

ции резки ускорители электронов должны иметь энергию 5—7 *Мэв*, ток пучка 1 *ма*, развертку пучка до 1 м, поток энергии должен составлять около 0,25 *вт/см²*.

А. П. Сеченков остановился на конструктивных особенностях электростатического ускорителя на 0,5 *Мэв* с током пучка до 250 *мкА*. Основной особенностью является способ получения высокого напряжения от электростатического генератора с жестким ротором.

С интересом был выслушан доклад Л. В. Чепеля о зарубежной ускорительной технике и тех достижениях, которые имеются в этой области.

Д. Н. Марголин (ФХИ им. Л. И. Карпова) поделился опытом работы на электростатическом генераторе ЭГ-2,5. Ускоритель позволяет регулировать энергию частиц от 0,3 до 2,0 *Мэв* и ток от $5 \cdot 10^{-8}$ *мкА* до 200 *мкА*. Максимальная мощность пучка 0,4 *квт*.

Разнообразным исследованием, проводящимся в ИФХ АН СССР на ускорителях на 2 и 0,8 *Мэв*, было посвящено сообщение Н. Н. Бубена. На ускорителях проводятся работы по исследованию в широком интервале температур природы и свойств свободных радикалов, образующихся при радиоллизе; изучаются газовые продукты радиоллиза углеводородов; исследуется радионетермолюминесценция облученных веществ при структурных и фазовых переходах; исследуется роль ионов в радиационно-химических процессах; измеряются электрофизические свойства облученных органических веществ; исследуется радиационная полимеризация и вулканизация резиновых смесей; изучается действие излучения на адгезию полимеров; проводятся поиски радиационно-стойких полимеров; исследуются энергоемкие радиационно-химические реакции и т. д.

Об опыте работы на электростатическом ускорителе с энергией 1,2 *Мэв* сообщил П. Я. Глазунов (ИФХ АН СССР). На ускорителе исследуются процессы радиационного крекинга, радиационной полимеризации и прививки; исследуется действие ионизирующего излучения на топохимические, каталитические, коррозийные процессы; изучается действие высоких мощностей поглощенных доз на водные растворы и т. д.

На Совещании было принято развернутое решение. В решении указывается, что в настоящее время к полупромышленному опробованию подготовлено несколько радиационно-химических процессов. Эти процессы особенно перспективно осуществлять на

мощных, малогабаритных и надежных в работе ускорителях электронов. Для развития радиационной химии могут иметь большое значение также малогабаритные ускорители небольшой мощности, надежные в работе и специально предназначенные для исследовательских целей.

Совещание считает, что в ближайшие годы основную роль при использовании ускорителей для проведения радиационно-химических процессов будут играть линейные и электростатические ускорители, которые должны использоваться на стадии полупромышленного испытания радиационно-химических процессов.

Основное внимание обращается на совершенствование и разработку ускорителей:

а) для работы с газообразными и жидкими продуктами, вулканизации резиновых смесей, сшивания полиэтилена и т. д. — линейного ускорителя (импульсного и непрерывного действия) на 2—8 *Мэв* со средним током 3 *ма* и возможностью развертки пучка;

б) для различных видов прививок и аналогичных процессов — электростатического ускорителя с энергией 1,5 *Мэв* и током 1—5 *ма*.

Перспективными для лабораторных и исследовательских целей являются электростатические малогабаритные ускорители.

В решении указывается, что весьма перспективным ускорителем электронов является микротрон, который может на первом этапе рассматриваться как лабораторный, а затем и как промышленный аппарат.

Совещание считает, что существенное значение для расширения области применения различных типов ускорителей будет иметь разработка ряда инженерно-конструктивных и экономических вопросов:

- 1) вывод из ускорителя пучков мощностью до 20—50 *квт*;
- 2) поворот пучка на 90° и развертка пучка;
- 3) разработка фильтров, выравнивающих глубинные дозы;
- 4) ввод пучка в реакционные сосуды при давлениях в них до 100 *атм* и температурах до 300° С;
- 5) удешевление стоимости 1 *квт·ч* пучка.

