распространенное в прошлом утверждение о том, что процесс радиационной обработки очень дорогой, много раз опровергалось. Этот процесс — не дешев, но число различных видов его успешного применения показывает, что он давно достиг стадии коммерческого применения благодаря своим техническим и экономическим преимуществам.

### Осуществляемые проекты

МАГАТЭ постоянно поддерживает разработку проектов по радиационной обработке во всем мире.

Совместно с Программой развития ООН (ПР ООН) Агентство осуществило в Венгрии, Индии,

Корейской Республике и Югославии проекты, давшие этим странам установки по радиационной стерилизации и возможность производить целый ряд различных медицинских изделий. Аналогичный проект близок к завершению в Иране.

В Корейской Республике и Югославии, где производятся провода и кабели, осуществлены также проекты, связанные с использованием ускорителей электронов для радиационного структурирования и применения к поверхностям.

Крупный проект ПР ООН/МАГАТЭ в этой области включает 13 стран района Азии и Тихого океана, в которых деятельность по применению радиационных методов является приоритетной. В Индонезии пущены в эксплуатацию полупромышленные облучатели для вулканизации природного каучука и для обработки покрытия поверхностей. В Корейской Республике и в Индии созданы учебный и демонстрационный центры по радиационной стерилизации. В Китае скоро будет создан центр по радиационному структурированию.

Осуществляемые Агентством в Бангладеш, Болгарии, Эквадоре, Малайзии, Перу, Португалии, Румынии, Шри Ланке, Вьетнаме, Замбии и на Филиппинах проекты технической помощи направлены на обеспечение этих стран источниками излучения и реализацию исследовательских и экспериментальных программ по радиационной технологии.

Основной целью координированных исследовательских программ является применение радиационной технологии для иммобилизации биологически активных материалов и изменения с помощью излучения свойств полимеров в промышленных и медицинских целях.

Как и в других видах деятельности Агентства, эта работа дополняется предоставлением стипендий, проведением учебных курсов, учебно-ознакомительных поездок и международных совещаний, имеющих целью поощрение и совершенствование обмена технической информацией.

Конечно, не все виды его применения были в прошлом успешными. Случаи успешного применения обильно перемежались с неудачами, разочарованием и даже полными провалами. Например, делаются попытки применить процесс радиационной обработки текстильных изделий, но достичь желаемого уровня завершенности в этом деле не удается. Не получается и с промышленным использованием излучений для полимеризации, хотя оно имеет много преимуществ перед традиционными каталитическими процессами при высоких температурах и давлении. Радиационный химический синтез также открывает широкие возможности, но он не нашел пока какого-либо значительного промышленного применения.

Для того, чтобы получить более четкое представление об этой проблеме, необходимо провести различие между:

- *Признанной технологией* — технологией, применяемой в промышленности в течение многих лет во всем мире.
- *Создаваемой технологией* — технологией, которая уже прошла в той или иной мере стадию исследований и разработок, достигла полупромышленного уровня, но еще неполного коммерческого использования.
- *Разрабатываемой технологией* — технологией, находящейся на стадии исследований и разработок с признаками будущего коммерческого использования.

#### Признанная радиационная технология

Примерно 90 % установленной мощности излучения используются для очень небольшого числа промышленных процессов. Сюда относятся три основные группы таких процессов: радиационная стерилизация, радиационное структурирование и радиационные отверждение и прививка.

#### Радиационная стерилизация: медицинские изделия

Это была первая область применения радиации на промышленном уровне в начале 50- и 60-х годов, главным образом в Австралии, Франции, Великобритании и Соединенных Штатах Америки. В последующем она развивалась почти без помех. Когда энтузиасты из числа ученых и промышленников впервые начали прокладывать путь для применения излучений, промышленная стерилизация медицинских изделий осуществлялась с помощью холодного процесса с этиленоксидом. Аргументами в пользу процесса радиационной обработки служили надежность и более высокое качество продукта, дополненные позже стоимостными преимуществами, вытекающими из более совершенных технических решений, большей обеспеченности мощными источниками излучения и больших объемов обрабатываемых изделий.



