



**РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
НА МЕДИЦИНСКОЕ ИЗДЕЛИЕ**

**Комплекс обеспечения радионуклидами позитронно-эмиссионных
томографов: IBA «Cyclone Kiube» с принадлежностями**

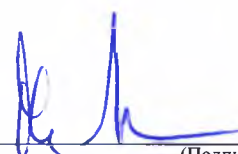
Ion Beam Applications S.A.
Chemin du Cyclotron 3, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

Генеральный директор по продажам

Oliver Holderbaum

"24" апреля 2017 г.

М.П.


(Подпись)

Chemin du Cyclotron, 3
1348 Louvain-la-Neuve
Tél: +32 10 47 58 54 - Fax: +32 10 47 59 52

This is to certify the signature of *Olivia Holdusann*
as apposed before me, François HERINCKX,
associated Notary at Brussels (Belgium), on
this day of *24th April 2017*



СОДЕРЖАНИЕ

1. АДМИНИСТРАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	4
1.1. Наименование медицинского изделия	4
1.2. Комплект поставки	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
1.3. Сведения о производителе	7
1.4. Назначение медицинского изделия и область его применения	8
1.5. Условия применения	8
2. ОПИСАНИЕ МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ	8
2.1. Система магнитов	8
2.1.1. Структура магнита	8
2.2. Электропитание главных катушек	10
2.3. Блокировки магнитной системы	12
2.4. Система подъема ярма магнита	12
2.5. Вакуумная система	12
2.5.1. Общие сведения	13
2.5.2. Вакуумная система камеры циклотрона	14
2.5.3. Устройства регулирования вакуума	14
2.5.4. Стандартные эксплуатационные параметры	15
2.6. РЧ-система	15
2.6.1. Общие сведения	15
2.6.2. Стойка LLRF (Low Level Radiofrequency — ВЧ-сигнал низкого уровня)	16
2.6.3. Импульсный запуск	16
2.6.3.1. Регулировка мощности и напряжения	17
2.6.3.2. Резонансная настройка	17
2.6.3.3. Усилители	17
2.6.4. Дуанты и РЧ-резонаторы	18
2.6.5. Механизм резонансной настройки и связь с РЧ-резонатором	19
2.7. Ионный источник	20
2.7.1. Принцип работы	20
2.7.2. Формирование ионной плазмы	20
2.7.3. Экстракция отрицательно заряженных ионов	22
2.7.4. Рабочие параметры	23
2.7.5. Узел источника	24
2.7.6. Механизм позиционирования	26
2.7.7. Система подачи газа	27
2.7.8. Система вывода пучка	28
2.7.9. Строение экстрактора	29
2.7.10. УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ЭКСТРАКТОРА	30
2.7.11. Двойной вывод пучка	30
2.7.12. Система выдвижного датчика	31
2.8. Мишень NIRTA	31
2.8.1. Обзор	31
2.8.2. Корпус системы шприцевого насоса и клапанный блок	33
2.8.3. Система загрузки мишени	34
2.8.4. Мишень и держатель мишени в сборе	34
2.8.5. Система выходного переключателя мишени (приобретается дополнительно)	36
2.8.6. Система гелиевого охлаждения	37

2.9. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	39
2.9.1. Система водяного охлаждения	39
2.9.2. Водяной кондиционер	39
2.9.2.1. Насос	40
2.9.2.2. Удельная проводимость воды	40
2.9.2.3. Уровень воды	40
2.9.2.4. Контроль температуры	41
2.9.3. Водяной коллектор	41
2.9.4. Система подачи сжатого воздуха	41
2.9.5. Источники питания и шкаф распределения питания	43
2.10. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ	43
2.10.1. Обзор	43
2.10.2. Аппаратное обеспечение	44
2.10.3. Программное обеспечение	44
2.10.4. Защитные блокировки	44
2.10.5. Авторизация доступа	45
3. МЕРЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ	46
3.1. УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ	46
3.1.1. Опасность радиационного облучения	46
3.1.2. Опасность поражения электрическим током	47
3.1.3. Воспламенение/взрыв	48
3.1.4. Токсичные материалы	48
3.2. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ	49
3.3. СИМВОЛЫ	51
3.4. ЗАЩИТНЫЕ БЛОКИРОВКИ	52
3.5. ПРОЧИЕ ЗАЩИТНЫЕ БЛОКИРОВКИ	53
4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	54
5. МАРКИРОВКА МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ	56
6. УСЛОВИЯ И ПРАВИЛА ТРАНСПОРТИРОВКИ/ХРАНЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ	57
7. УСЛОВИЯ И ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ	57
8. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ	57
9. СРОК СЛУЖБЫ	58
10. ПОРЯДОК ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ И УНИЧТОЖЕНИЯ МИ	58
11. ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА	58
12. АДРЕС ДЛЯ ПРИЕМА РЕКЛАМАЦИЙ/ УПОЛНОМОЧЕННЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ РФ	58

1. АДМИНИСТРАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1. НАИМЕНОВАНИЕ МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ

Наименование медицинского изделия	Комплекс обеспечения радионуклидами позитронно-эмиссионных томографов: IBA «Cyclone Kiube» с принадлежностями
--	---

1.2. СОСТАВ:

I. Комплекс обеспечения радионуклидами позитронно-эмиссионных томографов: IBA «Cyclone Kiube» в составе:

1. Магнит специальный - 1 шт.
2. Источник питания – 1 шт.
3. Модуль охлаждения– 1 шт.
4. Источник ионный– 1 шт.
5. Модуль высокочастотный– 1 шт.
6. Модуль вакуумный– 1 шт.
7. Модуль управления– 1 шт.
8. Модуль управления рабочей станцией оператора– 1 шт.
9. Руководство по эксплуатации – 1 шт.

II. Принадлежности:

1. Мишень жидкостная “Nirta 18F FLUORIDE”- не более 8 шт.
2. Мишень жидкостная “Nirta LIQUID 13N AMMONIA” - не более 8 шт.
3. Мишень газовая “Nirta 18F2 gas target PROTON” - не более 16 шт.
4. Мишень газовая “Nirta GAS 11C CARBON” - не более 8 шт.
5. Мишень газовая “Nirta GAS 15O OXYGEN PROTON” - не более 8 шт.
6. Мишень жидкостная “Nirta Galium 68” - не более 8 шт.
7. Защита компактная для мишени “Nirta” - не более 2 шт.
8. Контейнер свинцовый для хранения облучённой фольги и мишеней - не более 8 шт.
9. Модуль переключения мишеней - не более 2 шт.
10. Устройство для быстрой установки мишени - не более 2 шт.
11. Трубки экранированные - не более 400 шт.
12. Модуль подачи от мишеней к защитным камерам - не более 8 шт.
13. Устройство для экстракции не - более 16 шт.
14. Фольга для экстрактора - не более 16 шт.
15. Источник ионный, дополнительный - 1 шт.
16. Щит силовой распределительный - 1 шт.
17. Станция дистанционного контроля “Zephiros”- не более 2 шт.
18. Станция контроля “Zephiros”- 1 шт.
19. Защита мишени локальная для обслуживания- не более 8 шт.
20. Защита собственная - 1 шт.
21. Дверь бункера, сдвижная моторизованная- 1 шт.
22. Источник калибровочный- не более 2 шт.
23. Консоль рабочей станции оператора- 1 шт.
24. Модуль синтеза “Synthera” автоматический- не более 40 шт.
25. Модуль синтеза “Synthera Extension” автоматический- не более 6 шт.
26. Модуль синтеза Pinctada® Cu-64 - не более 3 шт.
27. Модуль для термо-хроматографического разделения радионуклидов HighMOR - не более 3 шт.
28. Модуль синтеза многофункциональный “18F- / R&D system (Multi-Compounds production)”- не более 6 шт.

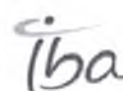
КОМПЛЕКС ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННЫХ ТОМОГРАФОВ: IBA «CYCLONE KIUBE»

29. Модуль синтеза "18F2 BASED SYNTHESIS" автоматический - не более 6 шт.
30. Модуль синтеза углерода-11 "Synthra Mel"- не более 6 шт.
31. Модуль синтеза углерода-11 "Synthra MelPLUS" - не более 6 шт.
32. Модуль высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) "HPLC"- не более 4 шт.
33. Модуль электрофильного замещения "Raytest General Electrophilic" - не более 4 шт.
34. Модуль "Pinctada Gaz C15O-C15O2" - не более 4 шт.
35. Модуль "Pinctada Water Module O15" - не более 4 шт.
36. Генератор водный - не более 5 шт.
37. Линия пучка не более - 2 шт.
38. Модуль "11C-Acetate" - не более 3 шт.
39. Модуль "11C-HCN" - не более 3 шт.
40. Мишень твердотельная "Nirta solid target" - не более 8 шт.
41. Картриджи IFP сменные к модулю синтеза "Synthera" - не более 1000 шт.
42. Наборы реагентов к модулю синтеза «Synthera»:
 - 42.1. Набор реагентов для фтор-дезоксиглюкозы - не более 200 шт.
 - 42.2. Набор реагентов для NaF - не более 200 шт.
 - 42.3. Набор реагентов для фтор-L-тимидина - не более 200 шт.
 - 42.4. Набор реагентов для F-MISO - не более 200 шт.
 - 42.5. Набор реагентов для фтор-холина - не более 200 шт.
 - 42.6. Набор реагентов для F-DOPA - не более 200 шт.
43. Наборы вспомогательные:
 - 43.1. Набор вспомогательный для фтор-дезоксиглюкозы - не более 200 шт.
 - 43.2. Набор вспомогательный для NaF - не более 200 шт.
 - 43.3. Набор вспомогательный для фтор-L-тимидина - не более 200 шт.
 - 43.4. Набор вспомогательный для F-MISO - не более 200 шт.
 - 43.5. Набор вспомогательный для фтор-холина - не более 200 шт.
 - 43.6. Набор вспомогательный для F-DOPA - не более 200 шт.
44. Набор А для модуля расфасовки - не более 500 шт.
45. Набор В для модуля расфасовки - не более 500 шт.
46. Гелиевый охлаждающий компрессор - не более 3 шт.
47. Контейнер для твердых радиоактивных отходов не – не более 16 шт.
48. Трубка защитная для подачи препаратов - не более 110 шт.
49. Бокс горячий для автоматических модулей синтеза "Synthera" - не более 8 шт.
50. Бокс горячий для модулей синтеза - не более 8 шт.
51. Бокс двойной горячий для модулей синтеза (вертикальное расположение камер) - не более 8 шт.
52. Бокс двойной горячий для модулей синтеза (горизонтальное расположение камер) - не более 8 шт.
53. Бокс горячий не более - 8 шт.
54. Форкамера для горячих боксов - не более 8 шт.
55. Поток барьерный ламинарный - не более 8 шт.
56. Устройство для розлива доз в ламинарных боксах всех модификаций - не более 8 шт..
57. Модуль расфасовки, автоматизированный для шприцев и открытых флаконов - не более 4 шт.
58. Устройство фасовочное - не более 4 шт.
59. Контейнер выдержки на распад для горячих боксов - не более 12 шт.

60. Контейнер свинцовый многоразовый для транспортировки радиофармпрепаратов - не более 20 шт.
61. Кейс для свинцового контейнера IBA тип А - не более 20 шт.
62. Бокс для производственной и исследовательской деятельности - не более 8 шт.
63. Бокс с ламинарным потоком - не более 4 шт.
64. Шкаф радиохимический - не более 4 шт.
65. Дозкалибратор для горячего бокса - не более 8 шт.
66. Стол лабораторный из нержавеющей стали - не более 7 шт.
67. Стол лабораторный с мойкой - не более 7 шт.
68. Контейнер для отходов - не более 12 шт.
69. Защита для шприца, вольфрамовая - не более 20 шт.
70. Контейнер защитный для шприцев - не более 20 шт.
71. Заслонка из нержавеющей стали - не более 20 шт.
72. Дозиметр для горячего бокса - не более 8 шт.
73. Устройство автоматического закрытия вентиляции для радиохимических боксов - не более 8 шт.
74. Станция компрессии радиоактивных газов - не более 4 шт.
75. Система экранированных трубок Pb-50 - не более 300 шт.
76. Защита внутренняя, сдвижная - не более 12 шт.
77. Дверца внутренняя передаточная для двойных боксов - не более 8 шт.
78. Дверца внешняя передаточная - не более 8 шт.
79. Экран из нержавеющей стали для закрытия пространства над боксом - не более 12 шт.
80. Дозиметр-радиометр для контроля загрязнения рук и ног - не более 4 шт.
81. Дозиметр защитных камер - не более 8 шт.
82. Индикатор дозы для незагрязненных помещений - не более 20 шт.
83. Контейнер защитный для шприцев - не более 20 шт.
84. Гамма-детектор - не более 10 шт.
85. Гамма-детектор широкого спектра - не более 20 шт.
86. Монитор вытяжной системы - не более 6 шт.
87. Интенсиметр - не более 6 шт.
88. Маяк сигнальный - не более 40 шт.
89. Устройство сбора данных, центральное - не более 3 шт.
90. Дозиметр гамма излучения, высокочувствительный - не более 10 шт.
91. Датчик NaI сцинтилляционный для стек-мониторинга - не более 12 шт.
92. Датчик расхода воздуха - не более 10 шт.
93. Канал измерительный - не более 12 шт.
94. Дисплей удаленный - не более 4 шт.
95. Устройство локальной тревоги - не более 8 шт.
96. Процессор модульной системы, центральный - не более 2 шт.
97. Дозиметр, персональный карманный - не более 100 шт.
98. Дозиметр портативный - не более 50 шт.
99. Дозиметр-радиометр альфа/бета/гамма излучения - не более 3 шт.
100. Монитор портативный нейтронного излучения - не более 3 шт.
101. Блок тестирования на стерильность - не более 2 шт.
102. Хроматограф жидкостной высокого давления - не более 4 шт.
103. Ph-метр - не более 2 шт.
104. Хроматограф газовый - не более 2 шт.
105. Гамма-спектрометр на основе детектора NaI - не более 2 шт.

106. Модуль калибровки дозы - не более 2 шт.
107. Анализатор для тонкослойной хроматографии (ТСХ) в комплекте - не более 2 шт.
108. Осмометр для позитронно-эмиссионной томографии - не более 2 шт.
109. Устройство магнитное для перемешивания - не более 4 шт.
110. Весы аналитические - не более 4 шт.
111. Компьютер персональный с предустановленной системой управления аналитическим оборудованием - не более 6 шт.
112. Принтер лазерный специальный - не более 9 шт.
113. Устройство пакетной записи для аналитических приборов - не более 3 шт.
114. Посуда химическая специальная - не более 5 шт.
115. Место лабораторное, рабочее - не более 7 шт.
116. Стол для работы с радиофармпрепаратами - не более 7 шт.
117. Шкаф сушильный - не более 2 шт.
118. Шкаф для хранения кислот - не более 2 шт.
119. Шкаф пожаробезопасный для растворителей - не более 2 шт.
120. Блок стерилизации - не более 2 шт.
121. Модуль контроля качества - не более 2 шт.
122. Модуль подачи ультрачистой воды с микрофильтрами - не более 2 шт.
123. Шкаф с ламинарным потоком - не более 3 шт..
124. Шкаф вытяжной - не более 3 шт
125. Сейф для хранения реактивов - не более 4 шт.
126. Средства для обеспечения радиационной защиты на рабочем месте - не более 14 шт.
127. Инжектор для ПЭТ диагностики, автоматический - не более 8 шт.
128. Комплект инструментов для установки и обслуживания
 - 128.1. Осциллограф 4-канальный - не более 2 шт.
 - 128.2. Разъемы для коаксиального кабеля, переходники, адаптеры - не более 2 шт.
 - 128.3. Инструмент для обработки кабеля - не более 2 шт.
 - 128.4. Плоскогубцы многофункциональные - не более 5 шт.
 - 128.5. Клещи для коаксиального кабеля - не более 7 шт.
 - 128.6. Отвертки - не более 50 шт.
 - 128.7. Ключи - не более 50 шт.
 - 128.8. Кабели разной длины - не более 200 шт.
 - 128.9. Мультиметр высокоточный - не более 5 шт.
 - 128.10 Паяльник - не более 3 шт.
 - 128.11. Инструмент для мишени - не более 5 шт.
 - 128.12. Пробник магнитного поля - не более 5 шт.
 - 128.13. Инструмент для ионного источника - не более 10 шт.
 - 128.14. Оборудование для транспортировки - не более 20 шт.
 - 128.15. Разъемы и муфты - не более 250 шт.
 - 128.16. Экстрактор многожильный контактный - не более 5 шт.

1.3. СВЕДЕНИЯ О ПРОИЗВОДИТЕЛЕ

Наименование и юридический адрес производителя	Ion Beam Applications S.A. (I.B.A.) Chemin du Cyclotron 3, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium.	
---	--	---

1.4. НАЗНАЧЕНИЕ МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ И ОБЛАСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Комплекс обеспечения радионуклидами позитронно-эмиссионных томографов: IBA «Cyclone Kiube» с принадлежностями предназначен для производства и синтеза радиофармпрепаратов, используемых для ранней диагностики в онкологии, кардиологии и неврологии.

1.5. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Данное медицинское изделие должно быть использовано только специально обученным персоналом в условиях специализированных медицинских учреждений.

2. ОПИСАНИЕ МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ

2.1. СИСТЕМА МАГНИТОВ

Система магнитов создает магнитное поле, направляющее частицы вдоль канала их ускорения.

2.1.1. Структура магнита

Обе половины магнита — верхнее и нижнее ярмо (Рисунок 1) — состоят из четырех приваренных друг к другу двухслойных секторов.

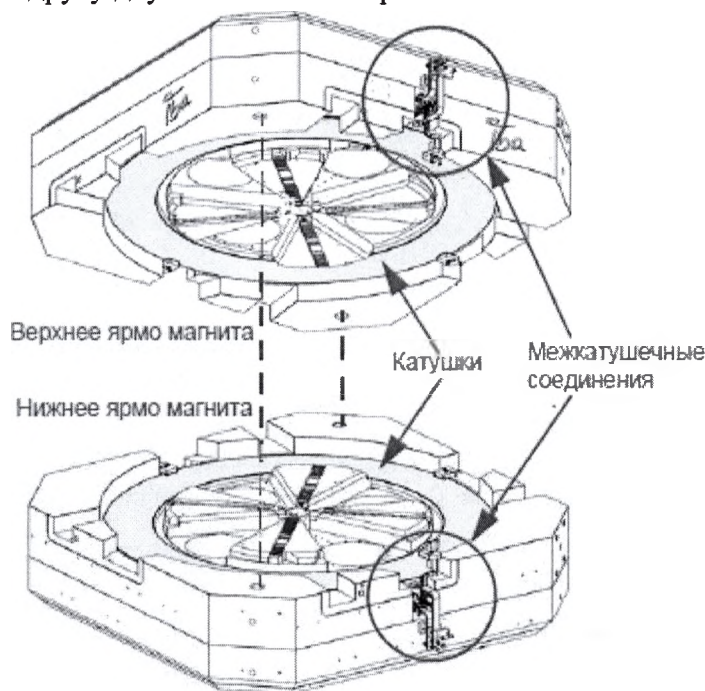


Рисунок 1. Верхнее и нижнее ярмо магнита

Каждое ярмо магнита имеет выступы, где образуется более сильный магнитный поток, и углубления, где магнитный поток является более слабым. Углубления нижнего ярма магнита используются для подсоединения вакуумных насосов, который представлены на Рисунке 2.

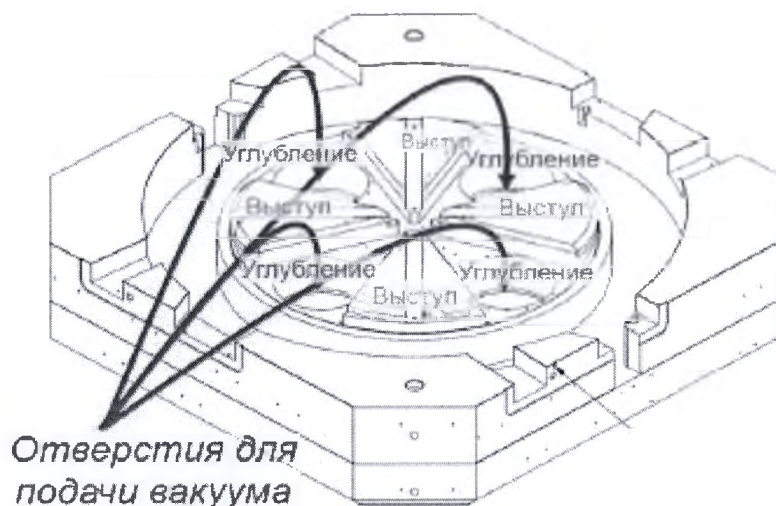


Рисунок 2. Выступы и углубления ярма магнита

Магнит приводится в действие посредством двух последовательно соединенных катушек индуктивности, на которые подается постоянный ток силой 155 А и напряжением 155 В от стабилизированного источника питания (см Рисунок 3). Выходная мощность источника питания задается заранее и регулируется с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК).