В решении отмечено, что необходимо усилить работу по модификации ускорителей для промышленной реализации радиационно-химических процессов.

Е. В. Георгов, М. Я. Каплунов

Разработка промышленных линейных ускорителей

В Московском инженерно-физическом институте (МИФИ) в течение нескольких лет ведутся научно-исследовательские работы в области линейных ускорителей электронов. Теоретические работы проводились в двух направлениях: а) изучение свойств диафрагмированных волноводов методами теории поля (дисперсия, структура полей) и методами теории цепей (полосовые характеристики); б) изучение динамики взаимодействия частиц с полем бегущей волны с целью поисков условий получения наилучших фазово-энергетических характеристик ускоренного пучка. В результате экспериментальных и проектно-конструкторских работ построено и эксплуатируется

шесть линейных ускорителей на энергии от 2 до 7 *Мэв*. Эти установки были использованы как для исследования физических процессов в линейных ускорителях, так и для прикладных работ по облучению диэлектриков, полупроводников и т. п.

На основе накопленного опыта была принята программа разработки в МИФИ типовых линейных ускорителей для исследовательских и производственно-технологических целей, поскольку за последнее время все более широкая сфера отраслей народного хозяйства испытывает потребность в мощных источниках ионизирующей излучений.

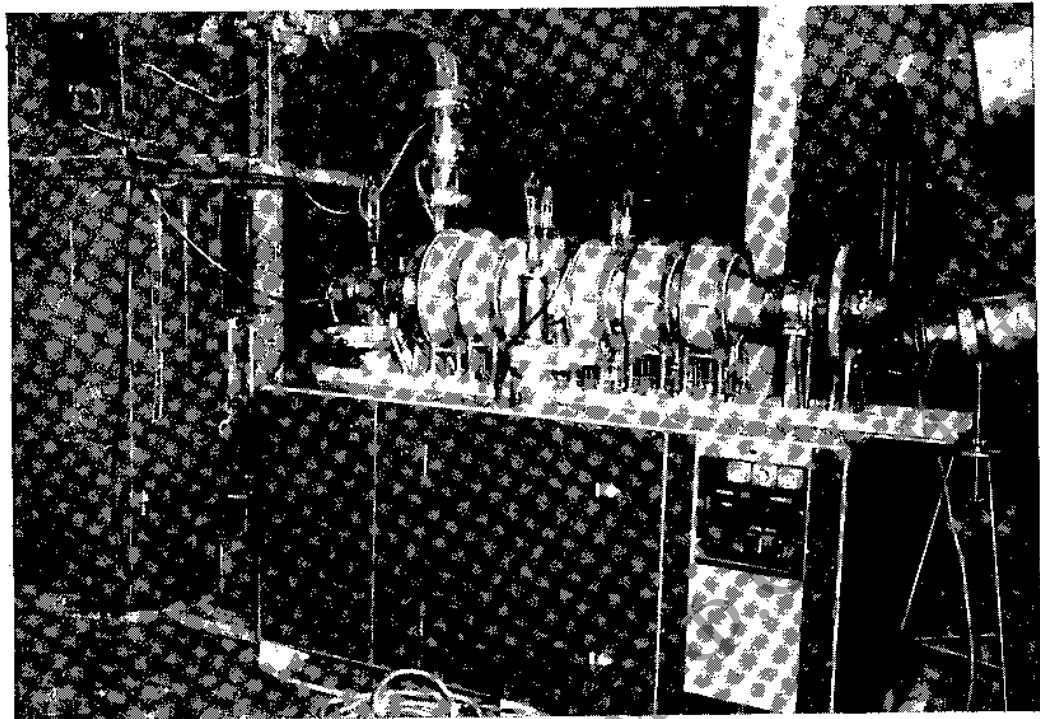


Рис. 1. Ускоритель У-40.

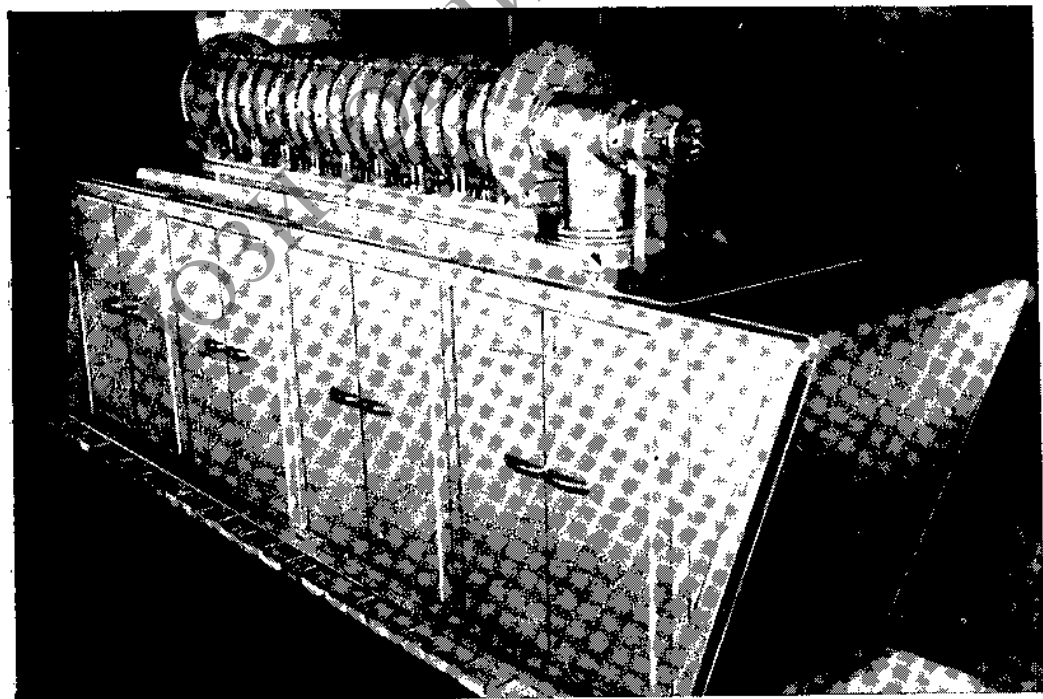


Рис. 2. Ускоритель У-12.

К линейному ускорителю широкого назначения предъявляются специфические требования: надежность и устойчивость в работе, стабильность характеристик, дешевизна и доступность комплектующего оборудования, простота управления и обслуживания при небольших размерах и незначительном потреблении энергии.

По соображениям простоты и надежности в качестве генератора высокочастотного питания был выбран магнетрон S -диапазона с импульсной мощностью 1—2 *Мвт*. Было показано [1], что такая мощность позволяет получить пучок электронов с энергетическим спектром по шире 5% и фазовым размером сгустка не более 30°, т. е. группировка способностей ускорителей на магнетронах не уступает ускорителям на клистродах значительно большей мощности. При этом средняя мощность пучка может быть доведена до 400—800 *вт*, а высокочастотный к. п. д. — до 50% и более.

Расчет ускоряющей системы для заданных параметров пучка (ток, энергия, спектр) производится по специальной методике [2, 3], которая позволяет предсказать и свести к минимуму чувствительность ускорителя к колебаниям частоты и мощности питания. Были преодолены трудности обеспечения устойчивой работы магнетрона на диафрагмированный волновод без дорогостоящих ферритовых развязок при наиболее полном использовании мощности магнетрона для ускорения.

Разработаны четыре типа линейных ускорителей для опытно-серийного выпуска. Они рассчитаны на номинальную мощность генератора около 1,5 *Мвт* и работают импульсами длительностью 3 *мксек* при частоте модуляции 400 *гц*. На всех ускорителях ток пучка может плавно регулироваться от нуля до номинала.

Ускоритель У-10 (рис. 1) успешно прошел испытания. Полная энергия электронов 3 *Мэв*, средний ток пучка 200 *мкА* (может быть повышен до 600 *мкА*), интенсивность γ -излучения 260 *р/мин*. Волновод ускорителя имеет длину 122 *см* (54 ячейки). Фазовая скорость ускоряющей волны V_{ϕ} меняется в пределах 0,436—0,987, параметр нагрузки a/λ равен в среднем 0,16; амплитуда поля E составляет 17,4—30,0 *кв/см*.