Радиационные методы применяются также для сохранения деревянных статуэток, скульптур и других предметов искусства (Предоставлена КЭС).

В настоящее время действуют и другие факторы. Применение этиленоксида невыгодно не только по стоимостным соображениям, но и потому, что подвергать материалы воздействию химикатов — более трудное и дорогое дело с точки зрения управления, чем делать это с помощью ионизирующих излучений. Этиленоксид опасен, токсичен и канцерогенен с мутационным воздействием на живые организмы; кроме того возрастает опасность сопутствующего загрязнения окружающей среды и его воздействия на работников и на больных, применяющих медицинские препараты, поскольку на изделиях остаются следы газов.

В сравнении с этим профессиональная безопасность персонала, работающего на радиационных установках, очень хорошо обеспечена и легко контролируется, и никаких следов радиоактивности на облучаемых изделиях не остается. При необходимости стерилизуемые облучением изделия могут использоваться сразу же после стерилизации.

В настоящее время 120–130 промышленных установок (большинство из них с кобальтом-60) применяются для радиационной стерилизации в 40 странах. Общая их производительность составляет около трех миллионов кубических метров в год.

В ближайшем будущем ожидается еще более широкое применение этого метода в связи с правительственными ограничениями на использование этиленоксида. В настоящее время, например, около 40 % всех используемых медицинских изделий в США стерилизуются излучениями, и предполагается, что к 1990 г. это количество удвоится. То же ожидается и в других странах. Основным преимуществом радиационной обработки перед другими

методами является то, что изделия могут стерилизоваться *после* упаковки, в результате чего устраняются проблемы повторного загрязнения.

Важно отметить, что многие развивающиеся страны успешно используют эту технологию. Извлекаемая польза намного превосходит расходы, связанные со стоимостью продукции, с используемым персоналом и т.д. Эта технология в значительной мере способствовала повышению уровня здравоохранения, обеспечивая местное производство и более широкое применение медицинских изделий разового пользования. Сюда относятся шприцы, катетеры, наборы для переливания крови. Внедрение такой технологии сравнительно просто, к тому же исключаются многие трудности, характерные для других видов применения.

### **Структурирование: провода, покрышки, пластики и пенопласты**

Структурирование с помощью радиации основывается на изменении свойств полимеров путем ионизации химических связей между отдельными макромолекулами. Являясь весьма эффективным инициатором этого химического процесса, радиация трансформирует полимер в молекулярную структуру с двумя важными особенностями: она „не течет“ при повышенной температуре, а при превышении точки плавления возникают свойства, присущие резине.

Первая особенность имеет очень большое значение для изоляции проводов и кабеля, а вторая — при производстве сжимающихся от тепла материалов и полимерной пены. При радиационном структурировании изоляции проводов и кабеля ставится задача получить материал, пригодный для использования при высоких температурах или тогда, когда короткое или длительное воздействие высоких температур (например, при перегрузках) разрушает изоляцию.

Это важно для проводки внутренних схем в телевизионном и звуковом оборудовании, электронно-вычислительных машинах, сигнальных линиях, линиях электропередач, а также в автомобильной, авиационной и судостроительной промышленности. По сравнению с химическим структурированием, радиационное более эффективно в стоимостном отношении и менее энергоемко, требует меньших площадей и более надежно в управлении. Провода небольших размеров, например, могут структурироваться только с помощью радиации.

С другой стороны, этот метод не применим к кабелям высокого напряжения, превышающего 30 киловольт, поскольку ограничивается проникновением электронов, используемых при соответствующей радиационной обработке. В связи с этим химический и радиационный методы существенно дополняют друг друга, и наиболее крупные фирмы, производящие провода и кабели, располагают одной или несколькими линиями радиационного и

химического структурирования для обеспечения производства широкого ассортимента изделий.

Во всем мире применяются в этих целях более 100 электронных ускорителей средней мощностью от 40 до 50 киловатт.