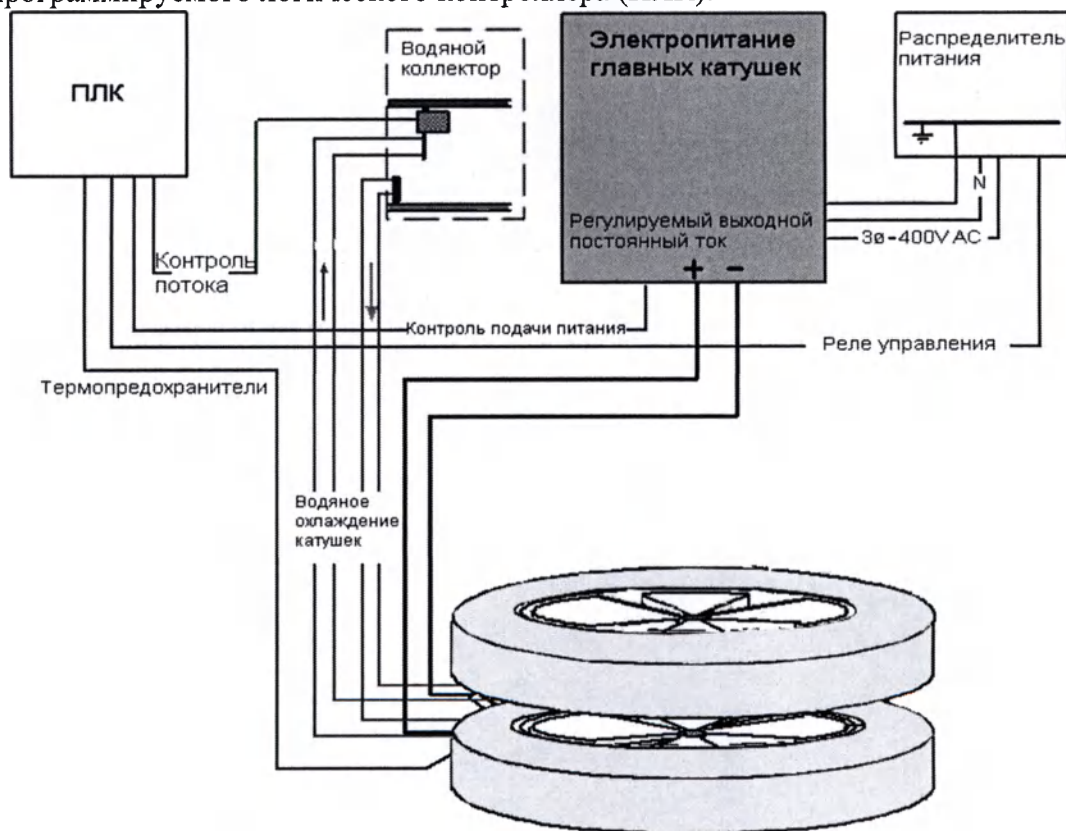


Рисунок 3. Схема магнитной системы

Для охлаждения катушек используется вода как показано на Рисунке 4.

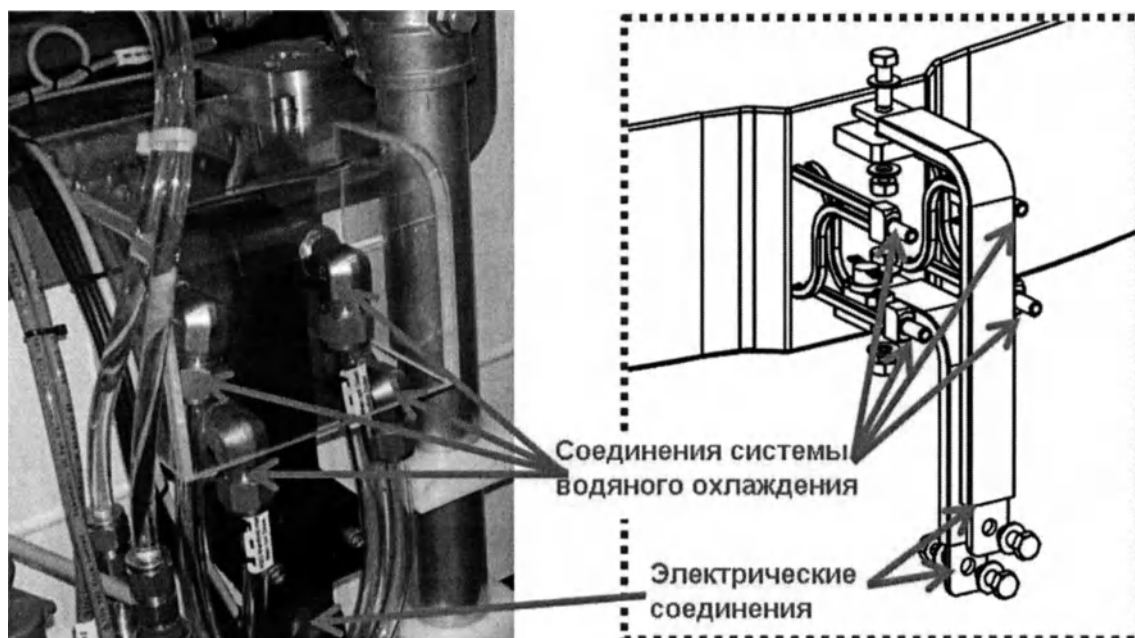


Рисунок 4. Соединения главных катушек

2.2. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ГЛАВНЫХ КАТУШЕК

Для обеспечения оптимальной интенсивности магнитного поля величина выходного постоянного тока источника питания главных катушек задается заранее. Величина выходного постоянного тока при нормальной работе циклотрона в автоматическом режиме задается и контролируется ПЛК.

Опорное эффективное выходное напряжение определяется на основании трех сигналов: сигнал от установленного изготовителем встроенного источника опорного напряжения, обусловленный картированием магнитного поля, показание потенциометра на передней панели и сигнал от системы управления. Корректировки системы управления могут достигать $\pm 2,5\%$ от показания внутреннего потенциометра и показания внешнего потенциометра, расположенного на передней панели источника питания. Допустимое отклонение потенциометра на передней панели составляет $\pm 5\%$ от значения, заданного изготовителем. Диапазон регулировки (от 0 до 1000) потенциометра, расположенного на передней модели, обычно зависит от показания внутреннего потенциометра. Эту настройку нельзя изменять.

Как показано на Рисунке 5, напряжение регулирования тока корректируется ПЛК для компенсации отклонений выходного тока источника питания. Такой контроль осуществляется ПЛК за счет поступления обратного сигнала от стойки устройства Beam Current Monitor на аналоговую входную плату ПЛК. ПЛК сопоставляет значения тока на мишени за определенный период времени и изменяет напряжение регулирования выходного тока источника питания для получения максимально возможного значения тока пучка на мишени. Эта функция отслеживания значений тока на мишени носит название Autotune (Автоматическая настройка).

Электроэнергия поступает к источнику питания главных катушек через внутренний сетевой контактор, который регулируется с помощью ПЛК (дистанционно) или с помощью кнопки включения/выключения на корпусе источника питания.

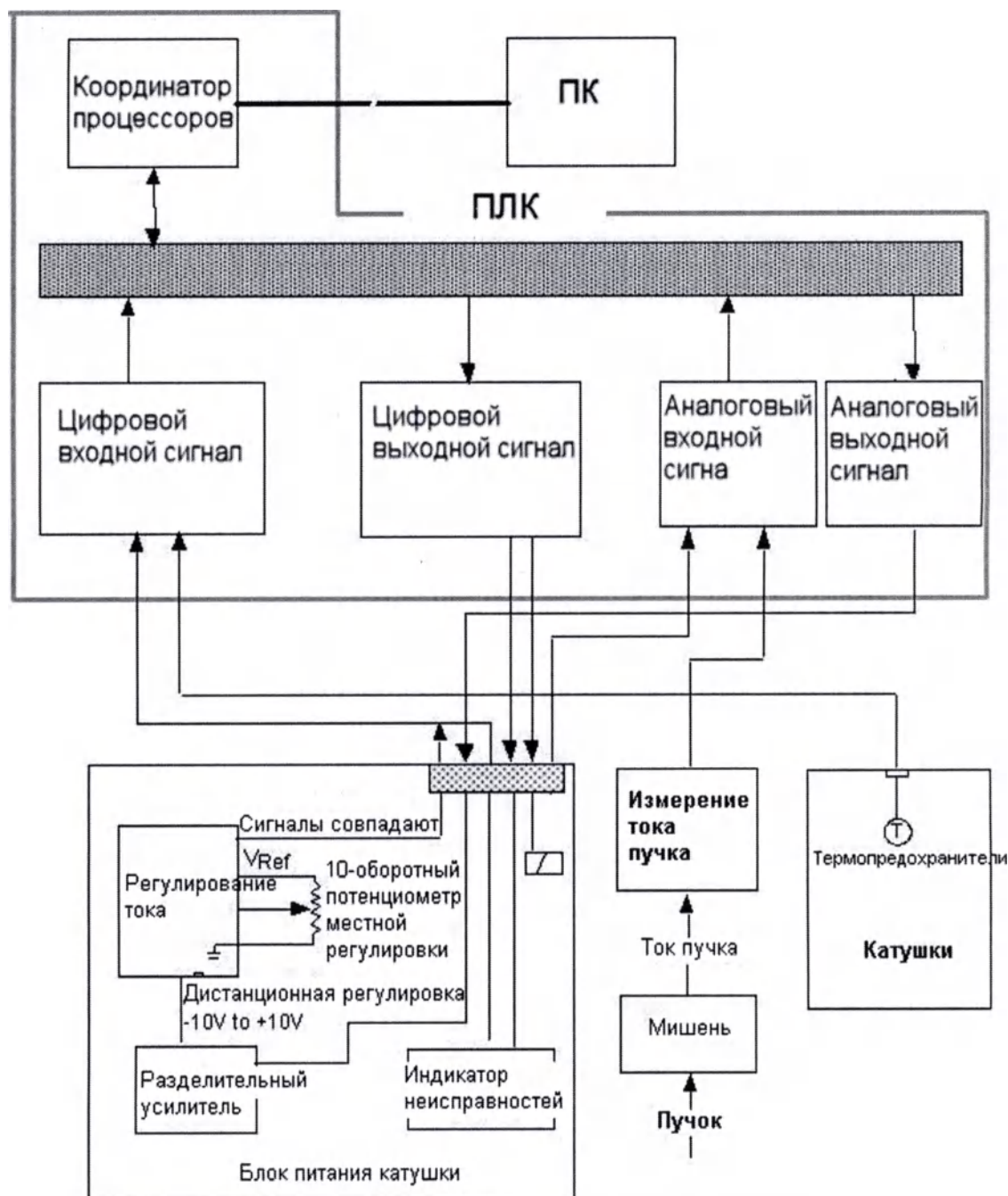


Рисунок 5. Схема электропитания главных катушек

2.3. Блокировки магнитной системы

Внутренние	Внешние
См. документацию производителя	Подача воды к катушкам Термопредохранители катушек в норме Ярмо магнита циклотрона опущено Температура воды для охлаждения ниже порогового значения, установленного для водяного кондиционера

Таблица 1. Блокировки магнитной системы

2.4. СИСТЕМА ПОДЪЕМА ЯРМА МАГНИТА

Чтобы получить доступ внутрь циклотрона необходимо поднять верхнее ярмо магнита с помощью двух гидравлических цилиндров. Система подъема ярма магнита состоит из двух гидравлических цилиндров, компрессорной установки и пульта дистанционного управления. Питание на компрессор подается через контактор, установленный в шкафу распределения питания. После выполнения всех операций продувки система управления подает на контактор сигнал, запускающий подачу напряжения 24 В постоянного тока. Маслораспределители приводятся в действие сигналами, поступающими от пульта дистанционного управления через распределительную коробку с защитными реле, установленную в шкафу распределения питания. После открытия циклотрона необходимо установить четыре предохранительные колонны для поддержки верхнего ярма магнита.

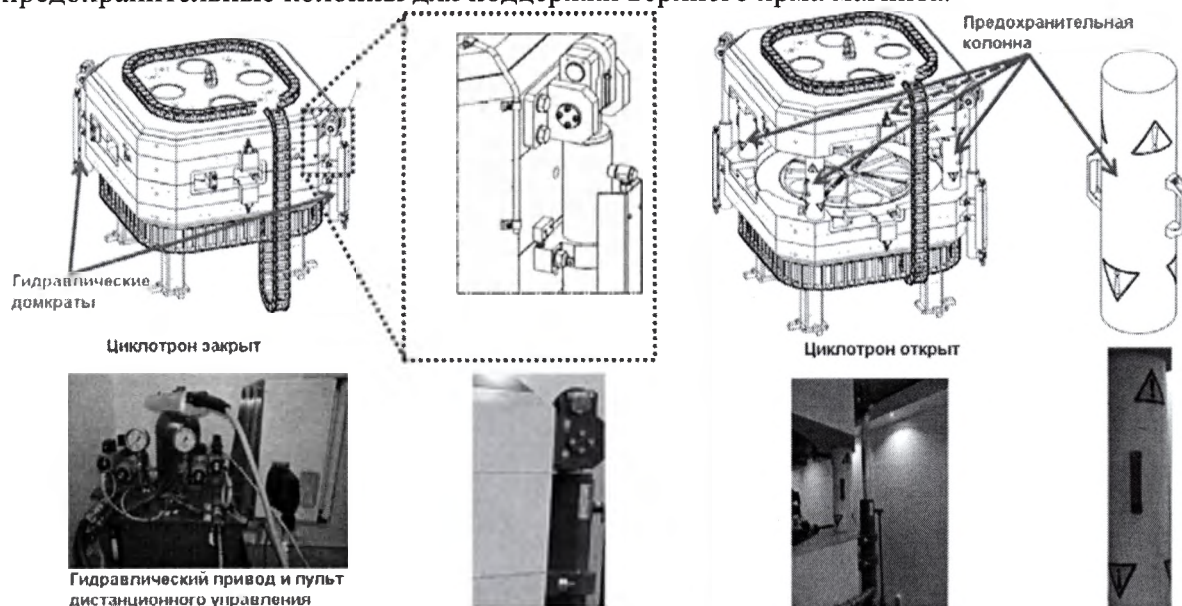


Рисунок 6. Система подъема ярма магнита

2.5. ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА

Вакуумная система необходима для создания и поддержания вакуума на всех участках траектории ионного пучка вплоть до вакуумного окна мишени.

2.5.1. Общие сведения

Функция вакуумной системы заключается в создании и поддержании высокого вакуума на всех участках траектории ионного пучка вплоть до вакуумного окна мишени. Высокий вакуум необходим для уменьшения нейтрализации отрицательно заряженных ионов. Вакуумная камера, в которой находятся дуанты, РЧ-резонатор, центральная область, блоки ионного источника Ion Source и карусельные устройства для обдирки, составляет большую часть зоны, находящейся под действием вакуума. Внутренняя полость коллиматора и держатель мишени (до вакуумного окна мишени) также находятся под действием вакуума.

Управление конкретными устройствами вакуумной системы осуществляется за счет взаимодействия ПЛК с несколькими преобразователями, приводами и логическими устройствами, функционирующими на разных уровнях системы. В автоматическом режиме вакуумная система функционирует практически прозрачно для пользователя; а при техническом обслуживании технический персонал может получить доступ к устройствам ручного управления, в том числе к автоматическим таймерам, через интерфейс пользователя IBA «Cyclone Kiube».

Во время работы циклотрона насосы должны работать непрерывно для выпуска газа из вакуумной камеры и напуска газа из функционирующего ионного источника Ion Source (или нескольких источников). В режиме ожидания вакуумная система переходит в эко-режим, при этом работает один масляный диффузионный насос для поддержания вакуума циклотрона, а остальные насосы отключаются для снижения потребления электроэнергии.

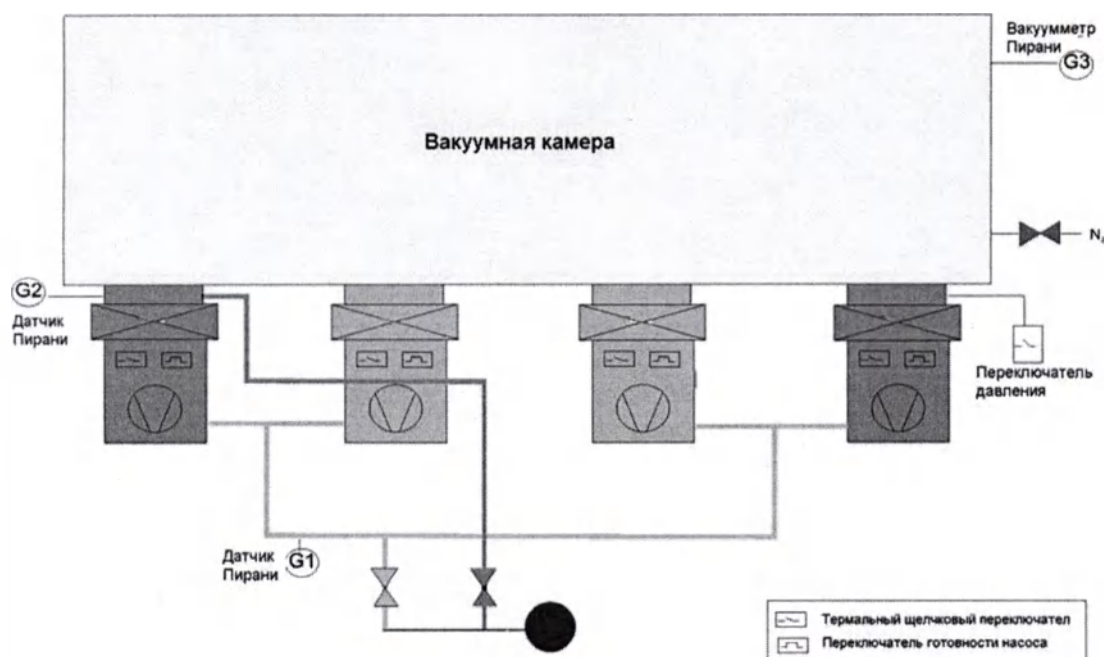


Рисунок 7. Схема вакуумной системы циклотрона

2.5.2. Вакуумная система камеры циклотрона

Вакуум в циклотроне поддерживается с помощью стандартной системы масляного диффузионного насоса. Для снижения давления в вакуумной камере до уровня примерно $3 \cdot 10^{-2}$ мбар используется механический насос. После достижения этого показателя давления механический насос начинает выполнять функцию подкачивающего насоса для диффузионных насосов, и открываются пневматические дисковые поворотные клапаны диффузионных насосов, благодаря чему в вакуумной камере создается высокий вакуум, необходимый для функционирования циклотрона.

2.5.3. Устройства регулирования вакуума

Измерение вакуума осуществляется в камере циклотрона с помощью вакуумметра Пирани и вакуумметра Пеннинга, а также на линии форвакуумной откачки с помощью вакуумметра Пирани. Вакуумметр состоит из двух физических устройств: датчика (Пирани или Пеннинга) и регулятора вакуума. Регулятор вакуума, в свою очередь, состоит из одной двойной измерительной платы Пирани (PI300) и одной измерительной платы с холодным катодом (CP300). Связь регулятора с ПЛК осуществляется через плату интерфейса IF300. Датчик давления в вакуумной камере используется для измерения атмосферного давления, когда требуется продувка.

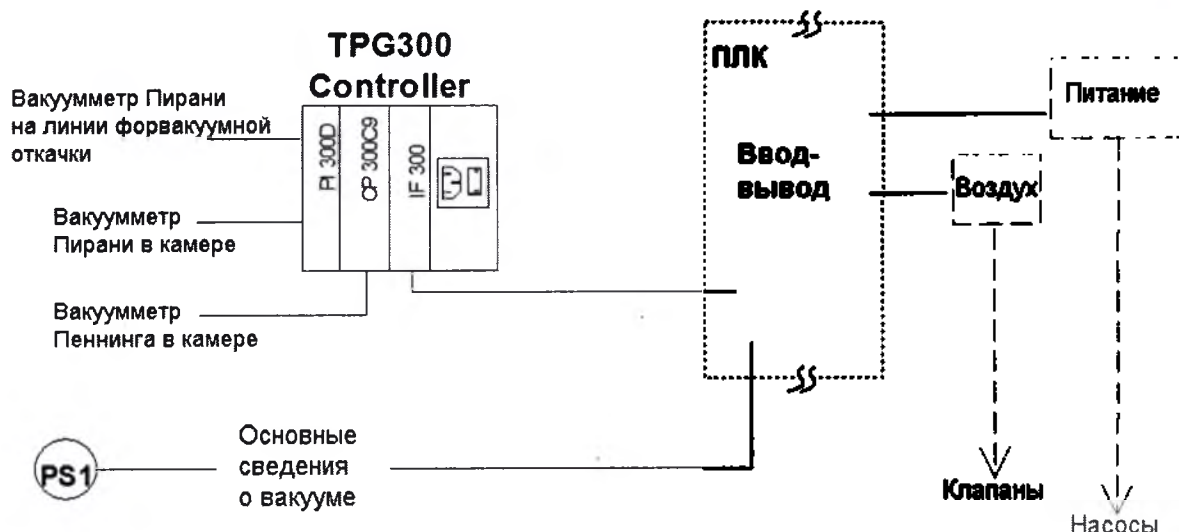


Рисунок 8. Схема регулирования вакуума

2.5.4. Стандартные эксплуатационные параметры

ПРИМЕЧАНИЕ. приведенные в таблице стандартные параметры могут отличаться от фактических параметров используемой системы.

Вакуум-Метр (TPG-300)	Тип вакуумметра	Область измерения	Стандартные пороговые значения (в мбар)	Пусковое реле	Функция
A1	Пирани	Камера циклотрона	▼ $3 \cdot 10^{-2}$ ▲ $1 \cdot 10^{-1}$	1	Открытие клапанов основного и насоса и насоса ODP
		Камера циклотрона	▼ $6 \cdot 10^{-3}$ ▲ $8 \cdot 10^{-3}$	B	Включение/выключение вакуумметра Пеннинга
A2	Пирани	Выпускное отверстие масляного диффузионного насоса	▼ $5 \cdot 10^{-2}$ ▲ $3 \cdot 10^{-1}$	2	Открытие/закрытие вакуумного затвора Включение/выключение нагревателей ODP
B1	Пеннинг	Камера циклотрона	▼ $5 \cdot 10^{-5}$ ▲ $5 \cdot 10^{-4}$	3	Создание высокого вакуума

Таблица 2. Стандартные пороговые значения вакуума

2.6. РЧ-СИСТЕМА

РЧ-система создает электрическое поле, притягивающее ионы через ускоряющие промежутки, где они с каждым поворотом набирают энергию, пока не достигнут радиуса извлечения.

