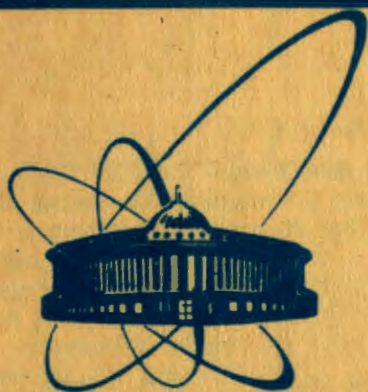


83-711

216/XII-83



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

6789/83

9-83-711

В.Т.Руденко, В.Л.Смирнов

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИБР-30
ПОСЛЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ИНЖЕКТОРА -
ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ

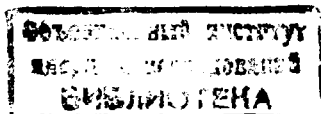
1983

1. С 1970 г. импульсный реактор ИБР-30 Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований работает в режиме размножения нейтронов, образующихся при взаимодействии электронов линейного ускорителя ЛУЭ-40 с нейтронопроизводящей мишенью, расположенной в активной зоне. Конструкция и принцип работы установки описаны в/1/.

Установка является импульсным нейтронным источником и применяется для ядерно-физических исследований по методу времени пролета/2/. В настоящее время установка модернизируется с целью улучшения параметров. В основном модернизация касается инжекторной части - линейного ускорителя электронов и выполняется совместно с НИИЭФА им. Д. В. Ефремова/3/. Параметры установки до и после модернизации приведены в столбцах 2 и 3 таблицы. Переход на более совершенный ускоритель, который мы планируем осуществить в конце 1983 г., в сочетании с использованием нейтронопроизводящей мишени из делящегося материала позволяет в 20-25 раз повысить эффективность установки как спектрометра. При этом амплитудное значение интенсивности нейтронов увеличивается в десять раз и достигнет значения $1 \cdot 10^{19}$ н/с. Параметры будут улучшены и снижением времени жизни мгновенных нейтронов с 16 до 10 наносекунд, что можно сделать путем удаления вольфрамового отражателя. В результате повысится и яркость нейтронов, покидающих замедлитель, за счет его приближения к активной зоне.

2. Ожидаемые параметры после модернизации ИБР-30 в режиме размножения не являются предельными. Имеются различные пути их улучшения. Анализ показал, что для дальнейшего повышения эффективности установки наиболее перспективно повышение энергии электронов с одновременным сокращением длительности импульса. Положительный эффект достигается за счет увеличения числа нейтронов, генерируемых электронами/4/.

Известны различные способы увеличения энергии электронов в линейных ускорителях. Традиционный способ - добавление ускоряющих секций с источниками СВЧ питания. Его реализация в условиях ИБР-30 при вертикальной компоновке ускорителя потребует капитальной переделки всей установки. С аналогичными трудностями связана реализация другого способа - рециркуляции электронного пучка с повторным запуском его в те же ускоряющие секции. Еще одна возможность повышения энергии электронов - увеличение выходной импульсной мощности источников СВЧ питания ускоряющих секций. Но и ее нельзя осуществить из-за отсутствия более мощных клистронов, чем те, которые уже работают в составе ЛУЭ-40.



Таблица

Параметр	2	3	4	5	6
Импульсный ток, А	0,2	0,6	0,6	0,6	0,6
Энергия электронов, МэВ	35	42	42	42	71
Длительность импульса электронов, мкс	1,6	1,3	1,3	3,4	0,1
Частота импульсов, с ⁻¹	100	100	25	12	500
Амплитудная интенсивность нейтронов мишени, $\times 10^{17}$ нс ⁻¹	0,133	1,50	1,50	1,50	3,4
Размножение	200	199	350	270	8
Средняя интенсивность нейтронов реактора, $\times 10^{15}$ нс ⁻¹	0,425	2,0	1,7	1,7	0,13
Импульсная интенсивность нейтронов реактора, $\times 10^{19}$ нс ⁻¹	0,105	1,12	1,64	2,94	0,19
Длительность импульса реактора, мкс	4,06	1,82	4,19	4,76	0,14
Параметр качества, $\times 10^{26}$ нс ⁻³	0,26	6,16	0,97	0,75	69

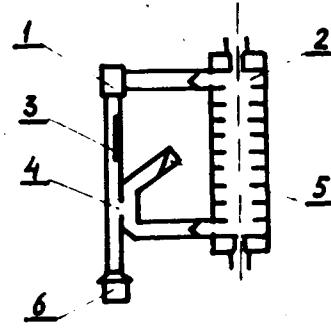


Рис.1. Ускоряющая секция с системой РБВ. 1 - турникетное соединение, 2 - ускоряющий волновод, 3 - фазовращатель, 4 - щелевой волноводный мост, 5 - водяная нагрузка, 6 - клистрон.

Наиболее выгодным представляется оснащение ускорителя накопительными СВЧ системами, позволяющими за счет сокращения длительности выходного СВЧ импульса увеличить его амплитуду. При этом сразу решаются обе задачи: сокращается длительность электронного импульса ускорителя и одновременно повышается энергия электронов.