Радиационное структурирование полимеров применяется также для производства сжимающихся от тепла материалов, из которых делают трубы, пленки, ленты. Эти материалы облучаются и структурируются до определенного уровня. После облучения они нагреваются до температуры, превышающей точку плавления, расширяются по одному или двум размерам примерно в 2—4 раза и затем охлаждаются для предотвращения дальнейшего расширения. При их использовании они снова нагреваются до температуры, превышающей точку плавления полимера, и возвращаются к той форме, которую они имели до расширения.

Они применяются для упаковки продуктов питания и различных изделий, изоляции электрических частей и соединений, соединителей кабельной связи, изоляции нефтепроводов. Это очень сложная технология, и ее применение в значительной степени ограничено патентованием, правом собственности на информацию и другими факторами.

Некоторые крупные изготовители резиновых автомобильных покрышек, особенно во Франции, Японии и Соединенных Штатах Америки, применяют радиацию для структурирования вулканизированной резины в целях улучшения ее механических свойств на одной из стадий производственного процесса.

Радиационное структурирование полимеров применяется на довольно широкой коммерческой основе и в других областях. К ним относятся производство вспененного полиэтилена для упаковок и структурирование полиэтиленовых труб для горячей воды. Коммерчески доступны также некоторые „готовые“ рецепты полимеров для изоляции и радиационного структурирования, но снабжение ими является одной из важнейших проблем в деле передачи данной технологии развивающимся странам, которые не располагают собственными возможностями для проведения соответствующих исследований и разработок.

### **Радиационное отверждение: видеозаписи, бумага, деревянные панели**

Эта область включает много различных видов применения, таких как отверждение покрытий, чернил и адгезивов для широкого круга материалов (бумага, металл, дерево, пластик); покрытие или расслаивание бумаги, пленки и фольги; отверждение магнитных покрытий для звуко- и видеозаписей и отверждение чувствительных к давлению устройств.

К преимуществам этого метода относятся высокоскоростное применение и очень быстрое и однородное отверждение, применение свободных от раст-



Автомобильные покрышки, электронные части, предметы домашнего обихода и бумага относятся к изделиям, производству которых способствует радиационная обработка (Предоставлена УАЗ Великобритании).

ворителей покрытий, что сокращает стоимость таких покрытий и устраняет загрязнение; отсутствие образования тепла при отверждении, что позволяет применять этот метод к термочувствительным подложкам; уменьшение потребления энергии и потребностей в помещениях.

Данная технология характеризуется применением электронов малой энергии, как правило, в диапазоне энергий между 0,15 и 0,3 мегавольта. Основной особенностью соответствующих устройств является то, что они могут быть изготовлены в самозащитной форме и установлены в любом месте без дорогостоящих и громоздких бетонных конструкций, что необходимо для безопасного использования пучков электронов высокой энергии или гамма-излучения от изотопов.

В этом процессе в его типовом выражении специальная смесь покрытия (обычно на основе урета-

на, эпоксида или акрилового олигомера) наносится на поверхность материала и затем отверждается под действием потока электронов высокой энергии.

Полимеризация начинается с образования реактивных свободных радикалов и заканчивается практически в чрезвычайно короткие сроки по сравнению с термоотверждением, требующим длительного времени и много энергии. При современных ускорителях пучков электронов и оборудовании скорость отверждения составляет сотни метров в минуту при ширине до двух метров. За последние несколько лет радиационное отверждение получило очень широкое распространение, особенно в области отверждения магнитных сред. Одна фирма в США, например, сообщила о том, что во всем мире установлено за период 1980—1983 гг. более 70 новых самоэкранированных ускорителей низкой энергии.

Можно приобрести описание различных видов применения метода радиационного отверждения. Но полное их содержание, как правило, охраняется правом собственности. Этот факт вместе с необходимостью очень точного управления процессом (скорость, перекрытие пучка электронов, условия окружающей среды), а также определение параметров процесса представляют основные препятствия для передачи этой технологии, хотя капиталовложения в ускорители пучков электронов, в обслуживающее оборудование и в рабочие помещения умеренны и быстро окупаются.