2.6.1. Общие сведения

РЧ-система включает в себя следующие элементы:

- Объемный РЧ-резонатор внутри камеры циклотрона.

- Механизм настройки РЧ-резонатора.
- Соединитель с объемным резонатором.
- Система усилителя мощности.
- Стойка LLRF (Low Level Radiofrequency — ВЧ-сигнал низкого уровня).

Система подачи сигналов низкого уровня включает в себя генератор колебаний, первые каскады усиления сигнала (выходной мощностью 1 Вт) и электронные схемы, контролирующие напряжение дуантов, настройку колебательной системы резонаторов/дуантов и запуск РЧ-системы (смю Рис.9).

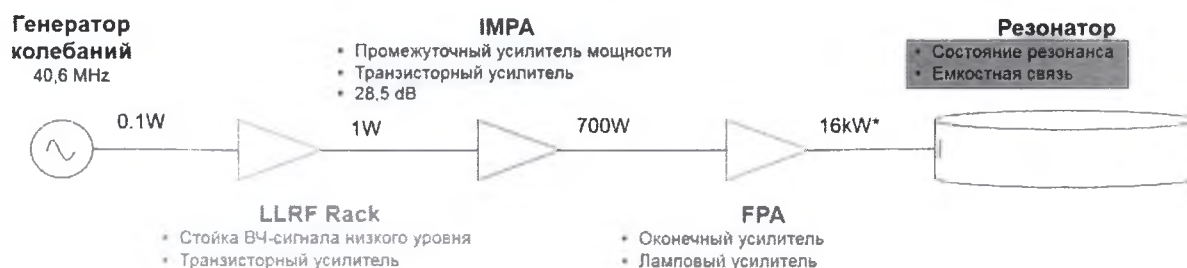


Рисунок 9. Схема РЧ-системы

2.6.2. Стойка LLRF (Low Level Radiofrequency — ВЧ-сигнал низкого уровня)

Стойка LLRF и ПЛК контролируют РЧ-систему и выполняют следующие основные функции:

- Синтез частот.
- Импульсный запуск РЧ-системы во избежание электронной нагрузки резонатора вторичными электронами.
- Стабилизация напряжения дуантов.
- Настройка РЧ-резонатора циклотрона.
- Поддержание допустимых технических характеристик оконечного усилителя (максимальный ток трубки и т. д.).

2.6.3. Импульсный запуск

После включения РЧ-системы РЧ-резонатор циклотрона, скорее всего, не будет находиться в состоянии резонанса. На резонатор не сразу подается вся РЧ-мощность во избежание повреждения оконечного усилителя из-за высокой мощности отраженного сигнала. Средняя РЧ-мощность достигается путем отправки импульсного выходного сигнала LLRF на цепь РЧ-усилителя. После приведения РЧ-резонатора в состояние резонанса посредством сигнала LLRF увеличивается скважность импульсов, что приводит к повышению средней мощности. По истечении половины рабочего цикла подается достаточное количество мощности для достижения необходимого уровня напряжения дуантов. Это занимает несколько секунд, за исключением тех случаев, когда устройство недавно было обесточено. Иногда во время обычного запуска или после технического обслуживания в объемном резонаторе могут возникать искровые разряды, приводящие к падению напряжения на дуантах. После этого стойка LLRF снова ограничивает РЧ-мощность и возобновляет процедуру запуска.

2.6.3.1. Регулировка мощности и напряжения

Стабильное правильное напряжение дуантов необходимо для извлечения ионов из источника и их ускорения. Сервоуправление напряжением дуантов осуществляется с помощью сигналов LLRF. Напряжение дуантов, необходимое для оптимального функционирования устройства, задается в процессе установки. Сигнал, пропорциональный напряжению дуантов, поступает от РЧ-антенны одного из объемных резонаторов циклотрона (Vdee (Напряжение дуанта)).

Наличие схемы ограничения РЧ-мощности гарантирует, что ток трубки не превысит верхний предел, когда компаратор напряжений (сравнивающий напряжение дуантов с полным напряжением) попытается увеличить мощность, подводимую к объемному резонатору, пока он не находится в состоянии резонанса. После настройки объемного резонатора работа цепи прекращается. Регулировка напряжения заключается в сопоставлении измеренного напряжения дуантов с заданным значением. Отрицательный обратный сигнал приводит к повышению напряжения дуантов за счет повышения выходной мощности модулятора.

2.6.3.2. Резонансная настройка

Для получения необходимого напряжения на дуантах РЧ-резонаторы должны находиться в состоянии резонанса. Правильная настройка осуществляется путем измерения фаз на коаксиальной линии в месте расположения соединителя. В состоянии резонанса РЧ-резонаторы обладают чисто активным сопротивлением, а сдвиг фаз между этими сигналами равен нулю. Резонансная настройка осуществляется путем добавления регулируемого емкостного элемента. При запуске у РЧ-резонатора будет наблюдаться сильное отклонение от состояния резонанса, поэтому конденсатор настройки будет находиться далеко от точки настройки. В этом случае система настройки будет переходить от максимального значения амплитуды к минимальному, приводя в действие конечные переключатели, меняющие направление развертки, до тех пор, пока не будет найдена точка настройки. Падение напряжения на дуантах из-за возникновения искровых разрядов также может стать причиной перехода системы в такой режим развертки. В режиме развертки РЧ-мощность всегда ограничена.

Дополнительная информация о стойке LLRF содержится в IBA “Cyclone Kiube” справочной технической документации производителя по РЧ-элементам используемой системы.

2.6.3.3. Усилители

Усилитель содержит два каскада усиления:

- Твердотельный усилитель мощностью 700 Вт, также известный как *промежуточный усилитель мощности или IMPA*, который принимает РЧ-сигналы от стойки LLRF.
- Усилитель на тетроде, также называемый *оконечным усилителем мощности или FPA*, который принимает выходной сигнал первого каскада и передает необходимую РЧ-мощность ускорителю.

Промежуточный усилитель мощности — это готовое промышленное изделие.

Оконечный усилитель мощности представляет собой *универсальный усилитель*, разработанный компанией IBA и использующийся в нескольких ускорителях производства IBA (см. Рисунок 10). В системах IBA “Cyclone Kiube” этот усилитель

используется в качестве оконечного усилителя. На последнем этапе питание поступает от следующих источников:

- ✓ Трансформатор накала
- ✓ Блок питания решетки
- ✓ Блок питания экрана
- ✓ Блок питания анода

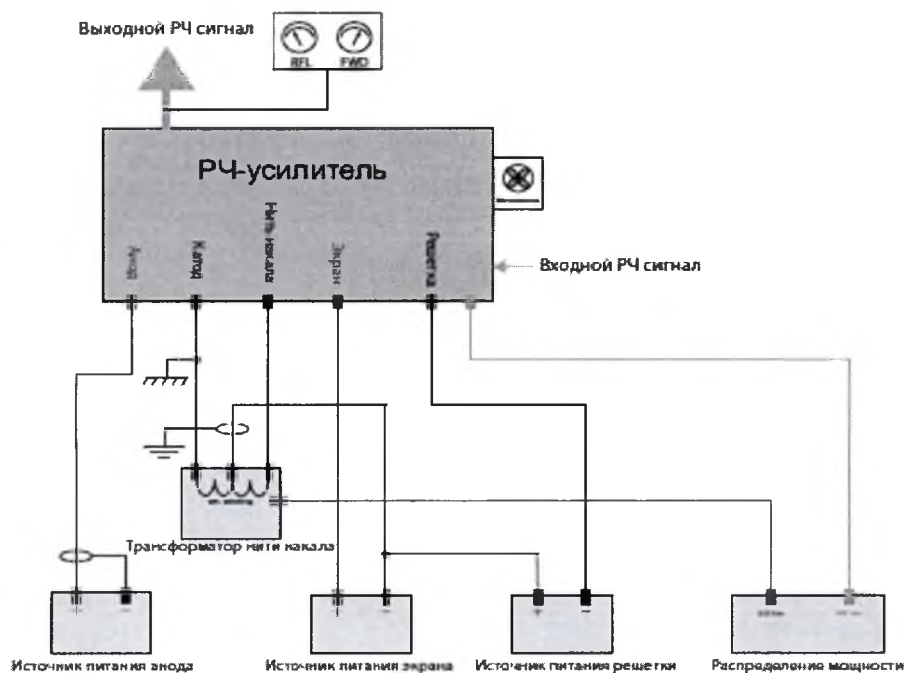


Рисунок 10. Схема блока питания РЧ-усилителя

Для большинства элементов усилителя предусмотрено принудительное воздушное охлаждение.

2.6.4. Дуанты и РЧ-резонаторы

РЧ-система внутри циклотрона состоит из следующих компонентов (см. также Рисунок 11):

- □ Объемные резонаторы и обшивка их основания;
- □ Дуанты, каждый из которых установлен на конце *опоры*, соприкасающейся со стенками РЧ-резонатора только концом, противоположным дуанту;
- □ Противоположные дуанты.

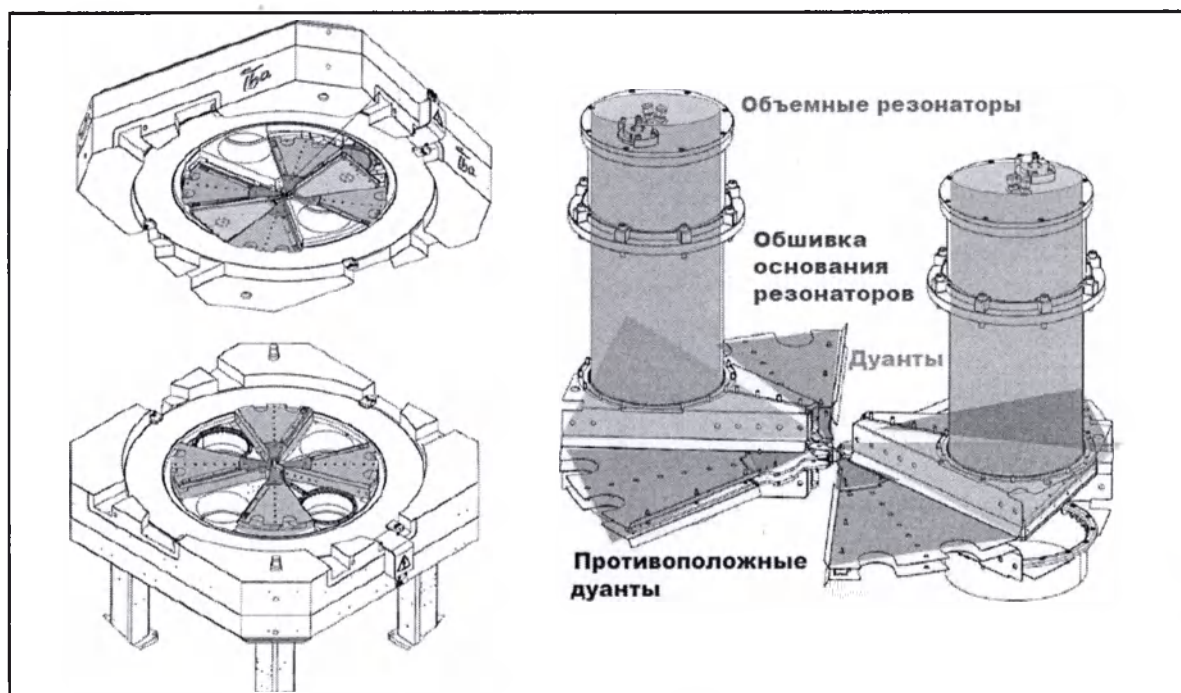


Рисунок 11. РЧ-компоненты внутри циклотрона

Такую конструкцию РЧ-резонатора можно сравнить с коаксиальной линией передачи, открытой с конца дуанта и заземленной с противоположного конца, или с колебательным контуром, емкостный вклад которого по большей части обусловлен близким расположением дуантов и их имитаторов, а индукционный вклад — стенками РЧ-резонатора и опорами дуантов.

2.6.5. Механизм резонансной настройки и связь с РЧ-резонатором

Элемент связи с РЧ-резонатором и механизм резонансной настройки представлены на Рисунке 12 и расположены с противоположных сторон срединной плоскости циклотрона.

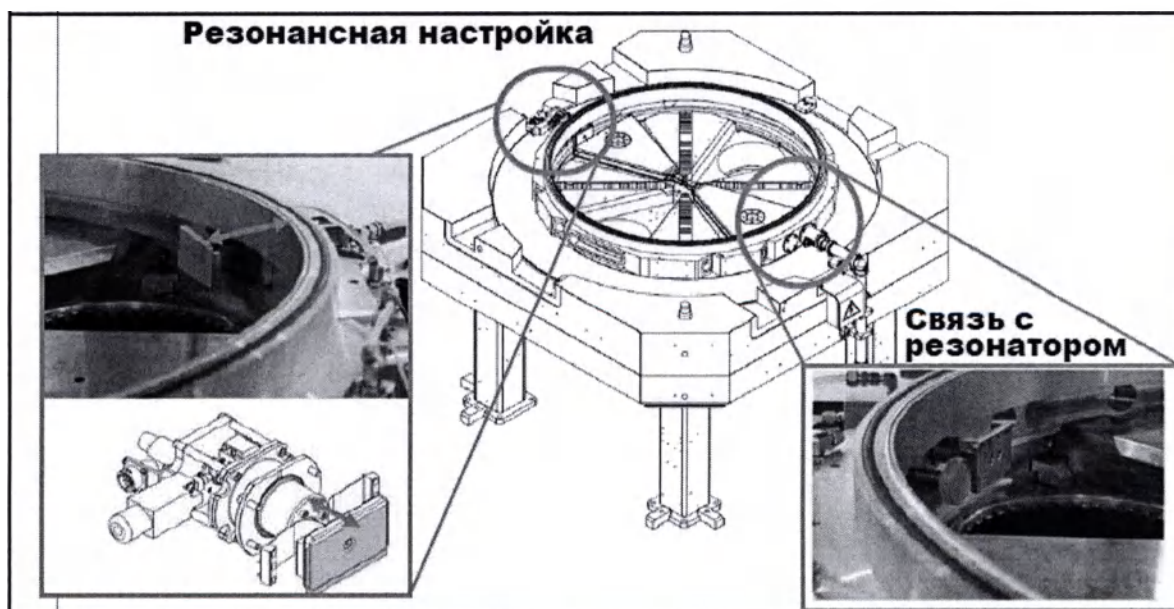


Рисунок 12. Связь с РЧ-резонатором и резонансная настройка

РЧ-мощность передается объемному резонатору с помощью емкостной связи. Емкостная связь устанавливается изготовителем и не требует настройки при обычном использовании.

Механизм резонансной настройки представляет собой пластинчатый конденсатор, соединенный с приводным механизмом и задней пластиной дуанта. Привод, который приводится в действие фазосравнивающими электронными схемами на стойке LLRF, регулирует положение пластины для настройки резонансной частоты объемных резонаторов в соответствии с частотой системы Low Level RF.

2.7. Ионный источник

Для получения отрицательно заряженных ионов используется ионный источник пеннинговского типа с холодным катодом (PIG). Ионный источник Ion Source размещен в двух углублениях, в которых не установлены ускоряющие электроды (дуанты). Компоненты источника расположены радиально. Положение источника контролируется двумя приводами.

2.7.1. Принцип работы

В основе работы ионного источника Ion Source лежит принцип ионизации материала путем удаления одного или нескольких электронов из молекул (образование положительных ионов) или присоединения одного или нескольких электронов (образование отрицательных ионов). Для начала этих процессов необходимо обеспечить достаточное количество энергии. Это достигается за счет бомбардировки молекул газа электронами. Ионный выход зависит от нескольких факторов, включая тип и давление газа, а также энергию, длину траектории и распространенность электронов.

2.7.2. Формирование ионной плазмы

Ионный источник PIG состоит из двух катодов, расположенных на противоположных концах цилиндрического анода, вдоль оси которого образуется магнитное поле, обеспечивающее локализацию электронов.

Разность электрических потенциалов катодов приводит к испусканию электронов, которые колеблются между катодами (см. Рисунок 13), поскольку их способность рассеиваться к стенкам анода существенно ограничена магнитным полем. Это увеличивает время жизни электронов и повышает вероятность ионизации молекул газа этими электронами. В системах компании IBA используются ионные источники PIG, в которых катоды нагреваются в результате бомбардировки их поверхности ионами. Несмотря на то что в рабочем режиме потенциал катода составляет несколько сотен Вольт, источник питания должен обеспечить напряжение около 3 кВ при слабой силе тока для зажигания дуги. После возбуждения дуги возникает электрический потенциал, обеспечивающий вытягивание внешнего электрона из электронных оболочек атомов газа, а катоды начинают нагреваться за счет бомбардировки ионами. В этих условиях электроны испускаются в результате двух процессов: термоэлектронная эмиссия (основной механизм) и бомбардировка ионами (дополнительный механизм).

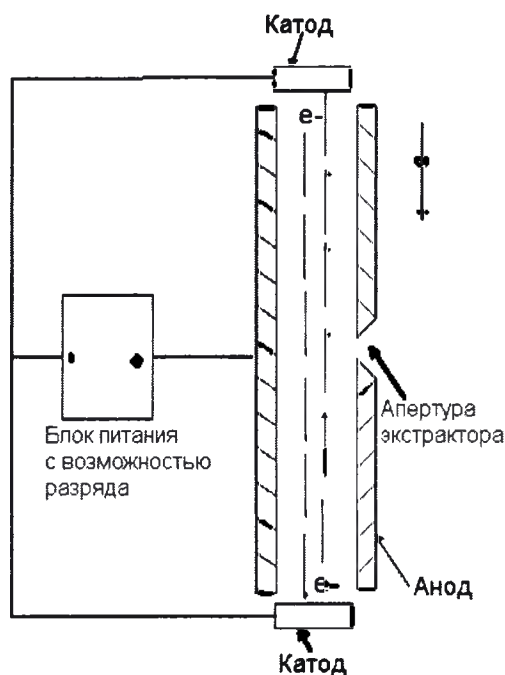


Рисунок 13: Электронная эмиссия в результате ионной бомбардировки

При образовании плазмы формируются отрицательные и положительные ионы, а также нейтральные частицы (H^- , H^+ и H^0). При этом отрицательные ионы (H^-) главным образом присутствуют вдоль границы плазменного шнура, как показано на Рисунке 14, где энергия электронов является относительно низкой, благодаря чему отрицательные ионы (H^-) могут сохраняться. После включения ионного источника Ion Source потенциалы катодов увеличиваются, а номинальная энергия, выделяемая в результате падения ионов, повышается до того уровня, при котором катоды нагреваются в достаточной степени для осуществления термоэлектронной эмиссии. Наличие большого количества тепловых электронов приводит к значительному повышению эффективности ионизации. Мощность, подводимая к катодам, равна потерям энергии на излучение (закон Стефана–Больцмана) и электропроводность вдоль ножки катода. Любое увеличение мощности, потребляемой ионным источником Ion Source, приводит к увеличению тока, но снижает потенциал катодов. При работе в этом режиме, известном под названием *режима термической ионизации*, ионный источник Ion Source демонстрирует отрицательное динамическое сопротивление, и ток дуги должен быть ограничен внешней цепью. Для этого можно последовательно соединить с источником питания Power Supply и ионным источником Ion Source силовой резистор. При переходе ионного источника Ion Source в режим термической ионизации значительно повышается ток во внешней цепи. Это повышение вызывает падение напряжения на внешнем резисторе, что требует соответствующего изменения напряжения на дуге.

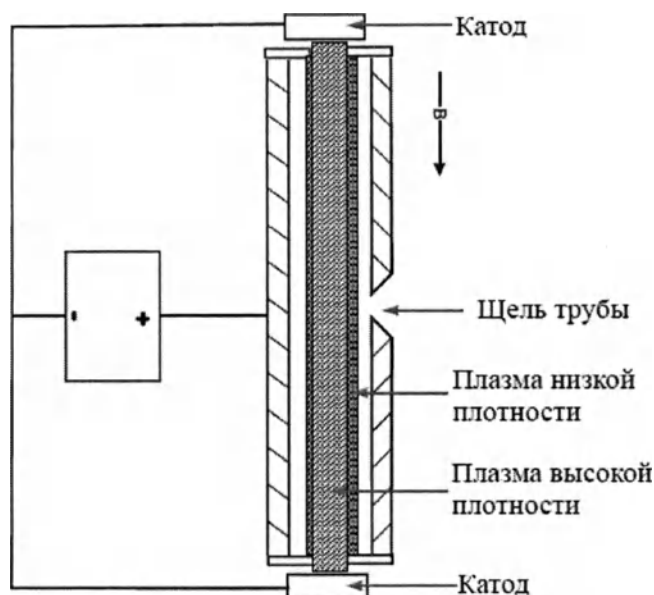


Рисунок 14: Плазменный шнур

Снижение напряжения на дуге ограничивает увеличение тока и обеспечивает стабильную работу оборудования (см. Рисунок 15). Ионизация осуществляется под действием тока во внешней цепи (*тока дуги*) и, следовательно, зависит от источника питания и резистора ограничения тока, который является удобным средством регулирования процесса ионизации.

