

## ОСОБЕННОСТИ БЕТАТРОНОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ И ИНТРОСКОПИИ

В. В. ЕВСТИГНЕЕВ, Б. А. КОНОНОВ, В. Н. РУДЕНКО

(Представлена объединенным семинаром НИИ ЭИ  
и физико-технического факультета)

### Введение

Применение бетатронов в качестве источника электронов высокой энергии в радиационной дефектоскопии накладывает ряд специфических требований к конструкции ускорителя.

Применение бетатрона в условиях заводских лабораторий неразрушающего контроля требует сведения к минимуму веса и габаритов установки, а также высокую надежность работы установки, удобство настройки и ремонта.

В то же время электронная дефектоскопия имеет преимущества при контроле материалов и изделий сравнительно небольшой толщины (до нескольких см) и, как правило, небольшого веса, то удобнее эти изделия приближать для контроля к ускорителю, а не наоборот, что позволяет изготавливать бетатрон в стационарном варианте.

В НИИ электронной интроскопии разработано несколько видов бетатронов с выведенным электронным пучком, предназначенным для электронной дефектоскопии и интроскопии, которые в настоящее время успешно эксплуатируются в лабораторных и заводских условиях.

### Энергия электронов

Выбор энергии электронов определяется максимальной массовой толщиной  $t$  подлежащих контролю изделий по выражению [1]:  $t = (0,6 \div 0,9) R_s = (0,6 \div 0,9) 0,53 - 0,1 - (2,5E + 1) (Z - 13) 10^{-3}$ , где  $t$  — в  $г/см^2$ ,  $E$  — в Мэв.

Коэффициент  $(0,6 \div 0,9)$  показывает, что для получения максимальной чувствительности используется наиболее крутой участок переходной кривой распределения поглощенной энергии электронов в веществе. Обычно рассматриваются композитные изделия типа пластмасса-металл или биметаллические, причем в первом приближении для определения  $t$  берут суммарную массовую толщину. Для выявления трещин, располагающихся под углом порядка  $45^\circ$  к поверхности изделия, энергия электронов выбирается из равенства их экстраполированного пробега толщине просвечиваемого материала  $t \leq R_s$ , т. е. менее, чем при выявлении другого вида дефектов или разноплотности.

Существенным ограничением используемой энергии электронов является фон рассеянного тормозного излучения от ускорителя, для защи-



ты от которого при увеличении энергии требуется все большая толщина стен, что усложняет практическое использование бетатрона.

Значительное увеличение веса установки и ее габаритных размеров также ухудшает эксплуатационные характеристики бетатрона при больших энергиях электронов. Однако там, где бетатрон с энергией до 30÷35 Мэв используется так же, как источник тормозного излучения для просвечивания изделий большой толщины (десятки см для стали), существенным фактором расширения его возможностей является вывод и использование для целей дефектоскопии электронного пучка.

В случае использования только электронного пучка наибольшее практическое применение нашли бетатроны на энергию до 6, 7,5 и 10 Мэв.

### Электромагнит

Для электронной дефектоскопии и интроскопии применяется конструкция электромагнита Ш-образного типа, хотя известно, что многоступенчатая конструкция бетатрона как, например, у ПМБ-6, обладает гораздо меньшим весом и габаритами.

Однако, как показали исследования [2], электронный пучок, выведенный из ПМБ-6, имеет сравнительно малую интенсивность электронного пучка и большую угловую расходимость, что затрудняет его практическое использование в дефектоскопии.

