

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МОДУЛЯ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ЛУМФ НА ВЫСОКОМ УРОВНЕ МОЩНОСТИ

С.К.Есин, И.В.Киселев, А.С.Ковалишин, Л.В.Кравчук,
В.В.Леонтьев, В.Н.Леонтьев, В.В.Пеплов, О.Д.Пронин,
Г.В.Романов, В.Л.Серов

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Для проведения комплексных испытаний функциональных систем линейного ускорителя Московской мезонной фабрики в Институте ядерных исследований АН СССР был создан экспериментальный стенд-модуль основной части линейного ускорителя мезонной фабрики (ЛУМФ) в следующем составе:

- 4-секционный резонатор;
- система вакуумной откачки резонатора;
- канал ВЧ-питания основной части ускорителя с волноводным трактом ввода мощности в резонатор и системой автоматического регулирования фазы и амплитуды (АРФА);
- система авторегулирования собственной частоты резонатора (АРЧТ).

Структурная схема стенда-модуля представлена на рис.1.

Исследования проводились на первом ускоряющем резонаторе основной части (свыше 100 МэВ) ЛУМФ. Резонатор состоит из четырех ускоряющих секций на основе структуры с проводящими шайбами и диафрагмами, связанных в единую колебательную систему тремя резонансными мостовыми устройствами в виде отрезков прямоугольного волновода с Е-уголками^{/1/}.

К ускоряющему резонатору, смонтированному на опорной балке, подсоединены коллекторы водяного контура системы АРЧТ, высоковакуумные магнитоотрядные насосы НМД и пост предварительной откачки НВР + ДВН вакуумной системы резонатора. ВЧ-мощность поступает в резонатор по волноводному тракту от канала ВЧ-питания, состоящего из задающего генератора, предварительного усилителя, мощного усилителя на клистроне КИУ-40^{/2/}, высоковольтного импульсного модулятора, системы авторегулирования фазы и амплитуды, шкафов контроля и управления работой канала и связи с автоматической системой управления от ЭВМ. В состав волноводного тракта входят: клистронное гермоокно ГО1, ферритовый вентиль ФВ, направленные ответвители НО1... НО3, резонаторное гермоокно ГО2 и согласующая диафрагма, установленная на входе в средний мост резонатора.

До начала комплексных испытаний каждая из функциональных систем стенда-модуля прошла этапы монтажа и наладки.

Радиотехническая настройка резонатора, проведенная по разработанной в Институте ядерных исследований методике /1/, обеспечила получение собственной частоты резонатора в атмосфере и при низком уровне мощности $f_p = 990, 805$ МГц при разнице уровней ускоряющего поля в соседних секциях резонатора не более $\delta E = 0,44\%$.

Канал усиления ВЧ-мощности был испытан под нагрузкой на высокочастотный эквивалент при импульсной мощности $P_{\text{и}} = 4,75$ МВт (длительность импульса $\tau = 150$ мкс, частота следования импульсов $F = 1... 100$ Гц).

Путем последовательного измерения КСВН входа резонаторного моста были определены оптимальные размеры окна согласующей диафрагмы $1,27 \times 66$ мм при КСВН, равном $1,08 / 2/$.

Система АРФА обеспечивала стабильность амплитуды ВЧ-поля на входе ускоряющего резонатора не хуже $0,2\%$.

Система АРЧТ работала в режиме прогрева резонатора до рабочей температуры $t = 25^{\circ}\text{C}$ и его термостабилизации с погрешностью не более $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

До начала вакуумной тренировки резонатора был выполнен большой объем работ по поиску и устранению течей при откачке вакуумной системы постом предварительной откачки АРР-50 на базе вакуумных насосов 2НВР-5Д и ДЭН-50 с сорбционной ловушкой ЛД-60 при давлении остаточных газов 10^{-2} Па.

Для ускорения процесса обезгаживания внутренних поверхностей резонатора был проведен прогрев резонатора горячей водой с температурой $t = 50^{\circ}\text{C}$ в течение 7 часов, а также аргонная обработка насосов НМД-0,4 для очистки их внутренней поверхности и поверхностей соединительных патрубков, при давлении агрегата 4 Па в течение 1 часа. Дополнительная проверка наличия микронешлотностей и устранение их позволили к моменту ввода ВЧ-мощности в резонатор получить вакуум в объеме резонатора $P = 2 \cdot 10^{-5}$ Па при удельном натекании $1,2 \cdot 10^{-6}$ Па/с. Парциальный состав остаточного газа был следующий: 45% водорода, 18% азота, 11% воды, 7% аргона, 29% окиси и двуокиси углерода и метана. Результаты проверки работоспособности и параметров функциональных систем позволили приступить к завершающему этапу работ - вакуумной тренировке резонатора на высоком уровне ВЧ-мощности и комплексным испытаниям экспериментального стенда-модуля основной части ЛУМФ.