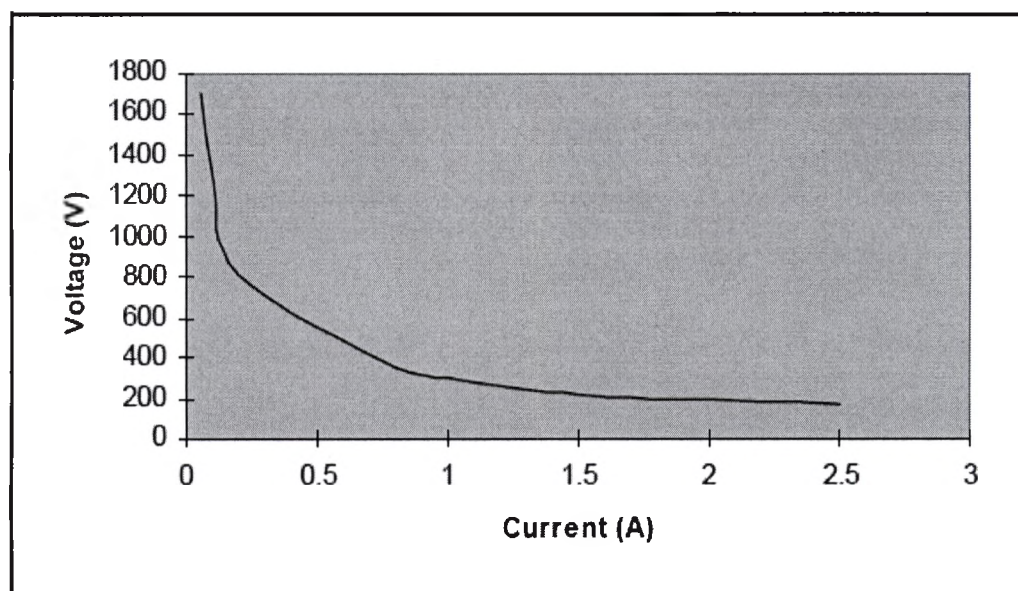


Рисунок 15: Вольт-амперные характеристики ионного источника

2.7.3. Экстракция отрицательно заряженных ионов

Для извлечения отрицательных ионов (H^-) необходимо небольшое расстояние между плазменным шнуром и вытягивающей щелью. Уменьшение или полное отсутствие такого зазора будет препятствовать сохранению отрицательных ионов, в результате чего из плазмы главным образом будут извлекаться электроны.

Эффективность экстракции отрицательных ионов (H^-) напрямую зависит от наличия зазора для распространения плазменного шнура. Труба ионного источника системы IBA "Cyclone Kiube" оснащена коллиматором для получения оптимального зазора. Коллиматор не является отдельным элементом, а вмонтирован в корпус трубы.

При нулевом потенциале источника с помощью положительного выводящего электрода можно осуществлять селекцию ионов, вытягиваемых через щель. В системе IBA “Cyclone Kiube” напряжение дуанта создает положительный потенциал извлечения.

Поскольку напряжение дуанта является постоянной величиной, зазор между выводящим электродом и щелью трубы отрегулирован таким образом, чтобы создавалось электрическое поле, притягивающее отрицательные ионы, и при этом сохранялся фокус пучка при заданном напряжении дуанта.

2.7.4. Рабочие параметры

Таблица 3 содержит общие сведения о главных факторах, влияющих на эффективность работы ионного источника Ion Source, а также некоторые рекомендации по предотвращению проблем.

Распыление	Распыление ионов тантала происходит главным образом в результате столкновения с высокоэнергетическими атомами. Из-за низкой атомной массы скорость распыления водорода или дейтерия является низкой, поэтому срок эксплуатации катода зависит от чистоты газа, плотности газового потока и чистоты трубы.
Газовый поток	Для возбуждения дуги необходимо оптимизировать поток газа, однако, чрезмерное усиление потока приведет к повышению давления в циклотроне и повышению степени обдирки ионов в устройстве. Тем не менее, если требуется отрегулировать поток газа, следует всегда следить за величиной тока мишени, а не тока датчика, поскольку при увеличении газового потока повышается степень обдирки ионов (инструкции по регулировке газового потока см. в соответствующем руководстве по техническому обслуживанию).
Вакуум	Чем ниже уровень вакуума, тем выше степень обдирки ионов в устройстве. Это означает, что при недостаточном уровне вакуума увеличение тока дуги может не привести к увеличению тока мишени. Перед увеличением тока дуги всегда проверяйте уровень вакуума.
Положение катода	Расширяясь при нагревании, катод может соприкоснуться с корпусом трубы, что приведет к короткому замыканию источника ионов Ion Source. При установке новых катодов необходимо следить за точностью их позиционирования в трубе (см. соответствующие инструкции в руководстве по техническому обслуживанию используемой системы).
Размер щели трубы	При всех прочих постоянных параметрах величина тока пучка, извлеченного из источника, пропорциональна площади апертуры экстрактора, однако, поддержание постоянного давления газа приведет к увеличению потока и, как следствие, к увеличению давления в циклотроне и повышению степени обдирки ионов. Необходимо регулярно проверять щель трубы и заменять трубу при сильной эрозии щели.

Таблица 3. Рабочие параметры

На графике ниже (Рисунок 16) представлены рабочие характеристики ионного источника Ion Source с учетом приведенных выше оптимальных параметров.

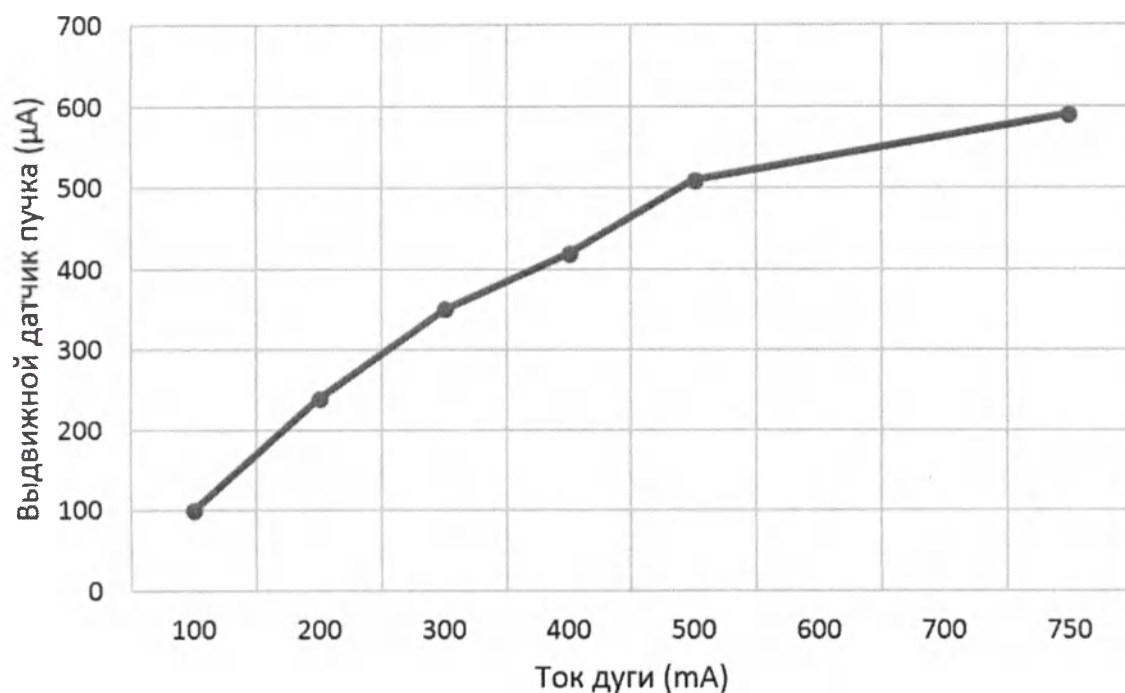


Рисунок 16. Выходные параметры ионного источника

2.7.5. Узел источника

Внутри циклотрона системы IBA “Cyclone Kiube” находятся два ионных источника Ion Source. На Рисунке 17 они выделены голубым цветом:

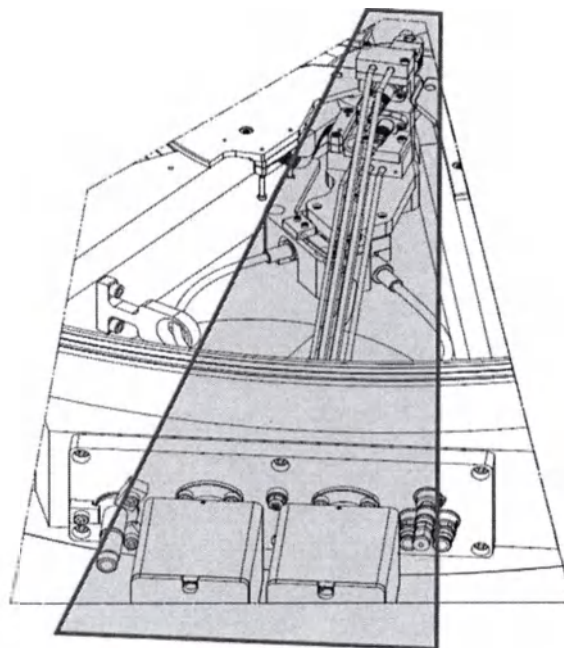


Рисунок 17. Ионные источники внутри циклотрона

Узел любого ионного источника Ion Source состоит из следующих подузлов и также представлены на Рисунке 18:

- ✓ Головка ионного источника;
- ✓ Газовый поток;
- Водяное охлаждение;
- ✓ Электрические соединения;
- ✓ Соединительный фланец;
- ✓ Механизм позиционирования.

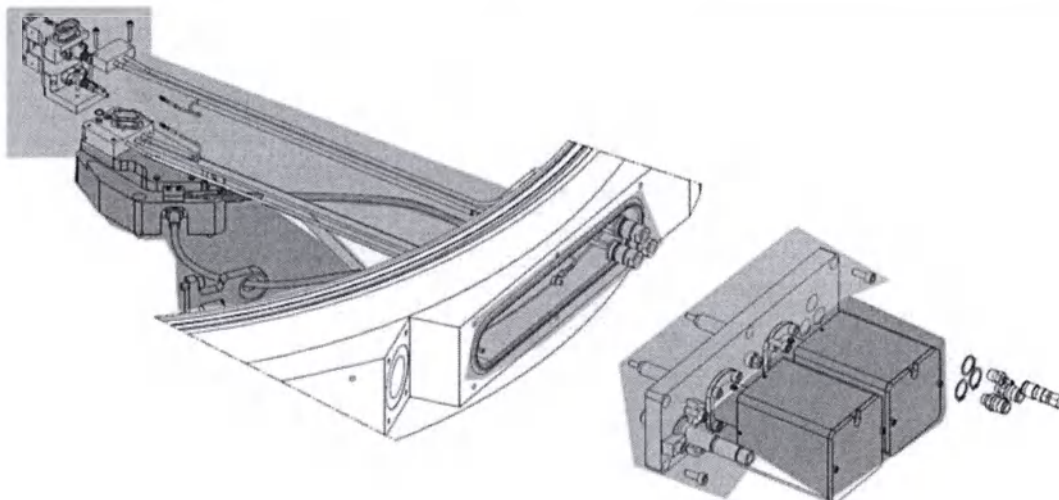


Рисунок 18. Подузлы ионного источника

Головка ионного источника состоит из трубы, катодов, керамических изоляторов и высоковольтного соединения, и наглядно представлены на Рисунке 19.

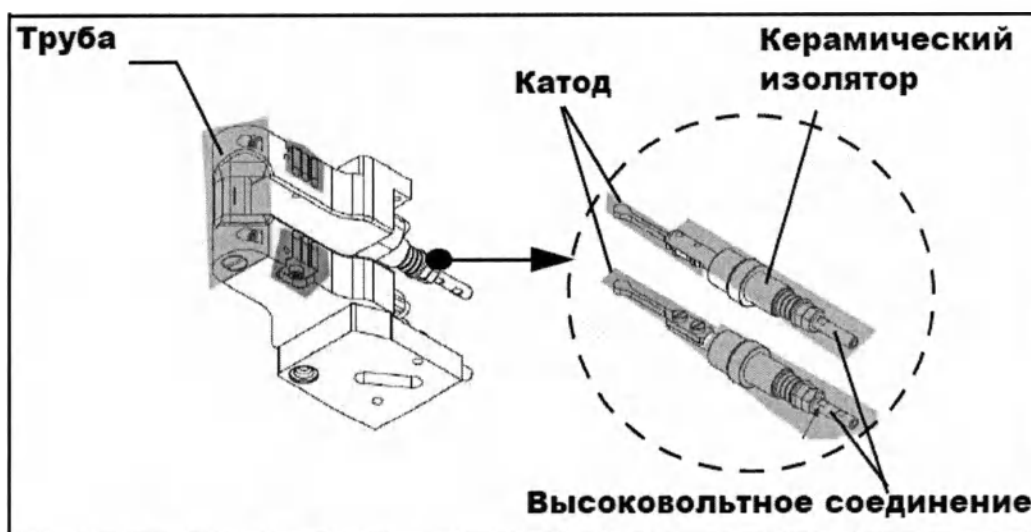


Рисунок 19. Труба и катоды ионного источника

Схема соединения ионного источника с линией подачи газа, а также водяное охлаждение и электрические соединения представлены на Рисунке 20.

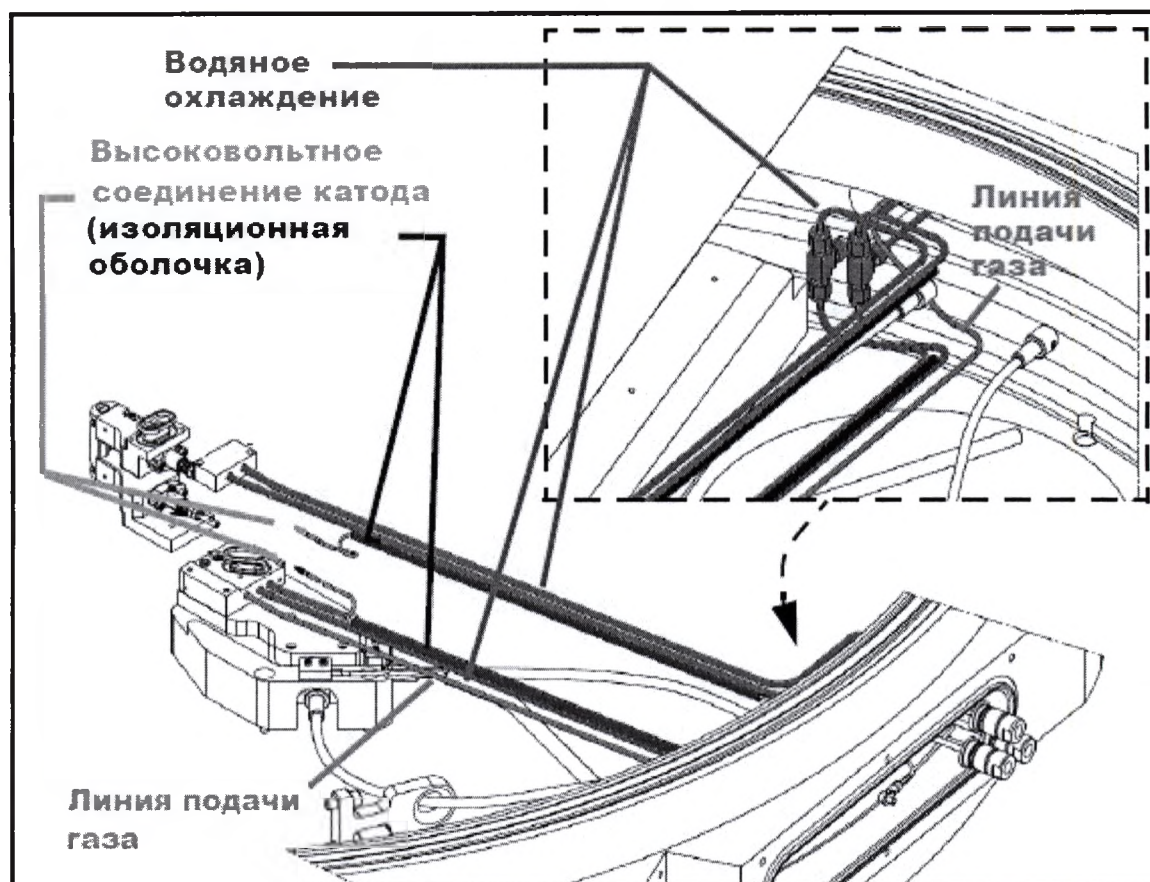


Рисунок 20. Подача газа к ионному источнику, водяное охлаждение и электрические соединения

2.7.6. Механизм позиционирования

Два шаговых привода и координатный стол с перемещением по осям X и Y обеспечивает точность позиционирования трубы относительно выводящего электрода. Регулировка осуществляется через пользовательский интерфейс станции управления.

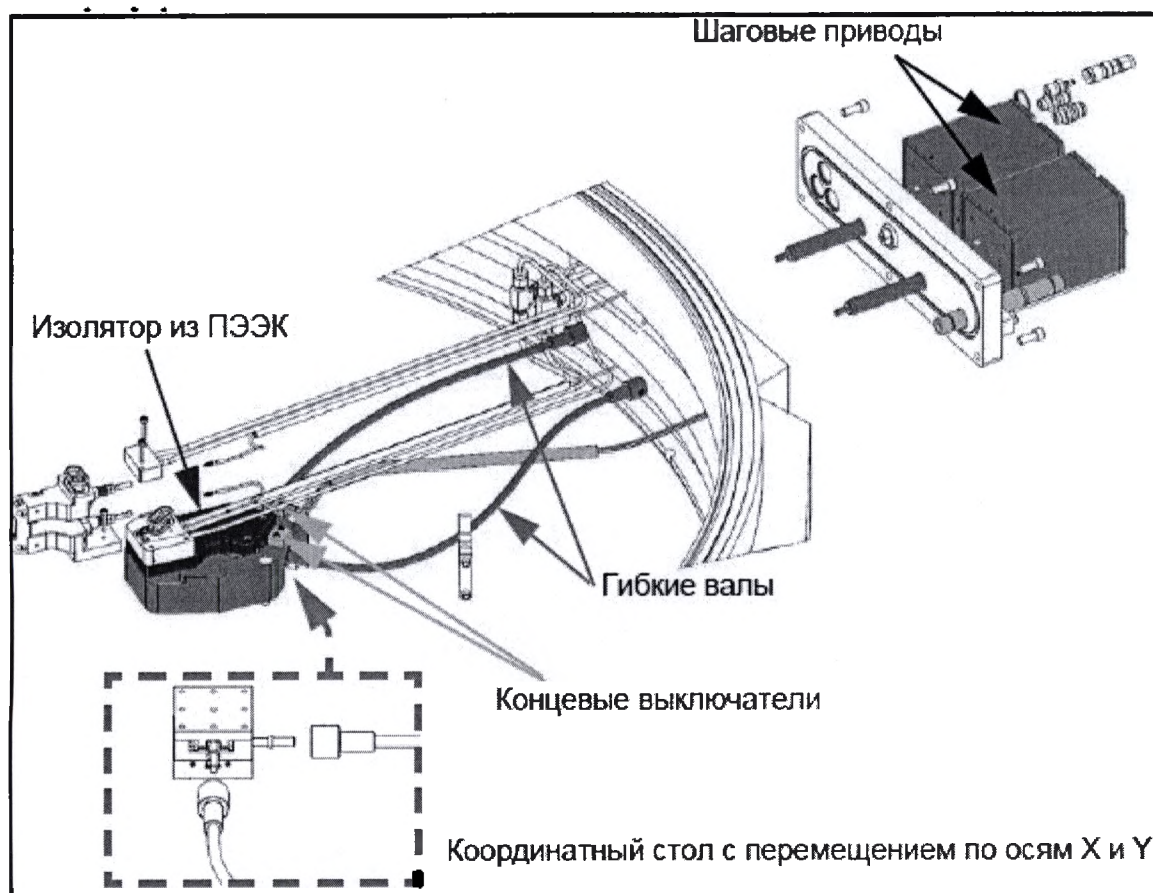


Рисунок 21. Механизм позиционирования ионного источника

2.7.7. Система подачи газа

Включение и выключение потока газа осуществляется посредством пневматического клапана как представлено на Рисунке 22. Система также оснащена специальным регулирующим клапаном (PORTER) для контроля и регулировки потока газа. Скорость потока газа зависит от входного давления и настроек клапана регулирования потока. При проведении технического обслуживания любых частей газоподводящего оборудования важно следить за тем, чтобы газ оставался максимально чистым, поскольку от этого зависит срок эксплуатации катода ионного источника Ion Source. Необходимо тщательно очищать любые поверхности, контактирующие с подаваемым газом, и следить за тем, чтобы на них не оставалось частиц растворителя. Кроме того, система должна быть абсолютно герметичной.

H_2	N60 (99,9999 %)	2 бара
-------	-----------------	--------

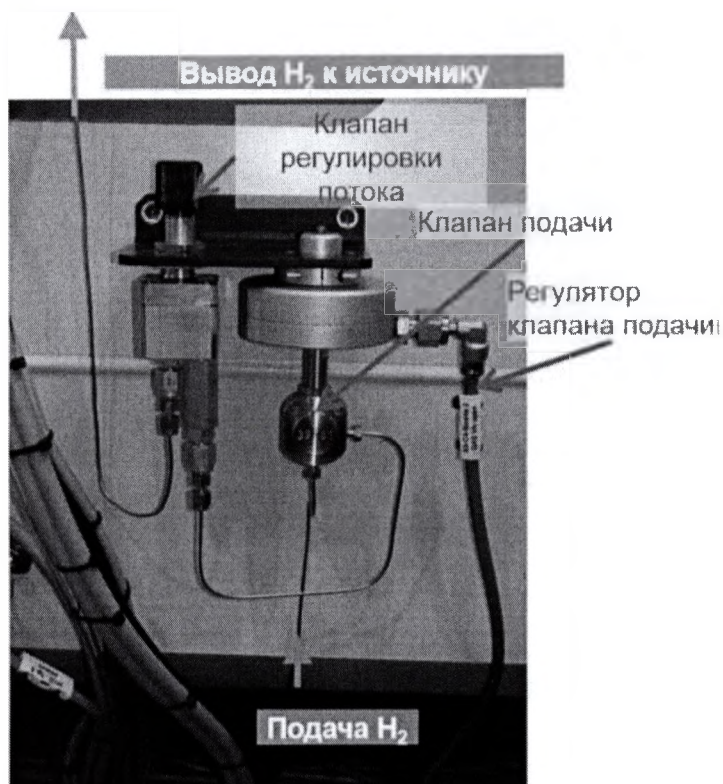


Рисунок 22. Подача газа в ионный источник

2.7.8. Система вывода пучка

В системе IBA «Cyclone Kiube» положительные ионы выводятся при помощи экстрактора. Отрицательные ионы ускоряются до необходимого для вывода радиуса и проходят сквозь очень тонкую углеродную фольгу экстрактора, в результате чего теряют два электрона. Полученные в результате положительные ионы устремляются наружу под воздействием магнитного поля циклотрона (см. Рисунок 23).

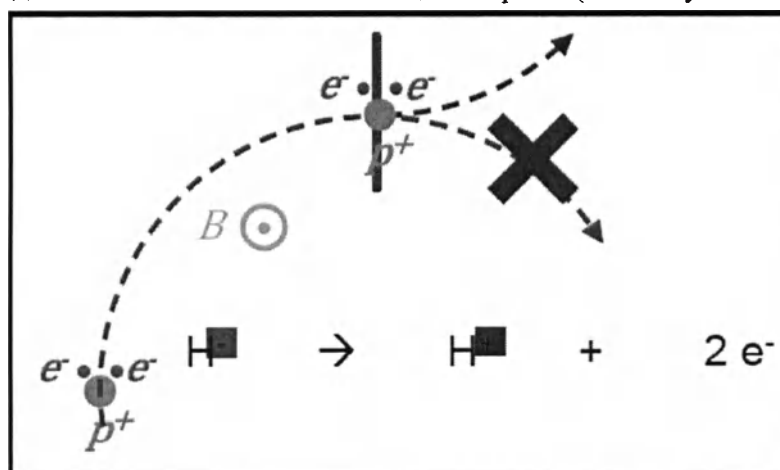


Рисунок 23. Вывод пучка при помощи экстрактора

2.7.9. Строение экстрактора

Фольга экстрактора располагается на разветвителях, которые присоединены к карусели. Каждая карусель прикреплена к концу вращающейся оси, которая проходит сквозь верхнее ядро магнита. Ось прикреплена к шаговому приводу (см. Рисунок 24). Система IBA «Cyclone Kiube» в стандартной конфигурации включает в себя четыре комплекта экстракторов; если в системе установлено более четырех мишеней, для каждой дополнительной мишени предоставляется отдельный экстрактор.

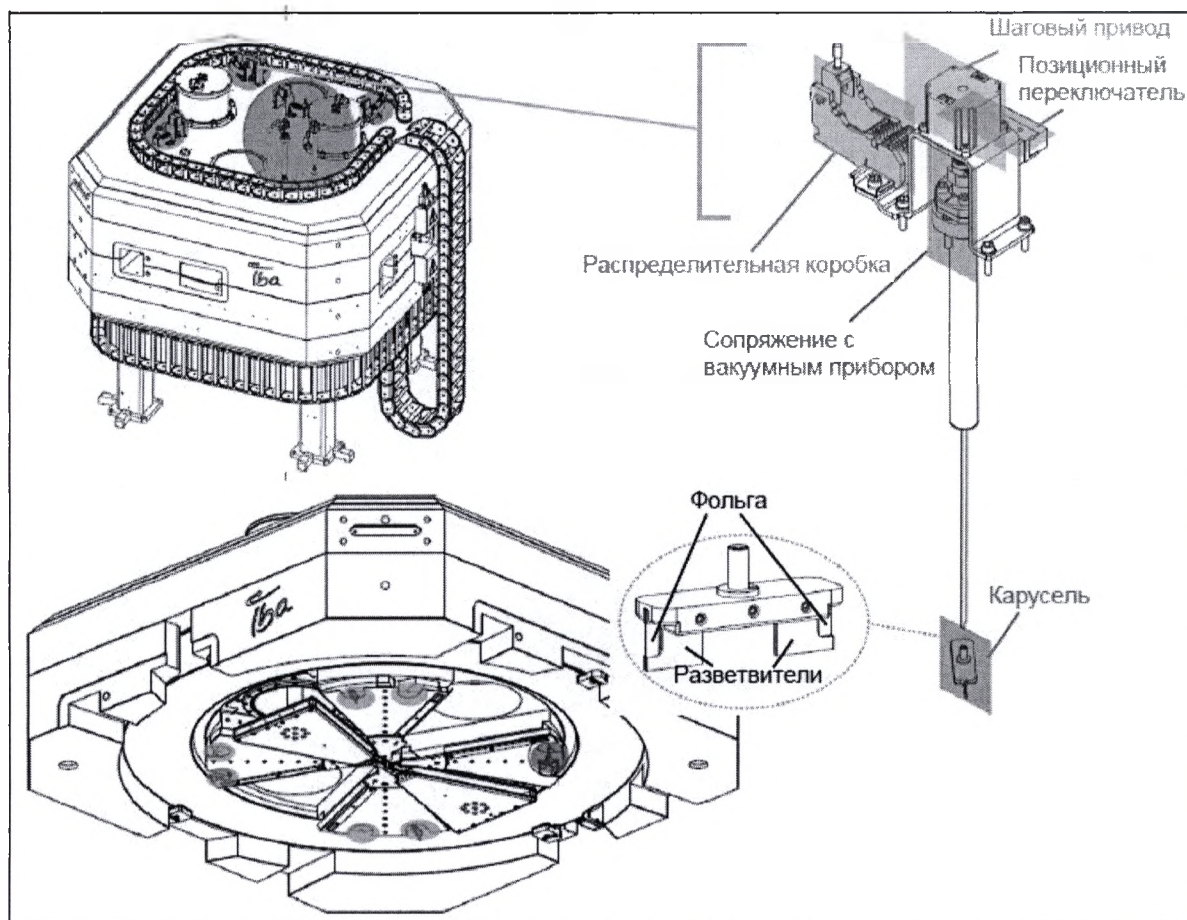


Рисунок 24. Строение экстрактора

2.7.10. УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ЭКСТРАКТОРА

Контроль перемещений экстрактора выполняется при помощи системы управления ускорителя через электронный блок с платами управления. Шаговый привод контролирует вращение карусели экстрактора. Предусмотрено три положения карусели: положение покоя, при котором фольга полностью убрана с пути пучка, положение, при котором на пути пучка находится один экстрактор, и положение, при котором на пути пучка находится второй экстрактор. В положении покоя полоски фольги равноудалены от линии, проходящей сквозь центр устройства и к противоположной карусели. Перед поворотом фольги в положение для захвата пучка (так называемое выбранное положение), система управления всегда проверяет наличие контакта с переключателем в нулевом положении (положении покоя), чтобы точно выбрать позицию вывода пучка. При отмене выбора экстрактора система управления поворачивает карусель в положение покоя, убирая ее с пути пучка (так называемое невыбранное положение) перед тем, как отключить электропитание привода.

2.7.11. Двойной вывод пучка

Вывод пучка в двух выходных точках возможен благодаря двум факторам:

- Частицы расположены не в абсолютном геометрическом центре циклотрона, из-за чего пучок обладает определенной шириной.
- Радиальные осцилляции частиц вокруг равновесной орбиты выполняются с определенной частотой.

Благодаря этому создаются области, в которых пучок небольшой, но выражено неоднородный, а также области, в которых пучок широкий и относительно однородный. Для вывода с помощью экстрактора пучков разной интенсивности необходимо чередовать последовательности для наведения различных частей пучка на фольгу экстрактора, чтобы получать разную интенсивность пучка с каждого экстрактора. Самый удобный способ добиться этого — немного отрегулировать напряжение дуантов, что приведет к изменению кривой поворота. Кривая поворота вращению пучка относительно геометрической конструкции циклотрона. Сделать это путем изменения магнитного поля значительно сложнее, так как это может привести к ослаблению изохронности и потере пучка. При изменении напряжения дуантов ускорение на поворот меняется на один поворот (в сторону увеличения или уменьшения), в результате чего вращается кривая поворота, а также меняется центрирование пучка, что позволяет получать разную интенсивность пучка с каждого экстрактора. Схема кривых поворота представлена на Рисунке 25.

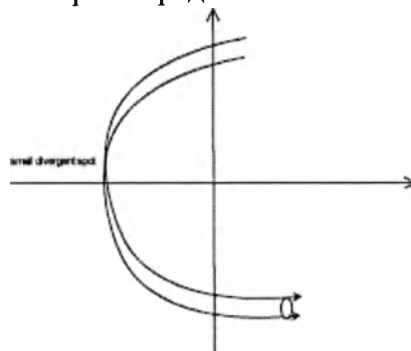


Рисунок 25. Кривая поворота

2.7.12. Система выдвижного датчика

Выдвижной датчик — это выдвижное устройство захвата пучка с функцией измерения тока пучка для отслеживания показателей пучка рядом с выходным отверстием ионного источника (приблизительно 13 см от центра устройства). Он прикреплен к верхней части ярма магнита циклотрона и выдвигается вниз на путь пучка (см. Рисунок 26). Эта система служит для оптимизации выходных параметров ионного источника и отслеживания процесса транспортировки пучка в мишень.

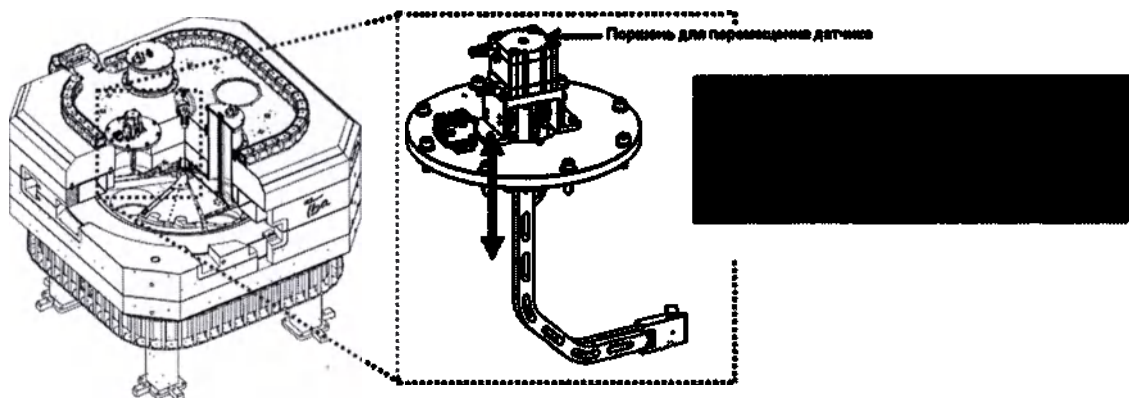


Рисунок 26. Выдвижной датчик

Датчик работает на пневматическом цилиндре. Имеются два концевых выключателя для определения положений полного выдвижения и полного возврата.

2.8. Мишень NIRTA

2.8.1. Обзор

Мишень Nirta включает в себя:

1. Корпус, в который помещен блок шприцевого насоса, находится в щитовой комнате Power Supply Room и представлена на Рисунке 27.

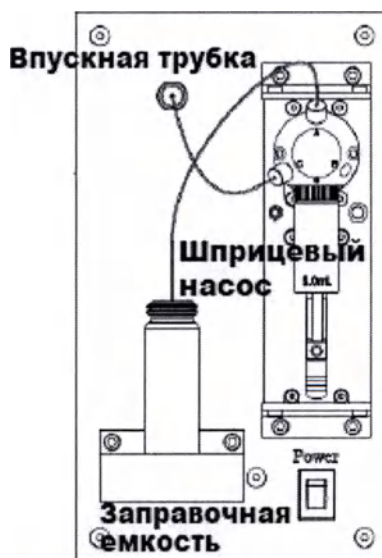


Рисунок 27. Корпус мишени

2. Блок распределительных трубок мишени присоединен к основанию циклотрона, а блок вспомогательных устройств мишени содержит клапаны для подачи жидкости к мишеням и ее отведения, и через него обеспечивается соединение шприцевого механизма и поворотного клапана (см. Рисунок 28).

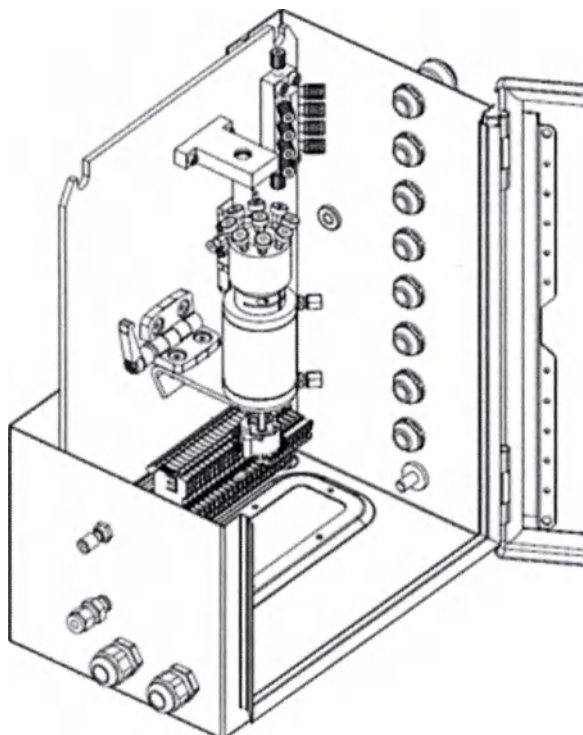


Рисунок 28. Блок распределительных трубок мишени

3. Система загрузки мишени расположена вокруг поворотного клапана рядом с мишенью (во избежание образования мертвого пространства).

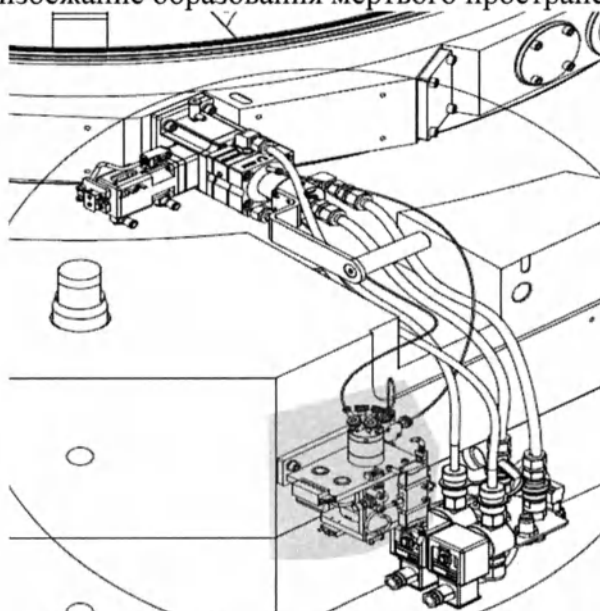


Рисунок 29. Система загрузки мишени

4. Держатель мишени и мишень в сборе. Мишень — это единственный компонент, которым модели отличаются друг от друга (см. Рисунок 30).
Примечание. Для охлаждения окон мишени используется поток гелия, который подается с помощью гелиевого компрессора через распределительную систему.



Рисунок 30. Держатель мишени

5. Система выходного переключателя мишени представлена на Рисунке 31 (приобретается дополнительно) для выбора пути переноса радиоактивности от любой мишени в любую горячую камеру (до 8 шт.).

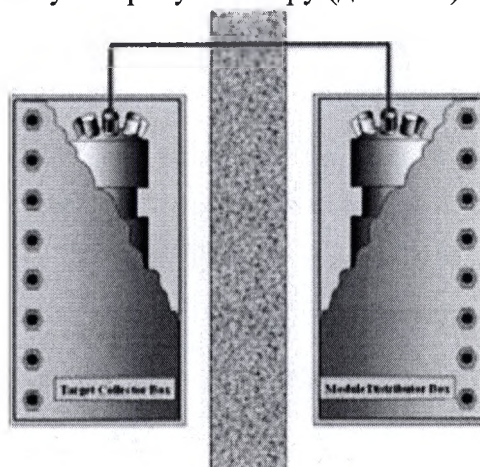


Рисунок 31. Система выходного переключателя мишени

2.8.2. Корпус системы шприцевого насоса и клапанный блок

Для заполнения жидкостных мишеней используется шприцевый насос с электроприводом, помещенный в специальный корпус, который можно расположить за пределами зоны бункера циклотрона для более простого заполнения заправочной емкости. Один шприцевый механизм может использоваться для всех мишеней, наполняемых одной жидкостью (до 8 шт.).

Жидкость подается из заправочной емкости в шприцевый насос через трехходовой клапан (этап *загрузки шприцевого насоса*). Приводной поршень шприцевого насоса проталкивает жидкость по направлению к мишени (этап *загрузки мишени*) через клапанный блок. Количество подаваемой воды (т. е. число ходов шприцевого механизма) регулируется программным обеспечением. Расположение клапанов в клапанном блоке зависит от количества подсоединенных мишеней. Этот блок также содержит фитинги для подведения гелия, который используется для продувки мишеней.

2.8.3. Система загрузки мишени

Устройство загрузки мишени представляет собой систему поворотного клапана для загрузки и разгрузки мишени. Эта система смонтирована на ярме магнитациклотрона рядом с мишеньюб которая представлена на Рисунке 32.

Поворотный клапан — это промышленный двойной трехходовой клапан, который приводится в действие сжатым воздухом. Привод перемещает клапан в одно из трех положений (под углом $+30^{\circ}$, 0° или -30°) путем подачи импульса напряжением 24 В постоянного тока на один из трех контактов, каждый из которых отвечает за определенное положение клапана (см. Табл. 4). При прекращении подачи энергии текущее положение клапана сохраняется.

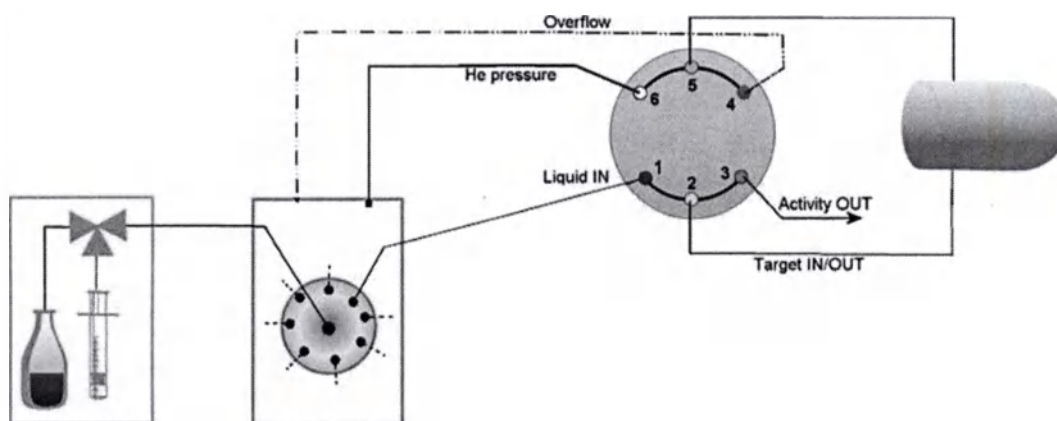


Рисунок 32. Положения поворотного клапана

Операция	Положение клапана
Загрузка мишени	Открытие соединения портов 1 и 2 Открытие соединения портов 5 и 4
Облучение мишени или режим ожидания	Все отверстия клапана закрыты
Перенос радиоактивности в лабораторию	Открытие соединения портов 2 и 3 Открытие соединения портов 6 и 5

Таблица 4. Положений клапана в рабочем режиме

2.8.4. Мишень и держатель мишени в сборе

Коллиматор и держатель мишени соединяют ускоритель и мишень между собой, удерживают мишень и окно мишени, а также обеспечивают необходимую коллимацию пучка (см. Рисунок 33).