Ускоритель У-12 (рис. 2). Энергия электронов 5 *Мэв*, средний ток пучка до 100 *мкА*, интенсивность γ -излучения 600 *р/мин*. Длина волновода 200 *см* (84 ячейки); начало его идентично с ускорителем У-10, последние 78 *см* (30 ячеек) имеют постоянную структуру: $V_{\phi} = 1,00$; $a/\lambda = 0,155$; E убывает от 30 до 26 *кв/см*. Ускоритель У-12 отличается от У-10, кроме большей энергии, улучшенной конструкцией и повышенной надежностью работы. Ускоритель У-12 испытан.

Ускоритель У-13. Энергия 10 *Мэв*, ток 70 *мкА*, интенсивность γ -излучения 2500 *р/мин*. Волновод состоит из двух секций по 200 *см* каждая; первая из них идентична с волноводом У-12, вторая на всем протяжении имеет постоянную структуру. Питание секций производится от двух параллельно работающих магнетронов, которые синхронизируются малыми сигналами, отвесляемыми из тракта каждого магнетрона и подаваемыми на вход другого магнетрона. Ускоритель У-13 допускает плавную регулировку энергии ускоренных электронов в пределах 5—10 *Мэв* посредством перестройки фазовращателя перед входным трансформатором волны второй секции.

Ускоритель У-16. Ток пучка 200 *мкА*, энергия электронов регулируется в пределах 1—2 *Мэв*. Особенностью ускорителя является глубокая регулировка энергии при условии постоянства тока и при малом значении максимальной энергии. Поскольку при уменьшении входной мощности резко падает захват, энергия регулируется перестройкой частоты питания. Это потребовало создания весьма широкого полосного диафрагмированного волновода для устойчивой работы магнетрона во всем диапазоне перестройки. Были найдены законы изменения параметров V_{ϕ} и a/λ , обеспечивающие одновременно как плавность регулировки энергии, так и широкополосность согласования. Волновод имеет длину 100 *см* (52 ячейки); параметр нагрузки равномерно убывает в пределах 0,18—0,12; E возрастает от 9,9 до 38,9 *кв/см*. Энергия электронов меняется линейно от 2,1 до 1,0 *Мэв* при увеличении частоты на 8 *Мгц* от номинального значения. При этом спектр расширяется незначительно (от 7 до 9,5%) без потерь тока пучка.

Всего по заявкам нескольких организаций предполагается построить более 15 ускорителей описанных моделей в специализированных вариантах. Из этого числа почти половина ускорителей уже изготовлена и испытана.

О. А. Вальднер, А. А. Глазков

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Г. Пятнов, А. А. Глазков, С. П. Ломанов. Сб. трудов МИФИ «Некоторые вопросы инженерной физики», вып. 2, изд. МИФИ, 1957, стр. 65.
2. А. В. Шальнов, Б. Г. Пятнов, А. А. Глазков. Сб. трудов МИФИ «Линейные ускорители», изд. МИФИ, 1959, стр. 16.
3. А. Г. Трагов. Сб. трудов МИФИ «Ускорители», вып. 3, изд. МИФИ, 1962, стр. 148.

Центр ядерных исследований в Испре

Испра является самым крупным научно-исследовательским центром Евратома [1]. Центр создан в 1957 г. [2] Национальным комитетом по атомной энергии Италии (СНЕН) и в марте 1961 г. передан Евратому сроком на 99 лет. После передачи центра некоторые лаборатории и реактор «Испра-1» используются совместно итальянскими учеными и

учеными стран Евратома. Центр расположен на севере Италии в 20 *км* от Варессе.

В состав центра входят реактор «Испра-1» (использ.) и следующие лаборатории: реакторной физики, прикладной физики и математики, теоретической и экспериментальной нейтронной физики, регулирования реакторов, лаборатории по эксплуатации