**Привитая сополимеризация и другие процессы: мембраны, сковороды, деревянные изделия**

Этот процесс имеет целью изменение свойств поверхностей (большой частью полимерных материалов). Под действием радиации на поверхности полимера образуются активные центры свободных радикалов. При соприкосновении с реактивными мономерами после или во время облучения на поверхности образуются химические соединения различных химических функциональных групп.

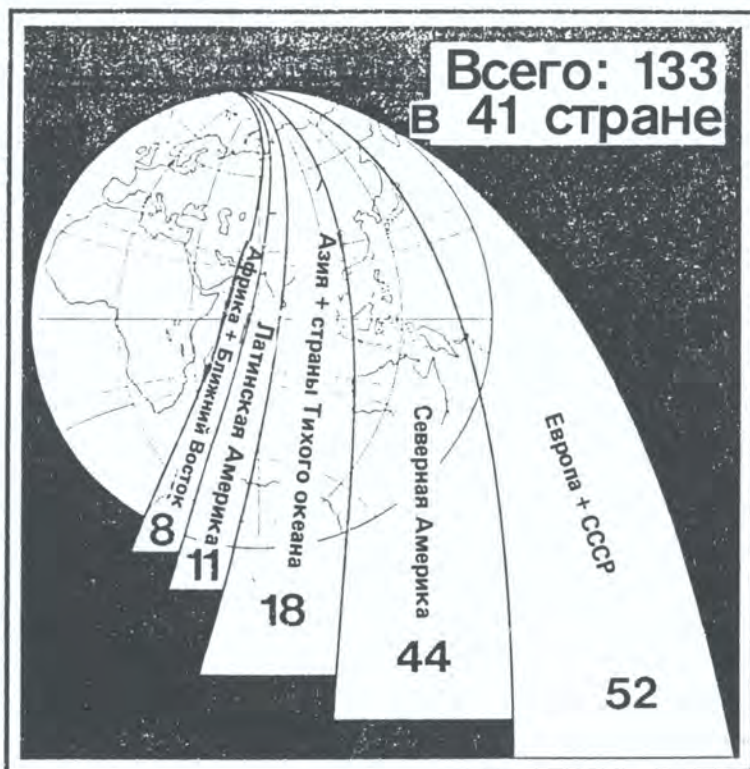
В промышленном производстве этот процесс не так широко применяется, как другие виды применения радиации, но он успешно используется во многих странах для получения биологически совместимых веществ, ионообменных мембран для различных целей и тонких мембран, обладающих избирательной проницаемостью, для батарейных сепараторов.

В течение многих лет имела широкое применение радиационная деструкция тефлона (политетрафторэтилен). В данном случае радиация разрушает длинную молекулярную цепь полимера, уменьшая молекулярный вес и превращая его в конечном итоге в тонкий порошок. Это нашло применение в производстве специальных термостойких смазок, покрытий сковород и т.п. Исходным материалом часто служат отходы тефлона.

Деревянно-пластиковые композиты производят путем индуцируемой радиацией полимеризации мономера, пропитывающего дерево. В результате по-

**Действующие во всем мире гамма-излучатели**

Аргентина	-3
Австралия	-3
Бельгия	-1
Бразилия	-3
Канада	-4
Чили	-1
Чехословакия	-1
Дания	-3
Египет	-1
Сальвадор	-1
Финляндия	-1
Франция	-3
Германская Демократическая Республика	-1
Федеративная Республика Германии	-5
Греция	-1
Венгрия	-1
Индия	-2
Индонезия	-1
Иран	-1
Великобритания	-8
Ирландия	-2
Израиль	-1
Италия	-5
Япония	-7
Малайзия	-1
Мексика	-2
Нидерланды	-2
Новая Зеландия	-1
Корейская Республика	-1
Саудовская Аравия	-2



Шотландия	-2	Таиланд	-1
Сингапур	-1	Соединенные Штаты	-40
Южная Африка	-3	Америци	-11
Испания	-1	СССР	-1
Швеция	-2	Венесуэла	-1
Швейцария	-1	Югославия	-1

лучаются деревянные изделия с высочайшими механическими свойствами, даже если исходным материалом являлось низкосортное дерево. Не очень широко, но успешно применяется этот метод в США для настилки полов, изготовления мебели и различной утвари. Во Франции и Чехословакии этот метод с большим успехом используется для сохранения художественных предметов, сделанных из дерева.