Накопительная СВЧ система с резонаторами бегущей волны /система РБВ/ содержит в своей схеме ускоряющую секцию /рис.1/, которая имеет довольно большое время затухания. По этой причине максимальное увеличение амплитуды СВЧ импульса не может быть более 1,4 при условии, что длительность импульса генератора достаточна для установления постоянной амплитуды колебаний в резонаторе. Если же генератор имеет короткий импульс, то увеличение амплитуды меньше указанной величины.

Большее увеличение амплитуды СВЧ импульса можно получить с помощью накопительной системы с резонаторами стоячей волны /система РСВ/. Эффект увеличения амплитуды заключается в сложении после окончания времени накопления волны генератора, сдвинутой по фазе на 180° , и волны, излучаемой резонаторами.

Подобная система внедрена на Станфордском линейном ускорителе /5/, схема ее приведена на рис.2. Система содержит два объемных резонатора, имеющих собственную добротность 10^5 и включенных в волноводный тракт через щелевой мост, а также быстродействующий фазоинвертор, который может быть включен на входе предоконечного усилительного клистрона для уменьшения проходящей через него СВЧ мощности. При длительности импульса генератора 5 мкс накопительная система позволила увеличить амплитуду рабочей части импульса в 1,8 раза за счет сокращения длительности выходного импульса до 0,8 мкс при времени накопления 4,2 мкс.

Длительность импульса СВЧ питания ЛУЗ-40 сравнительно мала и составляет 2,2 мкс. Расчеты показывают, что применение системы РСВ может дать увеличение рабочей амплитуды СВЧ импульса длительностью 0,1 мкс не более чем в 1,3 раза при добротности резонаторов $7 \cdot 10^4 - 10^5$. В настоящее время ведутся работы в направлении создания системы РСВ, обладающей повышенной эффективностью. Возможности реализации такой системы проверяются расчетами и экспериментальными исследованиями на макете.

Расчетные параметры ИБР-30 в режиме размножения с использованием системы РСВ и с учетом нагрузочной характеристики ускорителя /рис.3/ приведены в 6-м столбце таблицы. Длительность

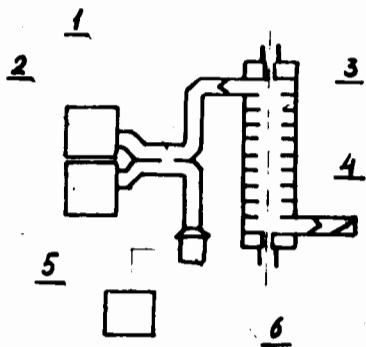
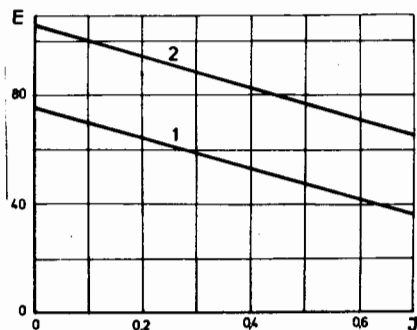


Рис.2. Ускоряющая секция с системой РСВ. 1- щелевой волноводный мост, 2 - накопительные объемные резонаторы, 3 - ускоряющий волновод, 4 - водяная нагрузка, 5 - быстродействующий фазоинвертор, 6 - клистрон.

Рис.3. Нагрузочные характеристики ускорителя ЛУЭ-40 после его модернизации. Е - энергия электронов, МэВ; J - импульсное значение тока ускоренных электронов, А; 1 и 2 - для уровня СВЧ мощности 16 и 32 МВт в каждой секции соответственно.



электронного импульса ускорителя, как инжектора ИБР-30, не может быть очень короткой. Мы выбрали его длительность равной 0,1 мкс, ей соответствует оптимальное размножение 9. При таких низких размножениях не требуется модуляции реактивности для снижения фона между импульсами. С возрастанием амплитуды СВЧ питания соответственно увеличивается и электрический градиент в ускоряющих волноводах, но он не превышает допустимой величины для изготавливаемых в НИИЭФА высококачественных волноводов /6/. Кроме того, условия работы волноводов в нашем случае облегчаются сокращением длительности СВЧ импульса. В экспериментах с быстрыми нейтронами и короткими нейтронными импульсами частоту следования последних можно повысить без увеличения фона рециклических нейтронов. Мы взяли для расчета частоту 500 герц. Как следует из таблицы, эффективность установки повышается в ~10 раз /столбцы таблицы 6-й и 3-й/, а по отношению к действующей в настоящее время в ~250 раз. При частотной расстройке накопительных резонаторов система пропускает энергию СВЧ импульса без изменений, то есть можно оперативно переходить с режима полной длительности электронного импульса /3-й столбец таблицы/ на режим укороченного импульса с увеличенной энергией электронов /6-й столбец таблицы/, оперативно изменяя тем самым параметры спектрометра в зависимости от требований конкретных экспериментов.