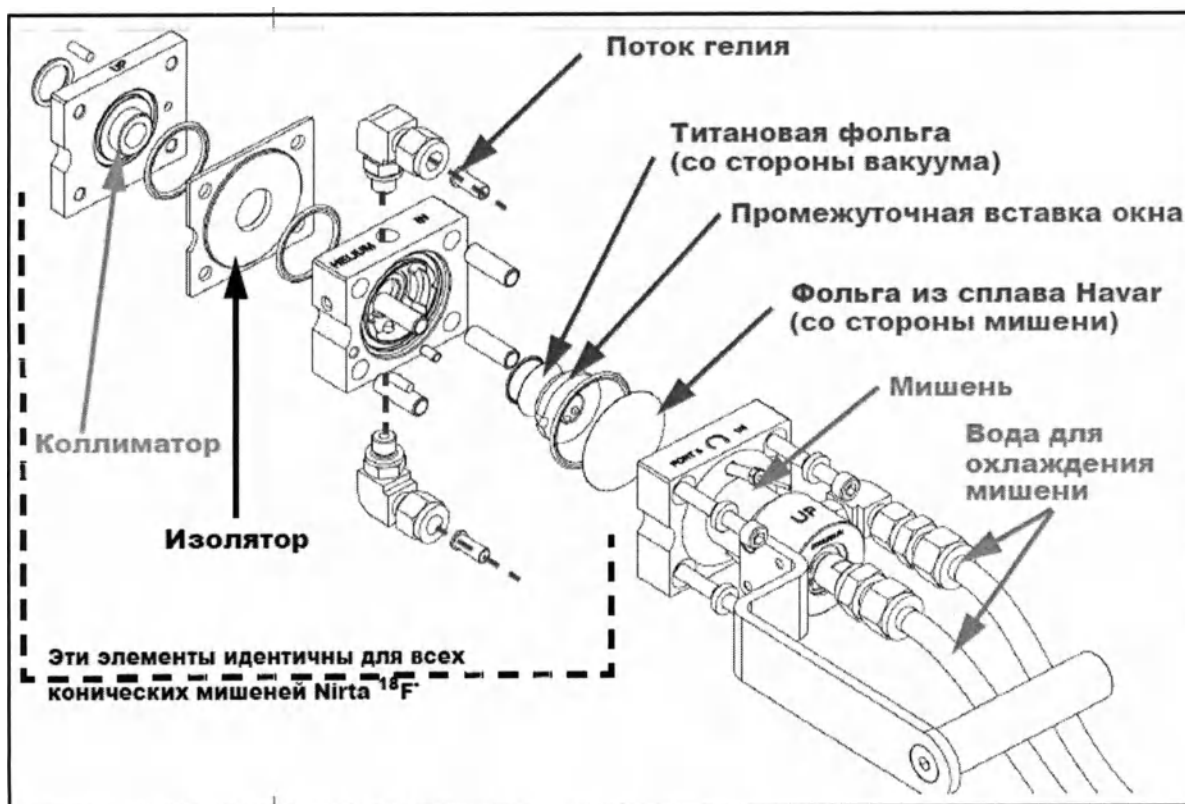


Рисунок 33. Держатель мишени и мишень в сборе

К держателю мишени подводится поток гелия для охлаждения окон. Промежуточная вставка окна, представленная на Рисунке 34 удерживает два элемента из фольги, закрывающих окно мишени, и обеспечивает распределение потока охлаждающего гелия по этим элементам (элемент со стороны мишени выполнен из сплава Navar, а элемент со стороны вакуума — из титановой фольги). В промежуточной вставке имеется десять впускных отверстий для гелия диаметром 1,6 мм (расположенных в два ряда по пять отверстий в каждом) и три выпускных отверстия диаметром 3 мм со стороны окна мишени, а также одно впускное отверстие диаметром 3 мм со стороны вакуума.



Рисунок 34. Промежуточная вставка окна

Мишень состоит из трех основных элементов: *корпус из алюминиевого сплава*, в который помещается *вставная камера мишени*, и *диффузор охлаждающего потока*

(Рис. 35). Вставная камера, образующая полость внутри мишени, выполнена из ниобия.

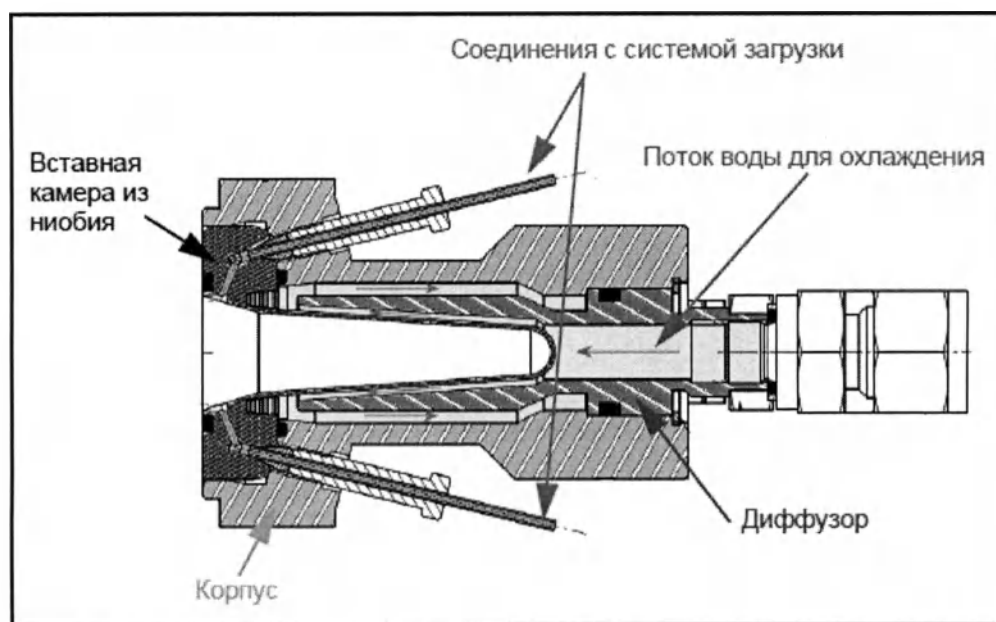


Рисунок 35. Общий вид мишени

Вода для охлаждения мишени подается в заднюю часть мишени. Диффузор распределяет охлаждающий поток по всему корпусу мишени.

2.8.5. Система выходного переключателя мишени (приобретается дополнительно)

Система выходного переключателя мишени — это устройство, которое обеспечивает перенос выходного излучения от жидкостных мишеней (до 8 шт.) к обрабатывающим модулям (до 8 шт.).

Система состоит из двух соединенных друг с другом ступенчатых клапанов. Радиоактивное излучение поступает от мишеней на первый клапан, а затем — к обрабатывающим модулям через второй клапан.

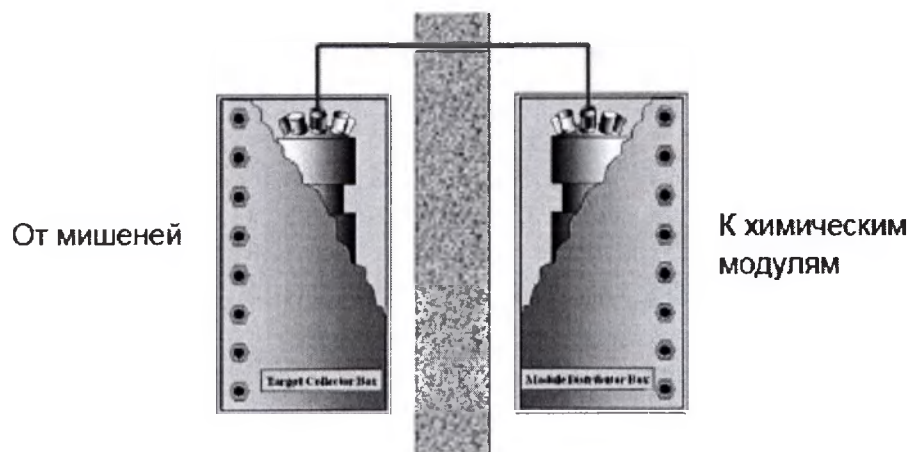


Рисунок 36. Схема системы выходного переключателя мишени

Каждый клапан находится в отдельном корпусе, один из которых обычно расположен в бункере для циклотрона, а второй — в горячей камере, как показано на Рис. 36. Оба корпуса абсолютно идентичны. Клапаны соединены между собой линией переноса. Клапаны представляют собой высокопрочные промышленные изделия, предназначенные специально для перемещения химических жидкостей. Клапаны и распределители приводятся в действие пневматическим механизмом.

2.8.6. Система гелиевого охлаждения

Гелиевый контур обеспечивает подведение к окнам мишени 1–2 литров гелия в секунду для их охлаждения и включает в себя три основных узла.

- Узел компрессора: сам компрессор — это готовое промышленное изделие, питание к которому подается через реле в шкафу управления. Для охлаждения компрессора используется вода.
- Блок вспомогательных устройств, включающий в себя устройства для повторного заполнения системы гелием и теплообменник.
- Клапанный блок, к которому подсоединены впускные и выпускные трубопроводы, расположенные вокруг циклотрона, включает в себя до восьми пар клапанов для обеспечения циркуляции гелия (т. е. его перемещения к мишени и обратно).

Автоматическая последовательность операций включает в себя продувку и повторное заполнение гелием контура системы, готовой к облучению мишени. При облучении мишени система представляет собой замкнутый контур.

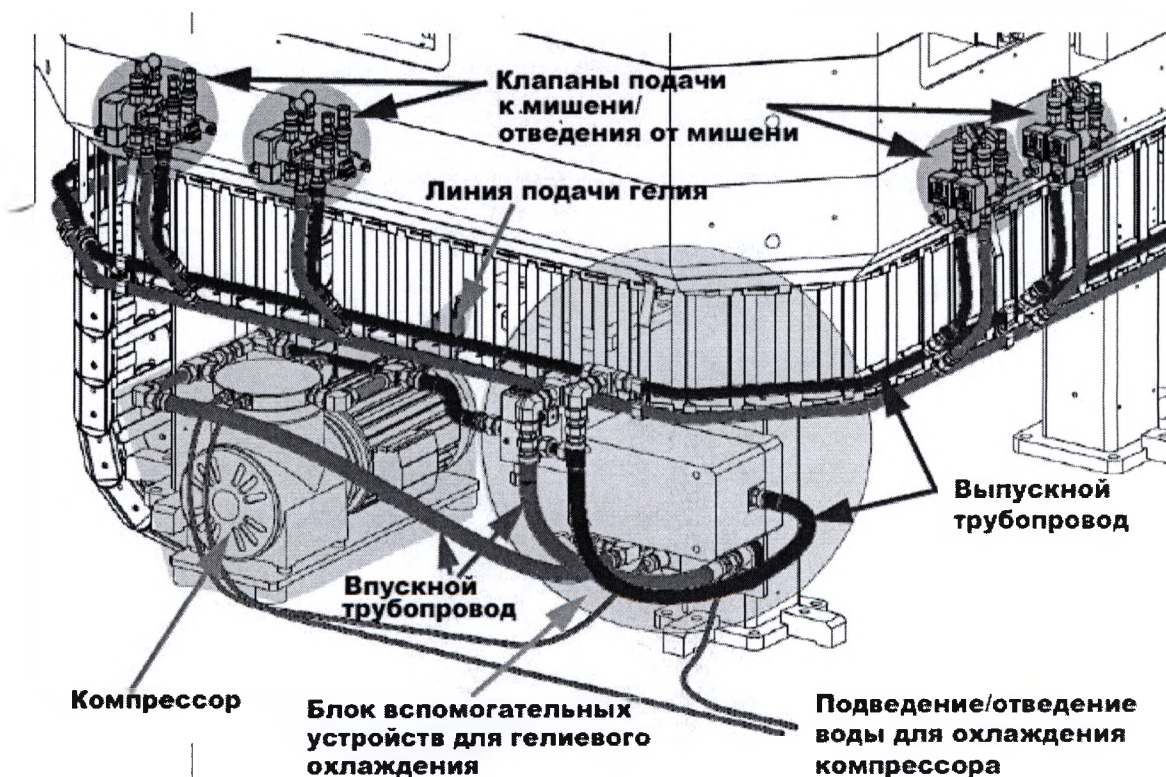


Рисунок 37. Обзор система гелиевого охлаждения

Гелий непрерывно подается к компрессору; максимальное давление подачи составляет 0,5 бар. Система подачи гелия включает в себя один трехходовой клапан,

датчики давления и датчики потока, входящие в блок вспомогательных устройств (см. ниже Рисунок 38).

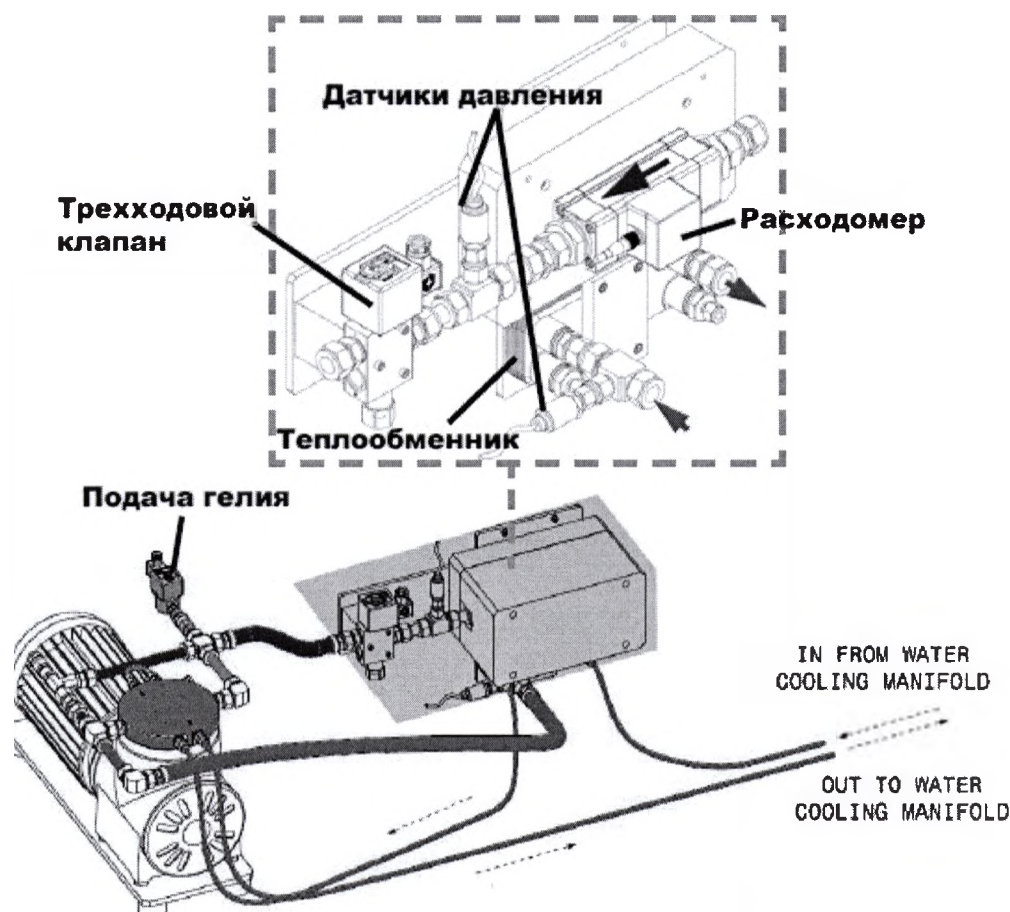


Рисунок 38. Система гелиевого охлаждения

Регулятор давления используется для настройки давления на стороне низкого давления контура (регулятор должен быть рассчитан на показатели давления от 0 до 1 бара).

Переключатель потока, идущего от мишени, подает системе управления сигнал о том, что поток гелия превышает установленное пороговое значение, что, в свою очередь, запускает сигнал, разрешающий начало облучения.

Система управления подает питание на трехходовой клапан, передает обратные сигналы от датчиков потока и давления, а также передает электроэнергию для питания до двух пар клапанов клапанного блока. Показатели давления и параметры потока отображаются на экранах интерфейса пользователя.

□□ В режиме ожидания клапан подачи гелия закрыт, а трехходовой клапан открыт со стороны компрессора.

□□ При нормальном режиме работы система управления функционирует как замкнутый контур, однако, производится кратковременная продувка для удаления воздуха из системы и ее повторного заполнения гелием.

В Табл. 5 указано положение всех клапанов в режиме ожидания и во время работы в автоматическом режиме.

	Подача гелия	Клапаны подачи гелия к мишени/отведения гелия от мишени	Трехходовой клапан	Компрессор
Режим ожидания	Перекрыта	Закреты	Замкнутый контур	Выкл.
Продувка	Открыта	Открыты	Разомкнутый контур	Вкл.
Система готова к облучению мишени	Открыта	Открыты	Замкнутый контур	Вкл.

Таблица 5. Положение клапанов системы гелиевого охлаждения

2.9. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

2.9.1. Система водяного охлаждения

Контур охлаждения аккумулирует отработанное тепло циклотрона, источников питания Power Supply с водяным охлаждением, расположенных в щитовой комнате Power Supply Room, и различных узлов мишени, а затем отдает ее пользовательской петле охлаждения. Циркуляция воды в контуре обеспечивается посредством водяного кондиционера; а распределение воды между всеми устройствами осуществляется через клапанный блок.

При циркуляции воды блок водяного кондиционера охлаждает ее и высвобождает отработанное тепло в пользовательскую петлю охлаждения через теплообменник. Регулировка этого процесса теплообмена позволяет поддерживать температуру охлаждающей воды в пределах заданного диапазона. В водяном кондиционере также происходит деионизация охлаждающей воды для того, чтобы ее удельная проводимость оставалась достаточно низкой; в противном случае электрический ток может протекать по контуру охлаждения между элементами циклотрона.

Поток воды, который подается на оборудование, делится на две части, одна из которых подводится к насосам Oil Diffusion Pump, а вторая — к водяному коллектору, где она распределяется по нескольким петлям охлаждения. Это позволяет перекрывать подачу воды к коллектору (с помощью электроклапана), когда система находится в режиме ожидания, сохраняя при этом подачу воды для охлаждения насосов Oil Diffusion Pump. После прекращения подачи воды в одну из петель охлаждения переключатели потока каждой петли отправляют сигналы о блокировке системе управления. Водяной кондиционер состоит из насоса, ионитовой колонки, водяного резервуара, сообщающегося с атмосферой, теплообменника и присоединенного трубопровода. Коллектор смонтирован непосредственно на циклотроне.

2.9.2. Водяной кондиционер

Схема водяного кондиционера представлена на Рисунке 39.

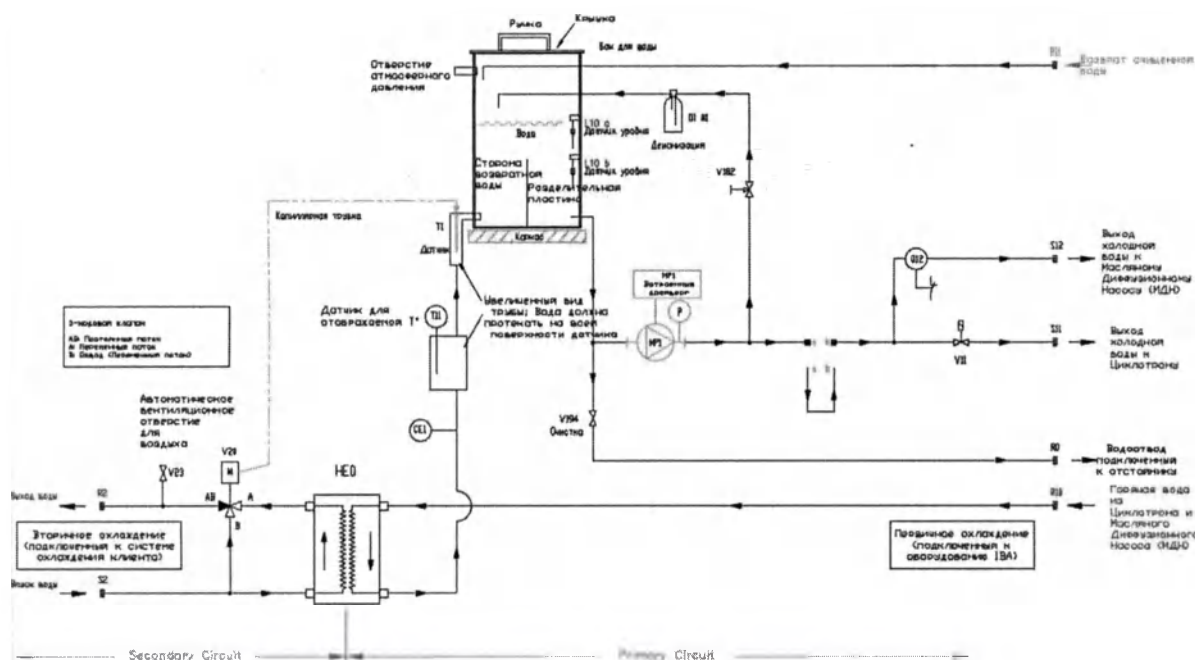


Рисунок 39. Схема водяного кондиционера

2.9.2.1. Насос

Подача потока воды осуществляется одним насосом.

2.9.2.2. Удельная проводимость воды

В водяном кондиционере часть охлажденной воды пропускается через ионитовую колонку и только после этого возвращается в основной контур. Такой способ поддержания необходимого уровня удельной проводимости воды в контуре достаточно удобен, поскольку для него не требуется ионитовая колонка большого размера. Устройство для измерения удельной проводимости (обозначение «ТЕ/СЕ 1» на Рис. 39), которое также измеряет температуру воды, отправляет аналоговый входной сигнал непосредственно ПЛК.

2.9.2.3. Уровень воды

После первоначального заполнения водяной резервуар пополняется по мере необходимости через клапан с ручным управлением. Перед запуском циклотрона удельная проводимость воды в водяном кондиционере снижается до безопасного уровня. При нормальном режиме работы отработанная вода, попадающая в резервуар из одного или нескольких коллекторов, повторно пропускается через циркуляционную систему, таким образом, контур охлаждения является замкнутой системой, и добавление воды в резервуар не требуется. Система управления подключена к двухуровневому приводу (обозначение «LS» на Рис. 39) внутри резервуара. При понижении уровня воды ниже верхнего предельного значения система управления отправляет пользователю предупреждающее сообщение о необходимости добавить воду в резервуар. Если уровень воды опускается ниже минимального предельного значения, выполняется безопасная остановка работы циклотрона для предотвращения повреждения оборудования из-за недостатка хладагента.

2.9.2.4. Контроль температуры

Со стороны пользовательской петли охлаждения теплообменник оснащен трехходовым термостатическим клапаном с датчиком температуры, который поддерживает постоянную температуру воды путем пропускания ее через теплообменник или перепуска по обводной линии.