Ввод ВЧ-мощности в резонатор осуществляется при работе всех систем стенда-модуля при постоянном контроле вакуума в секциях резонатора. Предварительно было определено требование повышения давления остаточных газов в резонаторе не более чем $2,5 \cdot 10^{-3}$ Па при вводе ВЧ-мощности $/3/$.

Первоначальный ввод ВЧ-мощности в резонатор осуществлялся путем постепенного повышения импульсной мощности при частоте повторения $F^r = 25$ имп/с.

Номинальная импульсная мощность $P_{\text{НОМ}} = 2,25$ МВт была введена в резонатор через 14 часов после начала работы (рис.2).

При вводе ВЧ-мощности наблюдалось возникновение мультипакторных разрядов в секциях резонатора, как при малых, так и при номинальном уровнях мощности, что проявлялось в искажении ВЧ-импульса, снимаемого с петли резонатора, и резком ухудшении вакуума. После 10-15 мин работы на данном уровне разряды прекращались и осуществлялся дальнейший подъем уровня мощности.

Начиная с уровня мощности $P_{\text{И}} = 0,3$ МВт наблюдались мощные высоковольтные разряды, вызывающие срабатывание блокировок по давлению и отключение высокого напряжения модулятора системы ВЧ-питания.

Были отмечены две труднопроходимые зоны с уровнем $P_{\text{И}1} = 60-100$ кВт и $P_{\text{И}2} = 0,6-0,8$ МВт, при которых количество разрядов в течение продолжительного периода времени уменьшалось незначительно при поддержании постоянного уровня ВЧ-мощности. Увеличение же уровня ВЧ-мощности на 50-60 кВт приводило к прекращению разрядов.

При увеличении уровня высокочастотной мощности от 0 до 2,5 МВт собственная частота резонатора понижается приблизительно на 100 кГц (при стабилизации температуры воды на выходе секций резонатора, обеспечиваемой системой АРЧТ). Это обстоятельство требовало постоянного контроля оператором стенда-модуля соответствия между частотой задающего генератора и собственной частотой резонатора, что осуществлялось путем изменения частоты задающего гене-

ратора до момента получения минимума сигнала отраженной мощности $P_{отр}$ с выхода направленного ответвителя НО2 волноводного тракта /4/.

Ввод ВЧ-мощности в ускоряющий резонатор сопровождался возникновением рентгеновского излучения. На расстоянии 70 см от торца первой секции резонатора снималась зависимость мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения от импульсной ВЧ-мощности для различной частоты следования импульсов. Мощность дозы излучения при $P_{и} = 2,5$ МВт ($F = 100$ Гц, $\tau_{и} = 150$ мкс) составила 35 мкР/с.

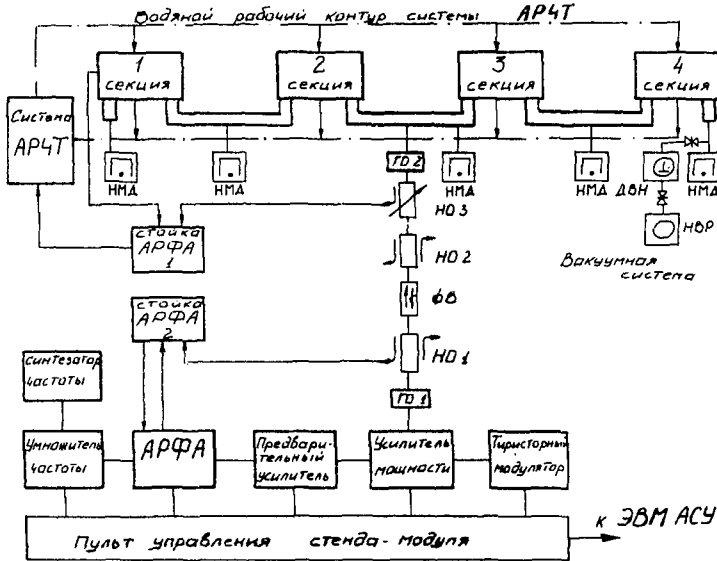


Рис.1. Структурная схема стенда-модуля основной части ЛУМФ.