3. Высокая частота повторения нейтронных импульсов ограничивает использование режима размножения ИБР-30 для экспериментов

по времени пролета с медленными нейтронами вследствие фона рециклических нейтронов. Непосредственно снижать частоту импульсов инжектора невыгодно, так как пропорционально снижается средняя интенсивность пучка нейтронов. Во время работы ИБР-30 в режиме импульсного реактора снижение частоты повторения импульсов компенсируется естественным для реактора повышением их энергии и средняя мощность реактора сохраняется.

В режиме размножения частоту нейтронных импульсов также можно снизить без потери интенсивности, если использовать, как нетрудно показать, сильную зависимость средней мощности реактора от длительности электронного импульса инжектора /3/:

$$W = \frac{0,8 S n}{\tau} T^2.$$

Здесь S, T, n, τ - амплитудное значение интенсивности нейтронов, длительность, частота повторения импульсов инжектора и время жизни нейтронов соответственно.

В свою очередь, мощность ускоренных электронов инжектора $W_э = J E T n / J$ и E - ток и энергия электронов /зависит от длительности импульса линейно, поэтому энергетические соотношения в ускорителе и в системе его электропитания не препятствуют удлинению электронных импульсов при одновременном снижении частоты их повторения.

В 5-м столбце таблицы приведены расчетные параметры ИБР-30 в режиме размножения с увеличенным до 3,4 мкс электронным импульсом. При частоте импульсов 12 герц и номинальной средней мощности реактора длительность нейтронного импульса составляет 4,8 мкс.

Частоту нейтронных импульсов можно также уменьшить, компенсируя снижение мощности повышенным сверх оптимального уровня размножения. Повышенное размножение затягивает спад импульса, увеличивается соответственно и его длительность, но это несущественно для импульса тепловых нейтронов, форма которого определяется в основном замедляющей кассетой.

В 4-м столбце таблицы приведены в качестве примера расчетные параметры ИБР-30 при работе на частоте 25 герц с повышенным размножением для сохранения номинальной интенсивности пучка нейтронов. При размножении 350 длительность импульса составляет 4,2 мкс.

Первый способ снижения частоты импульсов предпочтительнее, но его реализация требует некоторых переделок в системе СВЧ питания ускорителя, поскольку она в настоящее время не приспособлена для изменения длительности электронного импульса.

По сравнению с работой ИБР-30 в режиме импульсного реактора работа в режиме размножения имеет следующие основные преимущества:

- длительность импульса быстрых нейтронов снижается на порядок, соответственно увеличивается и пиковое значение интенсивности нейтронов;
- исключаются неизбежные для реакторного режима побочные импульсы, и фоновая обстановка существенно улучшается;

- снижается скорость основной подвижной зоны в соответствии со снижением частоты, что повышает надежность работы механических систем реактора.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А.В.Рябцова за выполненные расчеты модернизированного варианта ускорителя и Л.Р.Григоловича за выполнение расчетов и экспериментальную проверку системы СВЧ питания для ЛУЭ-40 с использованием накопительных резонаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бунин Б.Н. и др. ОИЯИ, 13-6213, Дубна, 1972.
2. Франк И.М. ЭЧАЯ, 1972, 2, 805.
3. Бельковец В.А. и др. В кн.: Труды V Всесоюзной конференции по нейтронной физике. Киев, 1980. ЦНИИАтоминформ, М., 1980, ч.4, с.67-71.
4. Головня В.Я. и др. АЭ, 1980, 48, 2, с.115.
5. Farkas Z.D. In: Proc. IX Intern.Conf. on High Energy Accel. Stanford, 1974, p.576-582.
6. Вахрушин Ю.П. и др. В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Серия: техника физического эксперимента. ХФТИ АН УССР, Харьков, 1981, 1, с.5.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 октября 1983 года

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Руденко В.Т., Смирнов В.Л.
Расчетные параметры ИБР-30 после модернизации инжектора -
линейного ускорителя электронов

9-83-711

Проводится модернизация инжектора ИБР-30 - линейного ускорителя электронов с целью увеличения мощности электронного пучка. Приведены параметры установки после завершения модернизации. Эффективность ИБР-30 как нейтронного спектрометра по времени пролета повышается в 20 раз. Рассмотрены пути дальнейшего повышения эффективности. Показано, что перспективно использование в системе СВЧ питания ускорителя накопительных резонаторов стоячей волны с целью сокращения длительности импульса и увеличения энергии электронов. Для спектроскопии по времени пролета нейтронов низких энергий разработаны методы снижения частоты импульсов с сохранением средней нейтронной интенсивности.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Rudenko V.T., Smirnov V.L.
Design Parameters of IBR-30 Installation after the Modernization
of Injector - an Electron Linear Accelerator

9-83-711

Works on the modernization of the IBR-30 injector - a linear accelerator of electrons are being carried out for increasing the electron beam power. Parameters of the installation after its modernization are presented. The efficiency of the IBR-30 as a neutron time-of-flight spectrometer will be increased by a factor of 20. The possibilities of further increase in efficiency are considered. It is shown that the use in s.h.f. feed equipment of accelerator of cavity resonators of standing wave for shortening the pulse length and electron energy increase is promising. The method of pulse frequency decrease with keeping the mean neutron intensity are elaborated for the spectroscopy of time-of-flight neutron low energy.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой