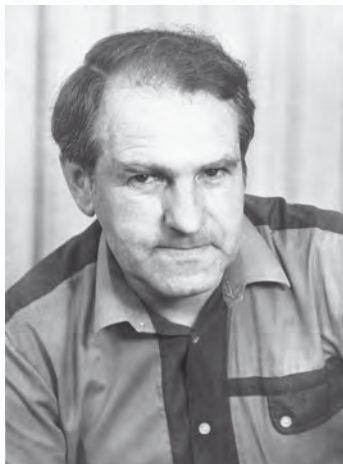


НЕТРАДИЦИОННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗЖЕЛЕЗНОГО ИМПУЛЬСНОГО БЕТАТРОНА

А. Д. ТАРАСОВ



А. Д. Тарасов

Бетатрон — это циклический индукционный ускоритель, в котором пучок электронов, двигающийся на стационарной круговой орбите радиусом R_0 , ускоряется вихревым электрическим полем, возбуждаемым пронизывающим орбиту переменным магнитным потоком. На орбите электроны удерживаются ведущим магнитным полем. Устойчивость относительно малых отклонений от орбиты обеспечивается специальным пространственным распределением магнитного поля, которое достаточно медленно спадает по радиусу в окрестности орбиты. При случайных малых отклонениях электронов от орбиты возникают возвращающие силы, величина которых пропорциональна отклонению. Движение в поле таких сил носит колебательный характер. Эти колебания называются бетатронными.

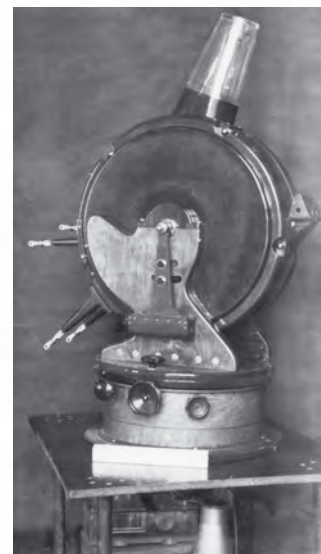
Предварительно ускоренные в специальном устройстве-инжекторе электроны впрыскиваются в ускорительную камеру вблизи границы области устойчивости. Для предотвращения потерь пучка из-за рассеяния на молекулах газа ускорение пучка электронов ведется в вакууме. Темп ускорения электронов задается скоростью изменения магнитного поля. При ускорении, чтобы набрать энергию порядка десятков мегаэлектронвольт, электроны, вращаясь по орбите, пробегают расстояние в десятки и сотни километров.

Используется либо сам пучок ускоренных электронов, либо этот пучок смещается на мишень (из тантала или вольфрама), торможение электронов на которой сопровождается генерацией жесткого тормозного рентгеновского излучения. Смещение пучка на мишень проводится методом искажения осесимметрии магнитного

поля с помощью специальной обмотки сброса, через которую в конце процесса ускорения разряжается небольшая малоиндуктивная конденсаторная батарея.

Первый работающий бетатрон был создан лишь в 1940 г. Д. Керстом. В традиционных бетатронах электромагнит выполняется с использованием массивного ферромагнитного сердечника, обеспечивающего магнитное поле в межполюсном пространстве. Такие бетатроны обычно работают в периодическом режиме. В 1950-х гг. под руководством А. И. Павловского в РФЯЦ-ВНИИЭФ были разработаны безжелезные импульсные бетатроны, пространственное распределение поля в которых формируется системой токнесущих витков, соединенных последовательно. Токи в этих витках обеспечиваются разрядом конденсаторной батареи. Такие бетатроны дают только один импульс излучения. Их особенность — высокая энергия ускоренных электронов, при торможении которых в мишени генерируемое тормозное излучение относится уже к γ -диапазону.

