

ДВУХЛУЧЕВОЙ БЕТАТРОН НА 30 МэВ

Ю. М. АКИМОВ, Г. Д. БРАСЛАВСКИЙ, В. И. ГОРБУНОВ

В настоящее время в промышленности широко используется метод неразрушающего контроля материалов и разнообразных изделий с помощью рентгеновских и гамма-лучей. Источниками этих излучений являются рентгеновские установки, радиоактивные изотопы и ускорители, из которых наиболее широко применяется бетатрон.

Применение бетатрона в качестве источника жесткого гамма-излучения высокой проникающей способности и большой интенсивности позволяет производить контроль материалов больших толщин при меньших затратах времени по сравнению с рентгеновскими установками и радиоактивными изотопами.

Надежность, повышение эффективности и экономичности, определение характера, размеров и глубин залегания дефектов, объемная интроскопия — вот основные требования, которые предъявляет промышленность к бетатронным установкам.

Стремясь к удовлетворению этих требований, в Томском политехническом институте спроектирован, изготовлен и запущен на излучение двухлучевой бетатрон на 30 МэВ.

Ниже представлено краткое описание бетатронной установки. В описываемом бетатроне Б-30/2, в отличие от предыдущих отечественных бетатронов, в один период питающего электромагнит тока происходит два цикла ускорения: первый — в положительном полупериоде, второй — в отрицательном. Использование первой и третьей четвертей периода дает возможность получить от бетатрона два пучка гамма-излучения. Пучки излучения двухлучевого бетатрона в зависимости от расположения мишеней и вариантов смещения могут идти параллельно в одну сторону, параллельно — в противоположные стороны, пересекаться.

Осуществление такого «двухлучевого» режима работы установки приводит к определенным преимуществам по сравнению с однолучевым режимом и дает возможность:

одновременного облучения двух объектов (жесткость каждого пучка может регулироваться);

увеличения поля облучения в два раза;

сокращения экспозиции облучения в два раза;

получения стереоснимков объекта с целью определения характера, размеров и глубины залегания дефекта;

объемного видения дефекта (стереоскопия).

Основными узлами бетатронной установки Б-30/2 являются:

1. Электромагнит бетатрона.

2. Конденсаторная батарея.
3. Механизм перемещения.
4. Пульт управления.
5. Вакуумная система, инжектор.

Электромагнит бетатронной установки состоит из магнитопровода и намагничивающих катушек. Магнитопровод выполнен из двух ярем. П-образной формы прямоугольного сечения, двух полюсов и центральных вкладышей, расположенных между полюсами. Все детали магнитопровода изготовлены из электротехнической стали Э-330 с толщиной листов 0,35 мм.

Межполюсное пространство характеризуется следующими параметрами:

- | | |
|--|-------------|
| 1. Показатель спада магнитного поля по радиусу | — 0,75. |
| 2. Радиус равновесной орбиты | — 24,5 см. |
| 3. Зазор на радиусе равновесной орбиты | — 8,5 см. |
| 4. Радиус центрального плато полюсов | — 17 см. |
| 5. Зазор между полюсами в центральной части | — 6,5 см. |
| 6. Размер рабочей зоны по радиусу | — 15 см. |
| 7. Индукция на равновесной орбите | — 4300 Гс. |
| 8. Индукция в центральной части | — 13500 Гс. |

Охлаждение электромагнита бетатрона осуществляется с помощью вентилятора, прикрепленного к нижнему ярму электромагнита.

Конденсаторная батарея предназначена для компенсации реактивной мощности электромагнита. Общая мощность конденсаторной батареи — 1600–2000 квар.

Бетатрон установлен на механизме перемещения, обеспечивающем перемещение бетатрона в вертикальном направлении на расстоянии 1 м;

поворот вокруг горизонтальной оси на угол $\pm 30^\circ$;

перемещение бетатрона по рельсовому пути в направлении пучков гамма-излучения.

Пульт управления бетатронной установки предназначен для размещения контрольно-измерительной аппаратуры и органов управления работой бетатрона, выполнен в виде двухтумбового стола с вертикальной панелью, соединяется с бетатроном и механизмом перемещения экранированными кабелями.

Вакуумная система состоит из вакуумной камеры и откачного устройства. Вакуумная камера, в которой происходит ускорение электронов, имеет форму тороида с внешним диаметром 670 мм и внутренним — 350 мм. Камера изготовлена из фарфоровых секторов, склеенных между собой эпоксидной смолой. Толщина стенок камеры 6–6,5 мм. Вакуумная камера имеет 6 патрубков для соединения с откачной системой, установки инжекторов, мишеней, щупов и других устройств.