### Создаваемая радиационная технология

За последние годы появились еще несколько радиационных процессов, претендующих на широкое промышленное производство. Среди них:

● *Облучение продуктов питания.* В настоящее время во многих странах обработка излучением пищевых продуктов доказала возможность сохранять и увеличивать их запасы, особенно в тех районах, где они быстро и в больших объемах портятся. Безвредность облученных продуктов питания для потребления их человеком давно перестала быть предметом споров. Однако учитывая 40-летнюю историю этой проблемы, следует сделать вывод, что коммерческий прогресс данной технологии задерживается. При общем значительном количестве облученных продуктов питания (около 35 000 тонн в 1983 г.) промышленное ее применение по ряду причин остается ограниченным. Имеются некоторые признаки того, что в недалеком будущем отношение к ней изменится, особенно в связи с регламентационными требованиями. В настоящее время около 80 различных товаров получили правительственное разрешение на радиационную обработку. Быстрее всего в пищевой промышленности найдет, по-видимому, применение радиационная стерилизация пряностей, которая уже получает распространение в США. В целом же общее отношение промышленности США к коммерческим перспективам применения радиационной обработки продуктов питания, по крайней мере как оно было выражено на совещании по радиационной обработке в Сан-Диего, США, в октябре 1984 г., можно определить как „осторожный оптимизм”, — мнение, основанное частично на разочарованиях в прошлом.

● *Облучение кормов животных.* Эта технология достаточно развита, например, в Израиле, и считается в некоторых других странах наиболее вероятной альтернативой пропионовой кислоте. Применяется она в двух видах: рапапертизация (высокие поглощенные дозы) кормов лабораторных животных и радиационная (низкие поглощенные дозы) кормов сельскохозяйственных животных. Первый вид применяется лишь в небольших количествах, хотя практикуется и на полукommerческом уровне. Другой вид используется для обеспечения производительности, исчисляющейся десятками тонн в час, и имеет основной целью очистку кормов от сальмонеллы и других патогенных микроорганизмов. Национальное законодательство все в большей мере отражает проблемы, связанные с таким загрязне-

нием, и требует установления более высоких стандартов микробиологического качества.

● *Облучение отстоя сточных вод.* Оно было успешно продемонстрировано на некоторых полупромышленных установках в США и в Федеративной Республике Германии. После очистки отстой может быть использован в качестве удобрения и как дополнительный корм для жвачных животных. В Италии и Индии построен ряд экспериментальных установок с кобальтом-60 и цезием-137 и электронных ускорителей, а в настоящее время планируются или строятся среднemasштабные установки. Поскольку в открытой литературе нашло отражение большинство исследований по данной технологии, ее внедрение в развивающихся странах может быть сравнительно легким и простым.

● *Облучение дымовых газов.* Этот метод имеет целью одновременное удаление окислов серы и азота из горючих газов в установках, сжигающих уголь с высоким содержанием серы. Метод, разработанный фирмой „Эбара” (Япония) и испытанный на построенной в 1977 г. полупромышленной установке, использует пучки электронов в присутствии аммиака. Загрязняющие окислы удаляются, а получаемые как побочные продукты соли аммиака используются в качестве удобрений. В США завершается строительство демонстрационной установки, которую предполагается ввести в эксплуатацию в 1985 г. с проведением необходимых испытаний в течение одного года. Возможным препятствием на пути развития этой технологии может оказаться необходимость в ускорителях пучков электронов высокой мощности с умеренными пределами энергий (около одного мегавольта), но с очень высокой мощностью пучков (500—1000 киловатт). Это намного превосходит возможности, которыми в настоящее время располагают машины с одной электронной пушкой; требуются новые технические решения.

### Разрабатываемая радиационная технология

Исследования по прикладной радиации проводятся в таком большом объеме, что при попытке перечислить все возможные виды ее применения, находящиеся в настоящее время в стадии исследований и разработок, можно упустить наиболее значительные достижения. Поэтому следует отметить следующие методы:

● *Конверсия биомассы.* Конечной целью проводимых сейчас во многих странах исследований является применение радиации (отдельно или в сочетании с другими процессами) для разложения лигноцеллюлозных веществ (большая часть это сельскохозяйственные отходы) в сахар и алкоголь. Другая цель, как показывает пример Бразилии, — радиационная обработка древесных стружек для увеличения эффективности измельчения в производстве тонкой древесной пудры. При этом значительно сокращается потребление энергии и получаются бо-

### Источники излучения: перспективы

Имевшие ранее место споры о преимуществах и недостатках источников гамма-излучения по сравнению с электронными ускорителями решены практикой.

Сегодня источники гамма-излучения в большинстве случаев предпочтительны для радиационной стерилизации, облучения пищевых продуктов и вообще для обработки объемистых изделий. С другой стороны, для отверждения поверхностей и радиационного структурирования применяются исключительно ускорители. По всей вероятности, они будут применяться в тех случаях, когда требуются широкие диапазоны энергии и сравнительно небольшое проникновение, как это имеет место при облучении кормов для животных и при дезинсекции семян.

В некоторых областях могут использоваться оба вида источников излучения. Окончательный выбор будет зависеть от конкретного технико-экономического анализа и других дополнительных факторов.

В ведущихся разработках ускорителей электронных пучков уже наметились некоторые достижения. Например, разрабатываются бескатодные системы электронных пушек для ускорителей на низкие энергии, системы высокоскоростной обработки электронами с увеличенной длиной зоны облучения и метод охлаждаемого барабана для применения к поверхностям при низкой энергии. Не пользовавшиеся ранее успехом у промышленности линейные ускорители электронов (LINACS) совершенствуются теперь с таким расчетом, чтобы на их основе создавать машины на высокие энергии, могущие служить генераторами рентгеновского излучения при достаточно высокой эффективности конверсии.

Значительные успехи достигнуты и в отношении гамма-облучателей. К ним относится разработка высокоактивного кобальтового облучателя и кобальтовых облучателей паллетного типа для многоцелевого применения. Эти устройства управляются ЭВМ, работают со щелевым источником и имеют систему дифференциальных доз.

лее мелкие древесные частицы, которые являются великолепным топливом для суспензионных топок. Эта пудра может использоваться также как сырьевой материал для непрерывного питания гидролитических процессов.

● *Иммобилизация биологически активных материалов.* Некоторые методы могут использоваться для физического или химического захвата биологически активных видов в гелях или привязки их к фиксированной среде для получения, например, ферментов, антител, клеток и лекарств. Путем иммобилизации можно поддерживать высокую ферментную активность в течение долгого периода времени и уменьшить или запрограммировать поставку лекарств для достижения благоприятных промышленных или медицинских результатов.

● *Вулканизация резины.* Радиационная вулканизация натурального каучука оказывается более простым и менее энергоемким процессом, чем серная вулканизация при аналогичных физических и механических качествах. В Индонезии создаются в настоящее время полупромышленные установки, и в недалеком будущем ожидается переход этого процесса в стадию коммерческого применения.

● *Совместимые в биологическом отношении полимеры.* Методы радиационной прививки применяются для синтеза биологически совместимых полимеров из различных гидрофильных и функциональных групп. Совместимость крови, например, — одна из важнейших целей проводимых исследований. Изделия, которые можно получить в результате применения этих методов, включают устройства, предназначенные для имплантации в человеческое тело и для длительного контакта с тканями или для использования наружно. Некоторые из этих методов находятся на начальных стадиях коммерческого применения.