В 1954 г. академик А. И. Павловский, будучи начальником группы сектора 4 (ныне — ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ), предложил использовать тормозное излучение быстрых электронов для рентгенографирования быстропротекающих процессов в газодинамических взрывных экспериментах по отработке макетов образцов ядерных зарядов. С 1947 г. в таких экспериментах использовались импульсные рентгеновские устройства. Импульс излучения, генерируемый в необходимый момент времени, просвечивал макет, а теневое изображение



Бетатрон типа БИМ-117



Создатели первых БИМов. Слева направо: А. И. Павловский, Е. Г. Дубинов, В. О. Кузнецов. Верхний ряд: А. П. Клементьев, Г. В. Склизков, А. Д. Тарасов

макета фиксировалось на рентгеновской пленке, которая размещалась в специальной кассете. Импульс излучения был очень коротким, поэтому изображение движущихся под действием взрыва деталей макета не успевало расплываться. Совершенствование таких устройств дало возможность просвечивать в экспериментах, проводимых во ВНИИЭФ, 70 мм свинца на расстоянии 1 м от источника, но это не позволяло просвечивать полномасштабные макеты.

В 1951 г. в Харьковском физико-техническом институте начали разрабатывать импульсный линейный ускоритель электронов. В 1958 г. он был смонтирован на внутреннем полигоне сектора 3 (ныне — ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ) и начал применяться в экспериментах. В результате в 1 м от источника было просвечено 90 мм свинца.

Вместе с тем, с 1955 г., в группе А. И. Павловского началась разработка новой модификации индукционного ускорителя электронов — безжелезного бетатрона. Это направление активно поддерживали Ю. А. Зысин — начальник отдела сектора 4 и Д. М. Тарасов — начальник отдела сектора 3. В 1959 г. была разработана и установлена на полигоне гаммаграфическая установка типа БИМ-3Г (бетатрон импульсный малогабаритный). За разработку и внедрение в практику газодинамических исследований установок типа БИМ в 1963 г. была присуждена Ленинская премия Ю. А. Зысину, Г. Д. Кулешову, А. И. Павловскому, Г. В. Склизкову, Д. М. Тарасову. Но, кроме этого основного применения, БИМы могли использоваться и использовались для решения некоторых побочных задач.

Я хочу рассказать об одном таком случае нетрадиционного применения ускорителя. В 1966 г. в Научно-исследовательском институте импульсной техники (НИИИТ, г. Москва), потребовался импульсный источник для проверки датчиков γ -излучения и отбора их по принципу одинаковости и стабильности выходных сигналов. По результатам калибровки предполагалось использовать датчики на испытательных полигонах. Поэтому к такому источнику γ -излучения предъявлялись следующие требования: стабильность основных параметров (интенсивность излучения, форма и длительность импульса), надежность, транспортабельность, длительный срок службы. Некоторые из этих требований были для нас новыми.

А. И. Павловский предложил создать такой источник на основе электромагнита импульсного бетатрона типа БИМ-117 ($R_0 = 117$ мм), разработанного для использования в экспериментах с макетами. Этот бетатрон — с отпаянной вакуумной камерой, внутри которой располагались инжектор и мишень, имел небольшие размеры. В крышке корпуса электромагнита размещалась обмотка сброса. Требуемая для калибровочного источника энергия электронов и соответственно энергия тормозного излучения была небольшой (несколько единиц мегаэлектронвольт), поскольку не нужно было просвечивать больших толщин. Это давало возможность значительно уменьшить энергоемкость и габариты высоковольтной конденсаторной батареи для питания электромагнита (в БИМ-117, применяемых для газодинамических исследований, электроны ускорялись до 70 МэВ, поэтому использовалась достаточно крупногабаритная конденсаторная батарея).

Начальник лаборатории электронных ускорителей Г. Д. Кулешов и его сотрудники провели детальные расчеты узлов и выполнили эскизный проект установки. Начальник группы электроники В. П. Царев и ведущий сотрудник этой группы Б. Г. Кудасов разработали схемы пульта управления для этой новой установки.

После обсуждения результатов расчетов, эскизного проекта и схем пульта управления сначала на научно-техническом семинаре в отделе Г. Д. Кулешова, а затем на совещании у начальника отдела А. И. Павловского, сотрудники лаборатории и группы электроники разработали конструкторскую документацию на все узлы и детали.