Ш-образная конструкция магнитопровода бетатронов на 6, 7,5 и 10 Мэв, разработанных в НИИ электронной интроскопии при ТПИ, создает свободный доступ к ускорительной камере, что существенно для настройки бетатрона, позволяет устанавливать вблизи выводного окна объекты больших размеров и дает возможность расположения фокусирующих магнитных линз на минимальном расстоянии от выводного окна, т. е. обеспечивает дальнейшее нужное формирование электронного пучка. Полюса бетатрона изготавливались с насыщающимися козырьками и проточкой по высоте, в которой над козырьками помещаются намагничивающие катушки. Высота полюса выбиралась таким образом, чтобы катушки выступали за наружный диаметр полюсов не более чем на 1—3 см, что существенно уменьшает величину рассеянного магнитного поля в месте вывода электронного пучка из ускорительной камеры. Благодаря этому электронный пучок удается вывести под углом 70° относительно продольной оси ярма, причем угловая расходимость пучка на выходе не превышает 3—5° в горизонтальной плоскости.

Уменьшение за счет проточек диаметра полюсного сердечника приводит к тому, что индукция в полюсе составляет 16 кгс для стали Э-330, однако, как показали экспериментальные исследования, нагрев полюсов и катушек был в пределах допустимых норм. Намагничивающие катушки изготавливались по принципу автотрансформатора, когда первичная обмотка представляет собою часть вторичной.

Импульсная система питания бетатрона [3] позволяет еще сократить размеры намагничивающих катушек и магнитопровода, что использовано в бетатроне на 7,5 Мэв.

### Ускорительная камера

Если отпаянная вакуумная камера имеет преимущества перед камерой с постоянной откачкой или полуотпаянной в смысле простоты установки управления и количества приборов, обеспечивающих ее работу, то отпаянная или полуотпаянная камера удобна для установки в ней



выводного конденсатора, тонкого окна для вывода электронов (порядка  $13 \text{ мг/см}^2$ ) и смены вышедших из строя инжекторов.

В бетатронах на 6 и 7,5 Мэв с выводом электронного пучка используется керамическая полуотпаянная камера с титановым насосом внутренней апертурой  $50 \times 85 \text{ мм}$  (площадь сечения  $40 \text{ см}^2$ ), что позволяет ускорить в импульсе  $4 \cdot 10^9$  частиц. При эффективности вывода не хуже 50% средний ток электронного пучка на выходе из ускорительной камеры составляет  $10^{10}$  частиц/сек при размерах пятна  $5 \times 10 \text{ мм}$ .

Выводящий конденсатор имеет длину отсекающей пластины 8 см и помещается на азимуте  $130^\circ$  по отношению к выводному окну. Благодаря несимметричному смещению электронов, с равновесной орбиты путем применения секторной и центральной обмоток в ускорительной камере можно устанавливать прямой инжектор типа Керста, что улучшает условия захвата электронов в ускорение по сравнению с подорбитными инжекторами, применявшимися ранее на бетатронах с выводом электронного пучка.

На бетатроне 10 Мэв применение высоковольтного инжектора на 150 кВ, разработанного в НИИ ЯФ ЭА при ТПИ Окуловым Б. В., позволило увеличить интенсивность электронного излучения на порядок по сравнению с применением инжектора Керста на 50 кВ.

### Формирование пучка электронов

Для электронной дефектоскопии и интроскопии необходимо, чтобы пучок был сформирован по заданному пространственному, временному и энергетическому распределению. Исследования динамики движения электронов как в радиальной, так и в аксиальной плоскостях показали [4], что при выводе электронов из бетатрона при наложении возмущающих секторных магнитных полей электроны группируются по фазам и амплитудам колебаний в несколько пучков и выходят из ускорителя на определенных азимутах. Выбирая параметры возмущающего поля, получаем из бетатрона два или три пучка электронов с равномерной плотностью. Пространственное распределение электронов определяет также и их временное распределение. Экспериментально это подтверждается получением различной формы импульса излучения. Изменением параметров возмущающего поля можно добиться получения от одного до нескольких максимумов в картине временного распределения электронов, что обусловлено разделением пучка электронов и их группировкой по фазам и орбитам.

Регулировкой режимов работы бетатрона энергетический спектр электронов, выведенных из бетатрона, изменяется в пределах от 1 до 5% [5].

### Основные характеристики бетатронов для электронной дефектоскопии и интроскопии

1. Энергия электронов, Мэв	6	7,5	10
2. Вес электромагнита, кг	350	300	700
3. Средний ток выведенных электронов, частиц/сек	$1 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{10}$	$10^{11}$
4. Площадь сечения ускорительной камеры	$40 \text{ см}^2$	$40 \text{ см}^2$	$55 \text{ см}^2$
5. Потребляемая мощность, кВ	1,5	1,5	3
6. Питание электромагнита	50 гц	25—100 гц	50 гц
	непрерывное	импульсное	непрерывное
	от сети 220 в	управляемое	от сети 220 в
7. Толщина просвечивания, г/см <sup>2</sup>	3	3,7	5



Во всех установках пульт управления бетатроном совмещен с пультом дефектоскопа.

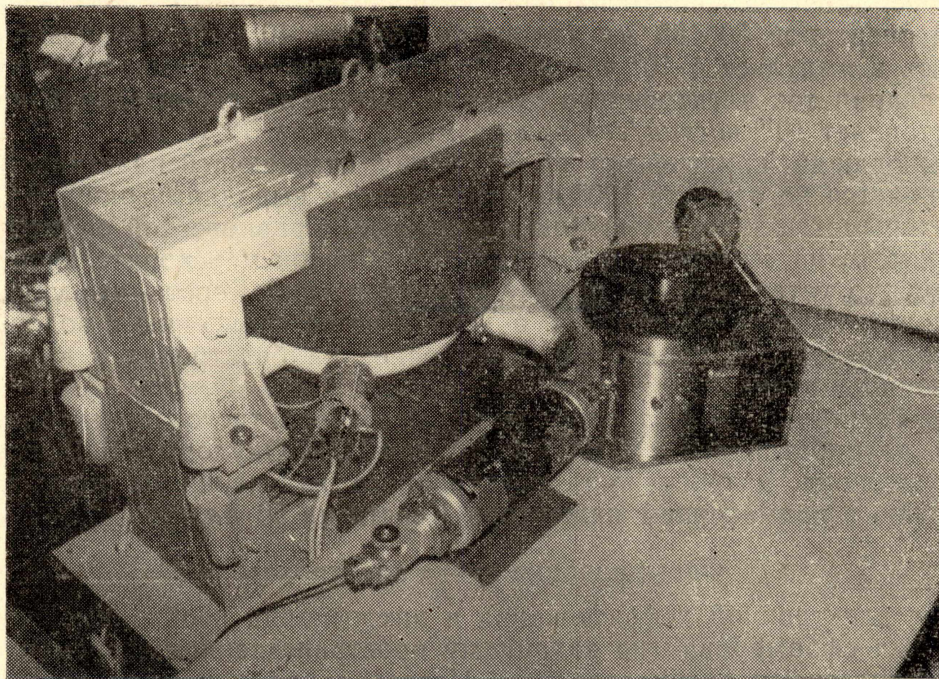


Рис. 1. Внешний вид бетатрона на 6 Мэв с выводом электронного пучка

Внешний вид бетатрона на 6 Мэв, являющийся источником излучения в электронном дефектоскопе для контроля толщин до  $3 \text{ г/см}^2$ , представлен на рис. 1.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Кононов. Дефектоскопия. 1968, № 4. 77.
2. Б. А. Кононов, В. И. Соломатин. В сб. «Электронные ускорители». Труды VII межвузовской конференции по электронным ускорителям. Вып. 2. М., Атомиздат, 1970, стр. 36.
3. В. В. Ивашин. В сб. «Электронные ускорители». Труды VI межвузовской конференции по электронным ускорителям. Вып. 3, М., Атомиздат, 1970, стр. 27.
4. Б. А. Кононов, В. В. Евстигнеев. Труды международного симпозиума по бетатронам. Бухарест, 1972.
5. Б. А. Кононов, В. В. Евстигнеев. Труды межвузовской конференции по радиационным методам неразрушающего контроля. Томск, 1968.