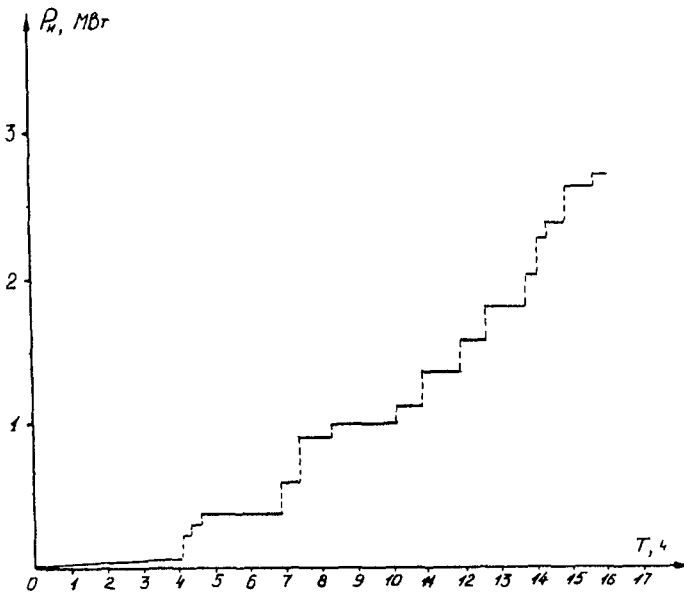


Рис.2. График процесса тренировки ускоряющего резонатора во времени.

При возникновении высоковольтных разрядов в резонаторе уровень излучения значительно возрастает. Это обстоятельство можно использовать для обнаружения и локализации конкретных мест возникновения разрядов с точностью до ячейки ускоряющей секции резонатора.

В период тренировки резонатора на высоком уровне мощности проводилась проверка работоспособности системы автоматического регулирования амплитуды поля в резонаторе. Результаты испытаний показали, что при включении системы АРА количество разрядов (в единицу времени) в резонаторе сокращается в 2-3 раза. Это объясняется высокой стабильностью поддержания уровня ВЧ-мощности на входе резонатора, как за время действия одного импульса, так и за более длительный период.

С целью определения запаса электрической прочности резонатор был испытан при повышенном уровне ВЧ-мощности. При подъеме ВЧ-мощности до 2,8 МВт вначале наблюдались высоковольтные разряды, которые прекратились через 10-15 мин. За последующие 45 минут было зарегистрировано всего 2 разряда, что свидетельствует об имеющемся запасе электрической прочности резонатора на основе структуры с проводящими шайбами и диафрагмами.

В результате вакуумной тренировки резонатора при повышении ВЧ-мощности до $P_{и} = 2,5$ МВт в резонаторе получен предельный вакуум ниже $1 \cdot 10^{-5}$ Па при натекании $6 \cdot 10^{-7}$ Па/с и отсутствии высоковольтных разрядов.

Комплексные испытания, проведенные на стенде-модуле Института ядерных исследований, подтвердили требуемое качество изготовления как отдельных узлов, так и в целом 4-секционного ускоряющего резонатора; возможность его радиотехнической настройки по разработанной методике; выполнение условий согласования резонатора с подводным волноводным трактом; работоспособность систем автоматического регулирования амплитуды ВЧ-поля в резонаторе, канала усиления ВЧ-мощности и тиристорного модулятора, систем вакуумной откачки и термостабилизации резонатора.

В процессе проведения комплексных испытаний были обеспечены стабильность режимов работы резонатора и измерение параметров функциональных систем экспериментального стенда-модуля основной части линейного ускорителя мезонной фабрики на высоком уровне ВЧ-мощности.

Л и т е р а т у р а

1. Исаенко С.В., Кравчук Л.В., Романов Г.В., Тарасов С.Г. "Методика настройки резонаторов основной части ускорителя мезонной фабрики". Препринт ИЯИ АН СССР, П-0332, М., 1984.
2. Линейные ускорители ионов. (Под ред. Б.П.Мурина). М.: Атомиздат, 1978, т.2.
3. Бацких Г.И., Гуслицков И.К. Исследование парциального состава газов в ускоряющей структуре второй части ускорителя мезонной фабрики. В кн.: Труды Радиотехнического института АН СССР, М., РТИ АН СССР, 1976, вып.25, с.141.
4. В.Г.Андреев и др. Предварительные результаты комплексных испытаний экспериментального стенда-модуля второй части ускорителя мезонной фабрики. В кн.: Труды Радиотехнического института АН СССР, М., РТИ АН СССР, 1976, вып.25, с.123.