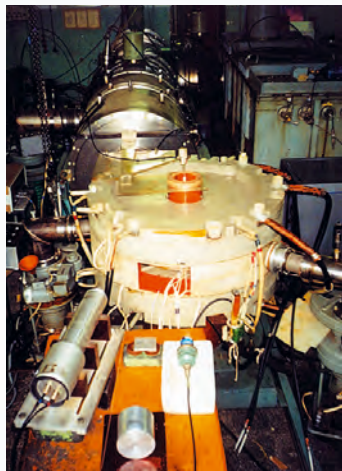
Высоковольтные устройства установки были размещены в двух заполненных трансформатор-

ным маслом герметичных корпусах, не требующих ежедневного обслуживания. В первом из них был блок сброса пучка электронов на мишень (для подачи в необходимый момент времени питания на обмотки сброса, расположенные в крышке электромагнита БИМ-117), высоковольтный импульсный блок питания инжектора и трансформатор накала спирали катода инжектора. Во втором корпусе — конденсаторная батарея питания электромагнита БИМа. Электромагнит БИМ-117 с вакуумной камерой был размещен на крышке первого корпуса. Малогабаритный пульт управления (площадь его основания была сравнима с площадью верхней части стандартного табурета) имел два режима работы: одиночный от кнопки и автоматический (при включении соответствующего тумблера). Фактически была разработана новая установка.

Все узлы разработанного источника были оперативно изготовлены в ИЯРФ. Затем в лаборатории произведен монтаж узлов в корпусах с последующим заполнением их трансформаторным маслом и герметизацией, на первом корпусе закреплен электромагнит от БИМ-117 и выполнены необходимые соединения частей установки, а в группе электроники — монтаж и настройка пульта управления. В 1967 г. установка была введена в эксплуатационный режим.

Созданный источник γ -излучения соответствовал всем заданным требованиям. Он был транспортабельным. Стабильность импульса излучения была отличной: при открытом затворе фотоаппарата регистрировались десять следующих друг за другом импульсов. Их форма, амплитуда и длительность совпадали с изображением единичного импульса. Представители заказчика привезли к нам свои датчики γ -излучения. Вместе с ними мы произвели калибровку этих датчиков с помощью нашей установки. Требуемые результаты были получены. Затем наш источник γ -излучения был доставлен в НИИИТ, где был сдан в эксплуатацию. На всех этапах работы активное участие в ней принимали А. Д. Тарасов, В. О. Кузнецов и В. А. Мишин.

Ускоритель успешно работал в НИИИТ. Через 2 года мы поменяли в нем ускорительную камеру и вновь настроили бетатрон. Известно,



Современный ускоритель типа БИМ-234

что после этого ускоритель работал еще в течение нескольких лет.

Сразу после выполнения работы по созданию калибровочного источника сотрудники лаборатории включились в процесс разработки новых установок для гаммаграфических исследований. Если разработанная в 1965 г. установка БИМ-234-500 ($R_0 = 234$ мм) просвечивала 180 мм свинца на расстоянии 1 м, то созданный в 1971 г. БИМ-234-2000Г просвечивал уже более 200 мм.

В 1971 г. А. И. Павловский, возглавивший сектор 4, продолжал руководить и отделом. Вместе с Г. Д. Кулешовым и другими

ведущими сотрудниками он обосновал возможность создания линейных импульсных ускорителей типа ЛИУ на радиальных формирующих линиях с водяной изоляцией. Это стало новым направлением в разработке импульсных ускорителей электронов.

А работы по дальнейшему совершенствованию безжелезных импульсных бетатронов возглавил Ю. П. Куропаткин. Им был разработан электромагнит, образованный двухслойной многозаходной спиральной обмоткой. В импульсном бетатроне нового поколения в диоде инжектора был применен катод со взрывной эмиссией, разработан метод повышения эффективности захвата электронов в ускорение. В результате ток ускоряемого в бетатроне пучка электронов был увеличен до 300 А (в БИМах первого поколения этот ток не превышал 30 А). На основе нового электромагнита Ю. П. Куропаткиным и начальником конструкторской группы Д. И. Зенковым с сотрудниками был создан ряд установок, генерирующих короткие импульсы тормозного излучения. Они применяются и до сих пор в экспериментах по отработке макетов и других взрывных опытах.

В настоящее время работы под руководством Ю. П. Куропаткина по созданию новых бетатронных приборов продолжаются в Научно-техническом центре физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучения (НТЦФ).

ТАРАСОВ Алексей Диодорович —
начальник группы ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