На внутренней поверхности камеры нанесен полупроводящий слой из окиси олова. Откачная система состоит из диффузионного насоса типа Н-5, форвакуумного насоса типа РВН-20 и титанового насоса. Рабочий вакуум в камере $2 \div 5 \times 10^{-6}$ мм. рт. ст.

Инжекторы представляют из себя трехэлектродные системы (катод, фокусирующий цилиндр и анод-инжектор Керста).

Двухлучевой режим работы бетатронной установки обеспечивается двумя идентичными, электрически не связанными каналами. Каждый канал включает:

1. Датчик нуля поля (пикер).
2. Схему синхронизации со стабилизацией интенсивности и энергии излучения.
3. Схему инжекции и инжектор.

4. Схему смещения электронов.

5. Устройство для индикации пучка гамма-излучения.

Такое распределение каналов облегчает эксплуатацию установки в двухлучевом режиме, дает возможность работать в однолучевом режиме и в случае неисправности в каком-нибудь канале легко переходить на работу второго канала. В этом смысле можно говорить о повышении надежности бетатронной установки в целом.

Основные трудности при запуске бетатрона в двухлучевом режиме возникают при инжекции электронов и смещении их с равновесной орбиты на мишени. Сам процесс ускорения электронов при работе бетатрона в двухлучевом режиме существенно не отличается от ускорения электронов в однолучевом режиме.

Для того, чтобы обеспечить ускорение электронов в отрицательном и положительном полупериодах питающего напряжения, необходимо инжектировать электроны в противоположных направлениях: в один полу-период по часовой стрелке, в другой — против часовой стрелки.

Такая инжекция осуществляется использованием двух независимых инжекторов. Применение одного сложного инжектора, состоящего из анода с двумя щелями, двух фокусирующих цилиндров и двух катодов усложняет эксплуатацию установки и требует для получения номинальной интенсивности добавочного управления оптикой инжекторов.

Радиальное расположение инжекторов выбирается на основании запуска ускорителя в однолучевом режиме и уточняется экспериментально при работе в двухлучевом режиме (радиус установки инжекторов 290 мм).

Расположение инжекторов по азимуту определяется заданной сходимостью пучков. Для получения пучков излучения, сходящихся на расстоянии 1 м от центра электромагнита, угол между инжекторами должен быть 148° , на расстоянии 3 м — 169° .

Такая инжекция при помощи двух независимых инжекторов приводит к некоторому ухудшению условий захвата электронов в ускорение и снижению интенсивности примерно на 10% на каждом луче по сравнению с однолучевым режимом, что восполняется удобствами при настройке на излучение и эксплуатации ускорителя.

Смещение электронов с равновесной орбиты в однолучевом режиме (в камере один инжектор) просто осуществляется пропусканием импульса тока через центральную смещающую обмотку, расположенную на блоке вкладышей.

В результате перераспределения магнитного поля электроны, разворачиваясь по спирали, так или иначе попадают на мишень инжектора. При работе ускорителя в двухлучевом режиме (в камере два инжектора) применение центральных смещающих обмоток приводит к тому, что смещенные с равновесной орбиты электроны попадают на мишени обоих инжекторов. Подбирая величину импульсов тока через обмотку, можно направить большинство электронов каждого луча соответственно на свои мишени, но чистого разделения пучков получить не удается.

Применение секторных смещающих обмоток приводит к расфокусировке пучка электронов, перераспределению излучения в пространстве и значительному снижению интенсивности на оси луча ускорителя.

Совместное применение центральных и секторных смещающих обмоток позволяет разделить пучки электронов по мишеням. Обмотки соединяются последовательно; соотношение витков обмоток подбирается экспериментально. Центральные обмотки с протяженностью секторов 120° размещаются над и под ускорительной камерой, причем середины секторных обмоток лежат примерно на азимутах инжекторов.

В настоящее время двухлучевой бетатрон Б-30/2 эксплуатируется при следующих основных технических характеристиках:

1. Бетатрон дает два независимых пучка гамма-излучения.
 2. Максимальная энергия тормозного излучения — 30 Мэв. Предусмотрена возможность плавного изменения энергии излучения от 3 до 30 Мэв с точностью $\pm 10\%$.
 3. Мощность дозы тормозного излучения на расстоянии 1 м от мишеней не менее 150 р/мин на каждом луче.
 4. Геометрия пучков излучения: расстояние между мишенями 580 мм, угол между осями пучков 11° , оси пучков излучения пересекаются на расстоянии 3000 мм от центра электромагнита.
 5. Стабильность мощности дозы и энергии излучения не хуже 5% при изменении питающего напряжения на $\pm 10\%$ от номинального.
 6. Длительность работы: при непрерывном режиме работ, температуре окружающего воздуха не выше 30° и относительной влажности 70% не менее 10 часов.
 7. Потребляемая мощность — 40 кВт.
-