Температура воды также измеряется на теплообменнике со стороны основного контура охлаждения. Устройство для измерения температуры (которое также измеряет удельную проводимость воды) отправляет аналоговый входной сигнал непосредственно ПЛК.

2.9.3. Водяной коллектор

Водяные коллекторы предназначены для подачи охлаждающей воды в различные подсистемы, а также для сбора воды из этих подсистем.

На циклотроне смонтированы следующие коллекторы:

- Основной впускной коллектор
- Основной выпускной коллектор
- Коллектор масляного диффузионного насоса: впускной патрубок подсоединен непосредственно к водяному кондиционеру, а обратные контуры — к основному выпускному коллектору.

Каждый обратный контур оснащен переключателем потока.

Некоторые из этих контуров используются для охлаждения более чем одного компонента IBA «Cyclone Kiube». Далее эти компоненты соединяются параллельно или последовательно.

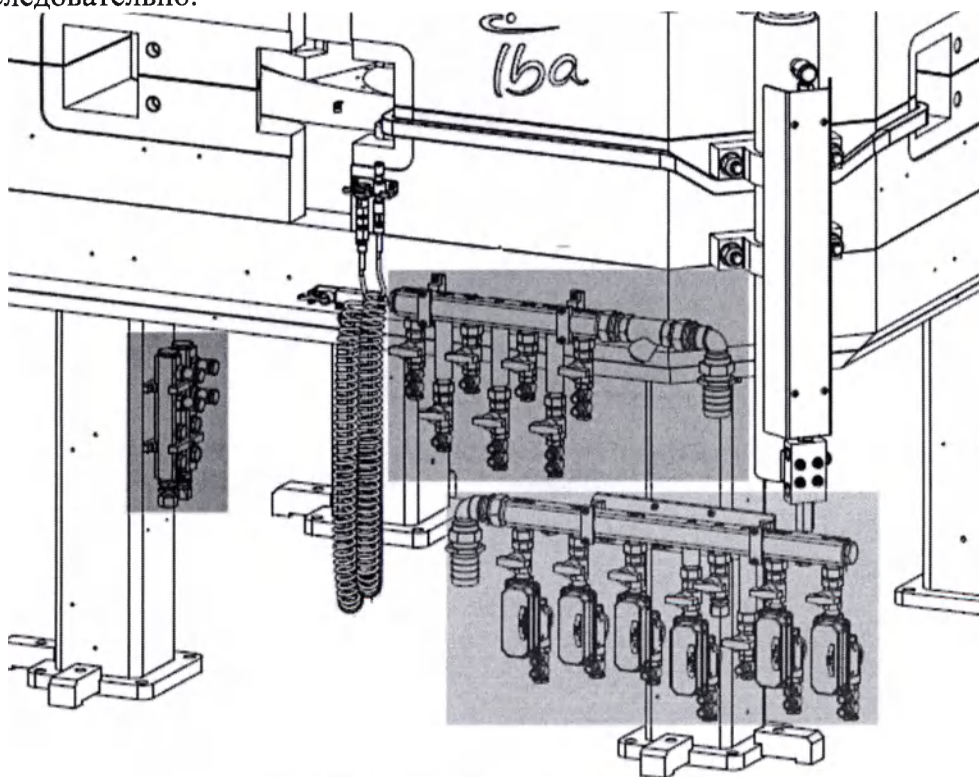


Рисунок 40. Система распределения воды

2.9.4. Система подачи сжатого воздуха

Подача сжатого воздуха приводит в действие следующие элементы:

- Вакуумные клапаны и клапаны вентилирования циклотрона
- Запорные клапаны мишени
- Выдвижной датчик
- Клапан подачи газа ионного источника

Сжатый воздух подается через блок распределителей, расположенный в шкафу для соединений (см. Рисунок 41).

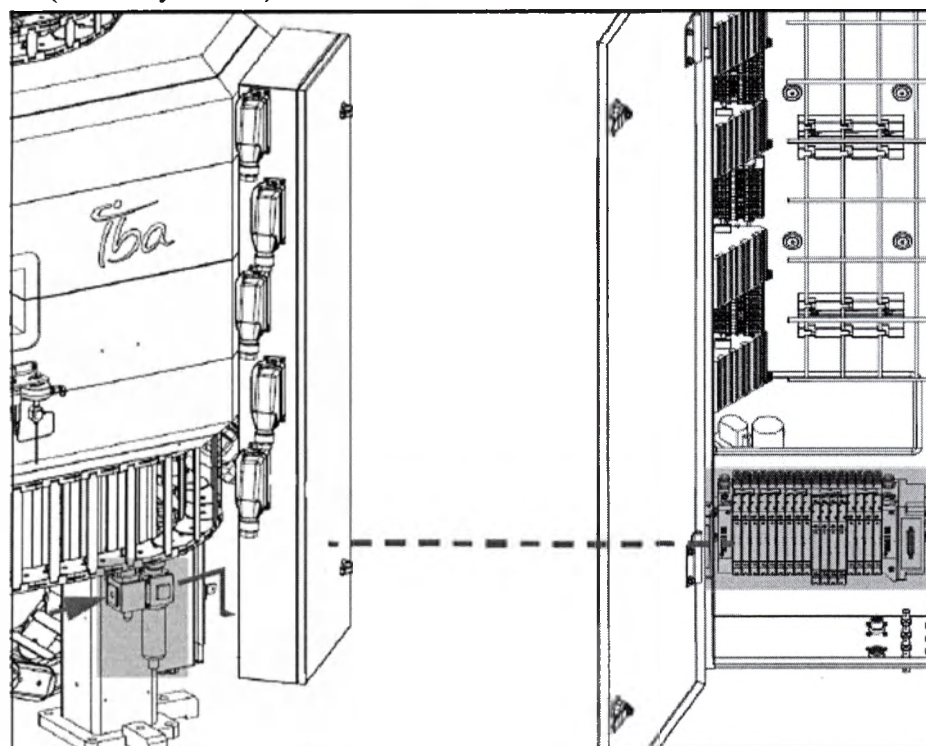


Рисунок 41. Распределение сжатого воздуха

Кроме того, сжатый воздух, подаваемый пользователем, также при необходимости используется для продувки системы охлаждения. Две станции сжатого воздуха, имеющие две гибкие трубки с разными разъемами, установлены на противоположных сторонах ярма магнита циклотрона (см. Рисунок 42).

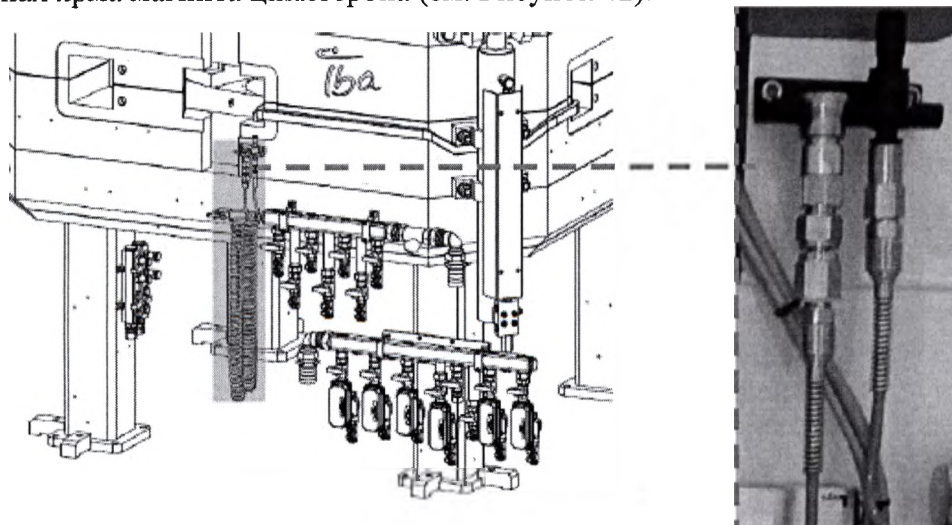


Рисунок 42. Принадлежности системы подачи сжатого воздуха для продувки системы охлаждения

2.9.5. Источники питания и шкаф распределения питания

Помимо шкафа распределения питания от сети имеются пять шкафов, где установлены источники питания и регуляторы:

- Шкаф для главных катушек и ионного источника Ion Source
- Шкаф для РЧ-усилителя
- Шкаф для ПЛК, сервера и шприцевых насосов

Примечание. Помимо основных компонентов, в шкафах могут располагаться элементы, не связанные с подсистемой, в состав которой входит основной компонент. Компоновочные схемы всех перечисленных выше шкафов для разных конфигураций системы содержатся в справочной технической документации.

Питание всего оборудования IBA "Cyclone Kiube" осуществляется через шкаф распределения питания. Контактторы заблокированы, и управление ими осуществляется посредством внешних сигналов системы управления.

Через выключатель входной цепи переменного тока питание распределяется на вторичные цепи двух типов:

- Защищенные выключателем цепи для питания оборудования, оснащенного собственной системой включения контактора (блок питания главных катушек, блок питания анода РЧ-усилителя), или маломощного оборудования, постоянно подключенного к сети питания.
- Замыкаемые контактором цепи для оборудования, питание которого осуществляется через ПЛК с напряжением 24 В постоянного тока. Эти цепи дополнительно защищены от перегрузки плавкими тепловыми реле для моторного оборудования (механические вакуумные и водяные насосы, система подъема ярма магнита и гелиевые компрессоры). В целях дополнительной безопасности питание к ионному источнику Ion Source поступает через два последовательно соединенных контактора, которые приводятся в действие через один вход ПЛК.

При любом выходном напряжении сети, кроме 230/400 В переменного тока, между питающей сетью и шкафом распределения питания устанавливается автотрансформатор для преобразования выходного напряжения местной сети переменного тока.

2.10. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

2.10.1. Обзор

Система управления IBA "Cyclone Kiube" выполняет следующие функции:

- Постоянный сбор данных о компонентах системы IBA "Cyclone Kiube"
- Использование этих данных, предотвращение несчастных случаев и повреждений
- Предоставление пользователю этих сведений в наглядном виде
- Предупреждение пользователя обо всех нестандартных событиях или условиях
- Предоставление пользователю возможности вводить собственные команды
- Проверка этих команд, чтобы они не привели к несчастным случаям или повреждениям оборудования
- Выполнение команд пользователя или сообщение о причине невозможности их выполнения.

2.10.2. Аппаратное обеспечение

Компоненты аппаратного обеспечения:

- Программируемый логический контроллер (ПЛК);
- Сервер;
- Промышленная шина (сеть Profibus®), соединяющая ПЛК с сервером и различными элементами системы IBA "Cyclone Kiube";
- Сеть Ethernet®, включающая в себя технологию EWON, которая позволяет удаленным пользователям контролировать систему управления через Интернет;
- Станция управления.

2.10.3. Программное обеспечение

Компоненты программного обеспечения:

- Операционная система MICROSOFT™ Server
- Средство просмотра WONDERWARE™ In Touch® SCADA2 (это средство просмотра необходимо для запуска графического интерфейса пользователя)
- Сервер WONDERWARE™ DA Server®. Это ПО преобразовывает инструкции системы In Touch® в инструкции для ПЛК, а также преобразовывает данные из ПЛК в формат для отображения на устройстве In Touch®

Соединение между сервером и одной или несколькими станциями управления выполняется при помощи «тонкого» клиента.

Данные, полученные из различных систем IBA "Cyclone Kiube" и с помощью разных пользовательских команд, предаются через локальную сеть Ethernet®.

ВАЖНО! В пакет системы управления входят все необходимые лицензии на ПО. Тем не менее, если пользователь настраивает дополнительные точки доступа, он несет ответственность за приобретение соответствующих лицензий.

Подключение между сервером и ПЛК постоянно находится под наблюдением. Разрыв подключения будет учитываться как со стороны ПЛК, так и со стороны сервера.

Примечание. Подобный сбой в работе не представляет опасности, так как защитные блокировки контролируются ПЛК, а не сервером. Даже в случае сбоя сервера или соединения между ПК и ПЛК защитные блокировки будут контролироваться, пока работает ПЛК. Тем не менее, если подключение не будет восстановлено за определенное время, ПЛК переведет систему в *режим готовности*.

2.10.4. Защитные блокировки

Некоторые параметры/условия постоянно (или регулярно) измеряются/ проверяются системой управления IBA "Cyclone Kiube", чтобы обеспечить безопасность пользователей и (или) избежать повреждений оборудования. Эти параметры называются защитными блокировками. Например, концевой выключатель на дверце высоковольтного источника электропитания может быть заблокирован при помощи защитной блокировки при выявлении соответствующих данных, чтобы система управления выключила источник электропитания при открытии двери.

Предусмотрено три типа защитных блокировок:

- Защитные блокировки устройства обеспечивают защиту персонала и оборудования, воздействуя непосредственно на оборудование без помощи системы управления. Например, некоторые насосы оснащены термовыключателями, которые отключают насос при перегреве его двигателя.

- Защитные блокировки обратной связи — это защитные блокировки ПО, реагирующие на сигнал, который физическое устройство отправляет в систему управления, чтобы система управления выключила компонент оборудования IBA "Cyclone Kiube" во избежание травм или повреждений оборудования. Например, система управления включит РЧ-систему только после получения сигнала «high vacuum OK» (Достаточно высокий вакуум) от контроллера второго вакуумного клапана вакуумной камеры циклотрона. Позже, если этот сигнал обратной связи исчезнет, система управления выключит РЧ-систему.
- Командные защитные блокировки — это защитные блокировки ПО, при которых сигнал команды, который система управления отправляет на физическое устройство, используется самой системой управления (система управления не получает сигнала обратной связи непосредственно от устройства). Например, система управления может отправить командный сигнал на контактор в шкафу распределителя основного электропитания для включения насоса водяной системы охлаждения. После этого система управления будет воспринимать насос как включенный, несмотря на то, что обратного сигнала непосредственно от насоса она не получила. Затем система управления может использовать эти сведения для принятия решения о включении оборудования, охлаждение которого выполняет указанный насос. Может показаться, что оснований для включения оборудования в этом случае недостаточно, но каждый раз при использовании командной защитной блокировки система управления получает сигнал обратной связи о защитной блокировке для подтверждения. Например, система управления включит оборудование, охлаждение которого выполняет этот насос, только если она подала командный сигнал контактору насоса, и при этом переключатель потока на этом отрезке системы охлаждения выключен, что говорит о достаточной силе потока.

Обычно система управления использует сигнал обратной связи о защитной блокировке, когда сбой компонента системы IBA "Cyclone Kiube" может привести к опасной ситуации или повреждению оборудования. Командные защитные блокировки используются в других случаях (например, при запуске некоторых функций).

Обратный сигнал, отправленный компонентом системы IBA "Cyclone Kiube", может быть булевым (0/1) или аналоговым сигналом, то есть, функцией какого-либо параметра данного компонента.

В целях устранения риска ошибок системы используются следующие обозначения: обратный сигнал оборудования в 0 В означает опасное состояние, а обратный сигнал в 24 В — отсутствие опасности. Например, переключатель дверцы высоковольтного шкафа открыт (0 В), если дверца открыта, и закрыт (24 В), если дверца закрыта. Если кабель переключателя системы управления поврежден, система управления получит обратный сигнал в 0 В, воспримет эту информацию как подтверждение того, что дверца открыта, и не будет включать высоковольтный источник питания.

2.10.5. Авторизация доступа

Система управления IBA "Cyclone Kiube" имеет три рабочих режима:

- Production (Генерирование) — стандартный режим для автоматического использования системы.

- Manual (Ручной режим) (или режим технического обслуживания) — режим для настройки, обслуживания системы и выполнения операций вручную.
- Administration (Администрирование) — функции администратора, такие как управление учетными записями пользователей и наборами команд.

Перед использованием функций системы IBA "Cyclone Kiube" пользователю необходимо войти в систему управления, введя пароль. Это обеспечивает доступ ко всем или некоторым командам, доступным через систему управления в соответствии с уровнем доступа пользователя (см. Рисунок 43.)

Каждая команда, доступная через систему управления, связана с параметрами уровня доступа в системе управления (уровень доступа задается целым числом в диапазоне от 0 до 9999). Уровень доступа «0» назначается командам, которые доступны всем пользователям, а использование команд более высокого уровня ограничено.

Каждой группе пользователей также назначается уровень доступа от 0 до 9999.

Если пользователь, вошедший в систему управления, запускает команду, система управления выполнит ее только в том случае, если уровень доступа этого пользователя достаточно высокий (число уровня доступа пользователя равно уровню доступа данной команды или больше него).

Обычно в системе IBA "Cyclone Kiube" предусмотрено пять групп пользователей разных уровней доступа (от меньшего к большему): None (Нет), Regular Operator (Обычный оператор), Advanced Operator (Оператор с доступом к расширенным функциям), Maintenance Technician (Техническое обслуживание) и Supervisor (Администратор).

		Визуализация генерирования и экраны технического обслуживания	Посмотр экранов администрирования IBA (сертификат 2)	Генерирование в автоматическом режиме (сертификат 3)	Генерирование в ручном режиме (сертификат 4)	Принятие предупреждений (сертификат 5)	Управление предупреждениями (команды уровня включения/отключения) (сертификат 6)	Задачи обслуживания — изменение параметров, настройка регистрации устройств (сертификат 7)	Задачи обслуживания — оброс-интеграция, выполнение испытаний (сертификат 8)	Управление набором параметров — настройка мишеней, кодирование мишеней и внешних точек (сертификат 9)	Управление доступом пользователей (сертификат 11)	Уровень доступа
0	Нет	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Обычный оператор	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	20
2	Оператор с доступом к расширенным функциям	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	28
3	Техническое обслуживание	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	254
4	Администратор	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1534

Рисунок 43. Стандартные группы пользователей и уровни доступа

3. МЕРЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1.1. Опасность радиационного облучения

Комплекс IBA «Cyclone Kiube» содержит радиоактивные компоненты (такие как ионный источник, экстрактор, элементы в медианной плоскости циклотрона, дуанты, коллиматоры, мишени и пр.). Перед началом работы обязательно проведите дозиметрический контроль, проверьте уровень радиации и не забудьте взять дозиметр.

Перед открытием доступа в бункер циклотрона необходимо подождать не менее 24 часов после выполнения последней процедуры, чтобы уровень радиоактивности снизился до безопасного.

При работе с этими компонентами следует обязательно использовать все соответствующие средства индивидуальной защиты, предусмотренные региональными нормативными требованиями. В противном случае существует риск летального исхода или получения травм.

В системе IBA «Cyclone Kiube» есть компоненты, которые служат для захвата пучка полностью или частично, или же располагаются на пути пучка (такие как мишени, коллиматоры и блокираторы излучения). Такие компоненты охлаждаются с помощью системы водяного охлаждения, вода в которой в результате может стать радиоактивной (по крайней мере, на некоторое время).

Теплообменные устройства водяных кондиционеров обычно изолируют радиоактивное излучение, и вода в контуре охлаждения пользователя не должна быть загрязнена. Тем не менее, при повреждении теплообменного устройства вода в пользовательском контуре охлаждения также может стать радиоактивной.

Перед обслуживанием какого-либо компонента, взаимодействующего с системой водяного охлаждения, а также компонентов системы водяного охлаждения IBA «Cyclone Kiube» или пользовательского контура охлаждения обязательно измеряйте уровень радиоактивности таких компонентов и воды системы охлаждения.

При работе с этими компонентами следует обязательно использовать все соответствующие средства индивидуальной защиты, предусмотренные региональными нормативными требованиями. В противном случае существует риск летального исхода или получения травм.

3.1.2. Опасность поражения электрическим током

На некоторых деталях циклотрона, внутри распределительных шкафов, на клеммах и кабельных соединениях присутствует высокое напряжение. Высокое напряжение ОПАСНО ДЛЯ ЖИЗНИ.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Магниты циклотрона создают мощные магнитные поля. Они могут отрицательно влиять на работу различных устройств, в том числе кардиостимуляторов, подвергая СМЕРТЕЛЬНОЙ УГРОЗЕ людей, чье здоровье или жизнь зависят от этих устройств.

Кроме того, при работе вблизи циклотрона с объектами или инструментами, на которые может воздействовать магнитное поле, необходимо предпринять все меры предосторожности во избежание притяжения таких объектов или инструментов магнитом циклотрона, так как это притяжение может быть **ОЧЕНЬ СИЛЬНЫМ**.

РЧ-МОЩНОСТЬ

РЧ-система циклотрона создает мощные РЧ-поля. Во избежание облучения персонала следует эксплуатировать Циклотрон и включать РЧ-систему только при условии, что все компоненты, создающие РЧ-поля, надежно экранированы.

Перед включением РЧ-системы убедитесь, что все панели и вентиляционные решетки РЧ-усилителей установлены на место, а все кабели, расположенные между компонентами РЧ-системы и подключаемые к другим компонентам, подключены правильно и не повреждены. В противном случае существует риск летального исхода или получения травм.

3.1.3. *Воспламенение/взрыв*

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ

Оборудование IBA «Cyclone Kiube» содержит по меньшей мере одну гидравлическую систему. Эта система включает в себя компрессор, гидравлические домкраты и трубы (гибкие или жесткие), соединяющие домкраты и компрессор. При использовании огнеопасной жидкости утечка в одном из этих компонентов может привести к пожару или взрыву.

Гидравлическая жидкость нагревается под давлением. При преднамеренном или случайном высвобождении этой жидкости она может принять форму воздушной взвеси или мелких частиц. Если используемая огнеопасная жидкость (например, нефтепродукт), достигая температуры воспламенения, вступит в контакт с окислителем (например, воздухом), воспламенение произойдет моментально. Большая контактная поверхность окислителя и жидкости может привести к образованию огненного шара или взрыву.

Кроме того, частицы воздушной взвеси часто имеют электростатический заряд, который может перейти, например, на изолированные металлические элементы. Электростатический заряд частиц может привести к возникновению электрической дуги и воспламенению воздушной взвеси, даже если ее температура ниже точки воспламенения.

ОСТОРОЖНО! ГАЗ

В мишени используются газы, которые могут быть огнеопасными и (или) токсичными. Необходимо строго следовать инструкциям поставщика по хранению таких газов, их подаче и работе с ними.

3.1.4. *Токсичные материалы*

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ

Оборудование IBA «Cyclone Kiube» содержит по меньшей мере одну гидравлическую систему. Эта система включает в себя компрессор, гидравлические домкраты и трубы (гибкие или жесткие), соединяющие домкраты и компрессор. Утечка в одном из этих компонентов может выглядеть как струя гидравлической жидкости (обычно токсичной и (или) вызывающей раздражение). Так как она может быть практически невидима, ее сложно обнаружить. Такая струя жидкости может повредить здоровую кожу и стать причиной травмы.

Запрещается проверять оборудование на предмет утечки гидравлической жидкости с помощью пальцев.

Кроме того, токсичная гидравлическая жидкость в форме воздушной взвеси, вызванной утечкой под высоким давлением, представляет собой опасность при попадании в воздушные пути. Запрещается вдыхать подобную воздушную взвесь.

ОСТОРОЖНО! ГАЗ

В мишени используются газы, которые могут быть огнеопасными и (или) токсичными. Необходимо строго следовать инструкциям поставщика по хранению таких газов, их подаче и работе с ними.

ВАКУУМНЫЕ ТРУБКИ

Некоторые вакуумные трубки (электронные лампы) содержат токсичные химикаты, такие как оксид бериллия, которые попадают в атмосферу при поломке или повреждении трубки.

При работе со сломанными/поврежденными электрическими вакуумными трубками используйте средства индивидуальной защиты, в том числе перчатки и средства защиты воздушных путей.

В противном случае существует риск получения травм.

Примечание. Вакуумные трубки при утилизации могут рассматриваться как отходы, требующие особого обращения (в зависимости от технологии работы трубки и применимых местных законов и нормативных требований).

ВЫСОКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Масляные диффузионные насосы сильно нагреваются. Соблюдайте особую осторожность при работе вблизи подобных насосов.

ДАВЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

Гидравлическая жидкость в гидравлической системе циклотрона может находиться под высоким давлением даже после остановки гидравлической системы и (или) отключения ее от источника электропитания. Остаточное давление может сохраниться в одном или нескольких отдельных компонентах системы, в зависимости от конструкции гидравлической системы и ее компрессора.

Необходимо снизить давление перед обслуживанием каких-либо компонентов гидравлической системы.

Поток гидравлической жидкости может повредить кожу даже при давлении не более 700 кПа. Обычно такие раны безболезненны, поэтому их можно не заметить. Тем не менее, эти повреждения могут привести к серьезной травме (рана на пальце может привести к травме предплечья или тканей, расположенных выше). При повреждении кожи какой-либо гидравлической жидкостью необходимо немедленно обратиться к врачу, так как для удаления жидкости из организма может потребоваться хирургическое вмешательство.

3.2. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ОСТОРОЖНО!

Во время эксплуатации оборудования убедитесь, что все отверстия, углубления и выемки в пультовых комнатах, щитовых комнатах и бункерах тщательно закрыты.

ОСТОРОЖНО!

Линии транспортировки между мишенью и горячей камерой должны быть цельными.

ОСТОРОЖНО!

Перед транспортировкой радиоактивного вещества из мишени в горячую камеру горячая камера должны быть закрыта и находиться под давлением.

Если какой-либо из сигналов защитной блокировки соответствующих датчиков откажет во время транспортировки, транспортировка продолжится, чтобы радиоактивный материал не остался в неизвестном месте.

ОСТОРОЖНО! ГАЗ

В мишени используются газы, которые могут быть огнеопасными и (или) токсичными. Необходимо строго следовать инструкциям поставщика по хранению таких газов, их подаче и работе с ними.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ О РАБОТЕ В РУЧНОМ РЕЖИМЕ

Если соединение между станцией управления и сервером потеряно при включенном пучке, а соединение между сервером и ПЛК (программируемый логический контроллер) остается, то в режиме генерирования ПЛК продолжит подачу пучка до достижения заданного суммарного за-ряда, но в ручном режиме суммарный заряд может быть не задан, поэтому оператору потребуется остановить подачу пучка при помощи кнопки экстренной остановки.

ВНИМАНИЕ! КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ НАСТРОЙКИ

Настройки оборудования запрещено изменять за исключением случаев, когда этого требует процедура обслуживания компании IBA или это необходимо квалифицированному персоналу компании IBA. Даже в этом случае следует обязательно записать исходные значения таких настроек перед выполнением изменений. В противном случае возможен сбой в работе или повреждение циклотрона.

Важно! Убытки при повреждении оборудования в результате изменения настроек не возмещаются компанией IBA даже в случае действительной гарантии или контракта на техническое обслуживание.

ОСТОРОЖНО! ЗАЩИТНЫЕ БЛОКИРОВКИ

Необходимо регулярно осматривать и выполнять техническое обслуживание защитных блокировок, таких как датчики закрытия дверей и пр. Запрещается выключать защитные блокировки. В противном случае существует риск летального исхода или получения травм.

Важно! Компания IBA не несет ответственность за травмы, летальный исход и (или) повреждение оборудования в результате неправильного обслуживания устройств защитной блокировки. Этого не отменяет даже наличие действительной гарантии или контракта на техническое обслуживание.

ОСТОРОЖНО! ОТКЛЮЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ БЛОКИРОВОК

Преднамеренная отмена или отключение защитных блокировок создает внештатную ситуацию, в которой система управления вынуждена воспри-нимать процесс эксплуатации оборудования как безопасный для персонала и самого устройства, тогда как он может представлять опасность. Запрещено отключать устройства защитной блокировки за исключением случаев, когда этого явно требует процедура обслуживания компании IBA или когда это необходимо квалифицированному персоналу компании IBA. В противном случае существует риск получения травм или летального исхода.

Важно! Компания IBA не несет ответственность за травмы, летальный исход и (или) повреждение оборудования в результате отключения устройств защитной блокировки.

ОСТОРОЖНО! ИЗМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Изменение управляющей программы может привести к игнорированию или неправильной интерпретации защитных блокировок системой управления. Это может привести к получению травм, летальному исходу и (или) повреждению оборудования. В любом состоянии оборудования система управления проверяет состояние некоторых компонентов аппаратного обеспечения и физические параметры, чтобы предотвратить опасные ситуации и повреждение оборудования. Например, высоковольтный источник питания, подключенный к аноду оконечного РЧ-усилителя, не будет включен, если система управления обнаружит, что дверца шкафа осталось открытой.

Другой пример: компонент, охлаждающийся при помощи водяной системы, не будет включен, если система управления обнаружит, что поток воды по трубкам системы охлаждения недостаточно сильный. Эти условия, которые проверяются системой управления, называются условиями защитной блокировки.

При несоблюдении какого-либо условия система управления предпримет соответствующие меры для защитной блокировки. В некоторых случаях система управления автоматически выполняет перезапуск системы после восстановления нормальных условий защитной блокировки. А иногда перед перезапуском системы требуется подтверждение или действие со стороны пользователя.

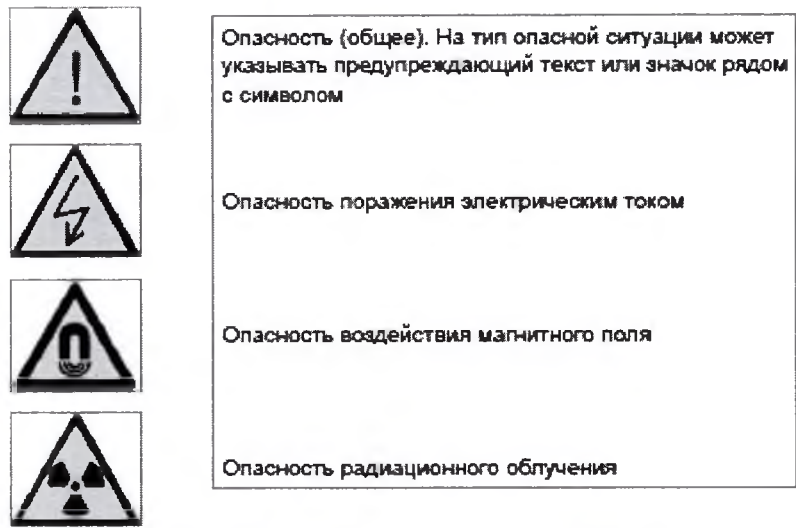
Во избежание сбоев в работе оборудования необходимо регулярно выполнять проверку функционирования системы управления и самого оборудования.

По этой же причине любые модификации управляющей программы персоналом, не имеющим на это право, могут привести к потенциально опасной ситуации.

Важно! Компания IBA не несет ответственность за травмы, летальный исход и (или) повреждение оборудования в результате модификации или совершения действий над управляющим программным обеспечением, поставляемым вместе с оборудованием IBA «Cyclone Kiube». Этого не отменяет даже наличие действительной гарантии или контракта на техническое обслуживание.

3.3. Символы

Некоторые типы опасных ситуаций указаны на самом оборудовании в виде пиктограмм (см. Рисунок 44), например:



Важно! Не все типы опасных ситуаций обозначаются символами.

Рисунок 44. Символы

3.4. ЗАЩИТНЫЕ БЛОКИРОВКИ

Система управления ускорителем ИВА «Cyclone Kiube» обменивается сигналами с системой обеспечения безопасности в здании пользователя. Стандартные сигналы указаны на Рисунке 45.

Примечание. Системы обеспечения безопасности в здании пользователя в данном документе обобщенно называются пользовательскими системами.

Табл. Типичный обмен сигналами между системой управления ускорителем и пользовательскими системами.

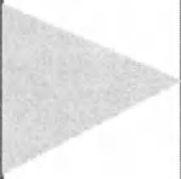
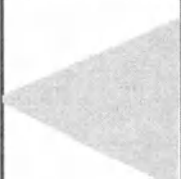
Пользовательские системы		Система управления ускорителем
Отсутствие экстренной остановки		Можно запускать систему магнитов
Дверь бункера закрыта		Можно запускать РЧ-систему
Горячая камера готова		Можно запускать мишень
Включение пучка разрешено		Можно запускать ионный источник
		Пучок включен
		Магнит включен
		РЧ-система включена
		Значение тока пучка

Рисунок 45. Защитные блокировки

3.5. Прочие защитные блокировки

В любом состоянии циклотрона система управления проверяет состояние некоторых компонентов аппаратного обеспечения и физические параметры, чтобы предотвратить опасные ситуации и повреждение циклотрона. Например, компонент, охлаждающийся при помощи водяной системы, не будет включен, если система управления обнаружит, что поток воды по трубкам системы охлаждения недостаточно сильный. Эти условия называются условиями защитной блокировки системы.

Защитные блокировки действуют двумя способами:

- Если не запущена контрольная функция, созависимая с ней функция не может быть включена.
- При сбое контрольной функции созависимая с ней функция будет выключена до тех пор, пока контрольная функция не будет восстановлена.

Система защитных блокировок основана на последовательном взаимодействии блокировок. При активации защитных блокировок одного устройства отключение этого устройства может привести к блокировке другого устройства или системы. Обзор системы защитных блокировок приводится в Рисунке 46 ниже.

- Температура воды системы водяного охлаждения, измеряемая со стороны выходного отверстия теплообменного устройства, должна находиться в диапазоне, заданном для места эксплуатации. - Проводимость воды в системе водяного охлаждения, измеряемая со стороны входного отверстия распределительных труб, не должна превышать рекомендуемое значение. - Уровень воды в резервуаре системы водяного охлаждения не должен быть слишком низким. Обратите внимание, что предусмотрено два сигнала: когда уровень воды достигает предела «low» (Низкий уровень), появляется мигающий предупреждающий сигнал, что не приводит к прекращению работы. Только после появления второго сигнала «very low» (Очень низкий уровень) работа системы будет остановлена.			
- Ядро магнита циклотрона должно быть закрыто. - Должен регистрироваться поток воды системы водяного охлаждения сквозь масляный диффузионный насос. Переключатель потока расположен на возвратной трубке устройства в области распределительных труб. - Подача сжатого воздуха должна выполняться под давлением по меньшей мере 5 бар со стороны входного отверстия распределительных труб. - Масляный диффузионный насос защищен с помощью термального щелчкового переключателя, который выключает насос в случае перегрева. - Вакуумметры типа Пеннинга и Пирани отслеживают состояние вакуума и подают необходимые управляющие сигналы для вакуумных клапанов.	- Ядро магнита циклотрона должно быть закрыто. - Должен регистрироваться поток воды системы водяного охлаждения сквозь ядро магнита, катушки и блок питания. - Катушки защищены с помощью термальных щелчковых переключателей, которые выключают блок питания в случае перегрева. - Отсутствие сигнала экстренной остановки от пользовательской системы.	- Фольга экстрактора должна быть доступна для выбранных портов. - Положение экстрактора должно передаваться в систему управления. ИЛИ - Вставлен выдвижной датчик.	Защитные блокировки мишени зависят от определенной мишени. Жидкостные мишени: - Шприцы для загрузки и (или) промывки готовы. - Система переключения выходного порта мишени готова (при ее наличии). - Транспортировка не выполняется.
Вакуум	Магнит	Экстрактор	Мишень готова
- Магнит должен быть в стабильном рабочем состоянии (сигналы источника питания должны совпадать). - Камера циклотрона должна находиться под высоким вакуумом. - Должен регистрироваться поток воды системы водяного охлаждения для резонатора циклотрона. - Перед запуском РЧ-модулятора необходимо включить РЧ-усилитель. - Экраны мишени закрыты (при их наличии в системе). - Максимальное значение тока пучка мишени не превышено. - Отсутствие сигнала экстренной остановки от пользовательской системы. - Дверь бункера закрыта (сигнал от пользовательской системы).		- Мишень загружена. - Дверь камеры закрыта.	
Радиочастота		Запрос пучка	
- Магнит должен быть в стабильном рабочем состоянии. - Циклотрон должен находиться под высоким вакуумом. - Должен регистрироваться поток воды системы водяного охлаждения для ионного источника. - Входной клапан газа должен быть открыт перед включением блока питания. - Давление и поток гелия для охлаждения окна мишени обнаружены. - Необходимо выбрать экстрактор или вставить выдвижной датчик. - Давление мишени сохраняется в диапазоне допустимого отклонения для потока пучка. - Отсутствие сигнала экстренной остановки от пользовательской системы (безопасности). - Дверь бункера закрыта (сигнал от пользовательской системы) (безопасность). - Подача пучка должна быть разрешена с помощью пользовательской системы (безопасность).			
Ионный источник			

Рисунок 46. Прочие защитные блокировки

4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Cyclotron	IBA "Cyclone Kiube"
Номинальная энергия, МэВ	18 (протоны)
Ток, мкА	100-300
Эффективность мишени	F18: 10-30
Давление системы подачи сжатого воздуха, бар	0-10

Масса, тонн	18
Масса с собственной защитой, тонн	120
Габаритные размеры, мм (диаметр х высота)	1900x1800
Габаритные размеры с собственной защитой, мм (диаметр х высота)	3.5x3.1x3
Необходимые размеры для установки изделия, м	3,8x3,8x2,5 m
Необходимые размеры для установки изделия с собственной защитой, м	6x7x3 m
Мощность ускорителя:	
Рабочий режим, не более, кВт	45-65
Режим ожидания, не более, кВт	3
Потребляемый ток, А	195
Напряжение питания системы, В	400

2. Модуль синтеза "Synthera"

Радиохимическая чистота, не менее	95%
Энергия радионуклида, КэВ, не менее	500
Время синтеза, не более, мин	50
Выработка (в конце синтеза), %	60(+/-)10%

3. Мишени для фтора

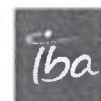
Объем, мл	2,5-4
Диаметр камеры, мм	9-11,5
Длина камеры, мм	8,5-65
Материал	niobium
Окно	Ti, 12,5 micron
Выход активности, мКи/мА	235
Активность 2ч облучения, Ки	5-16

4. Магнит

Магнитное поле, Тл	1,35
Напряжение питания обмоток магнита, В	125

5. Ламинарный бокс

Габаритные размеры, мм	1300x1645x800
Рабочая высота подъема переднего стекла, мм	254
Масса, кг	240



Нагрузка на рабочую поверхность, кг	50
Объем отработанного/свежего воздуха, м3/час	1390
Объем циркулирующего воздуха, м3/час	890
Фильтр циркулирующего/отработанного воздуха	HEPA
Потребляемая мощность, кВт	0,4
Уровень шума, не более, дБА	57
Освещенность, не менее, лк	1000
Напряжение питания, В	230-400

6. Модуль калибровки дозы

Энергетический диапазон, МэВ	0,25-4
Чувствительность (60 Co), пА/мБк	0.01 MBq
Зарядный газ	argon
Давление, бар	5
Напряжение питания, В	240 V
Диапазон измерения	max 740 GBq
Линейность	(+/-)2%
Точность	(+/-)2%
Внутренние размеры камеры (диам x длина), мм	61x254
Внешние размеры камеры (диам x длина), мм	172x438
Время ответа, с	2-16
Масса камеры, кг	3.4

Таблица 6. Технические характеристики IBA «Cyclone Kiube»

5. МАРКИРОВКА МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ

Маркировка Комплекса обеспечения радионуклидами позитронно-эмиссионных томографов: IBA «Cyclone Kiube» представлена на Рисунке 47.

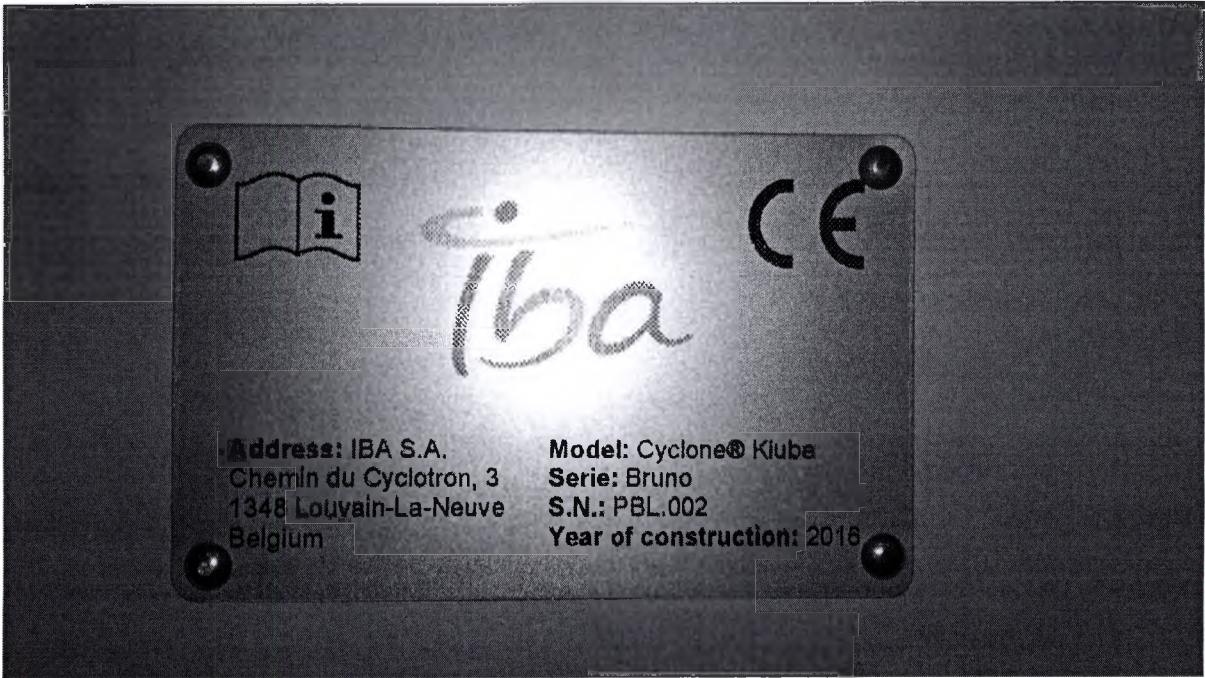


Рисунок 47. Пример маркировка

Таблица 7 представляет обзор значений символов, используемых на маркировке.

CE	Европейское соответствие
	Обратитесь к инструкции по применению

Таблица 7. Символы маркировки IBA “Cyclone Kiube”

6. УСЛОВИЯ И ПРАВИЛА ТРАНСПОРТИРОВКИ/ХРАНЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ

Оборудование должно транспортироваться и храниться в прохладном сухом месте, без конденсации, при температуре от -20 °C до +40 °C, относительной влажности 10-90% и атмосферном давлении 500-1060 гПа.

7. УСЛОВИЯ И ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕДИЦИНСКОГО ИЗДЕЛИЯ

Оборудование должно эксплуатироваться в прохладном сухом месте, без конденсации, при температуре от 15 °C до 25 °C, относительной влажности 30-65% и атмосферном давлении 700-1060 гПа.

8. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

Перед каждым применением проводите визуальный осмотр оборудования. Если обнаружится, что те или иные компоненты нуждаются в ремонте, обратитесь к представителю технической службы. Служба поддержки клиентов компании IBA предоставляет услуги по техническому обслуживанию в различном объеме, начиная от круглосуточной технической поддержки по телефону и заканчивая экстренным обслуживанием оборудования на месте эксплуатации в течение 24 часов после обращения.

Служба поддержки клиентов компании ИВА готова предоставить услуги по техническому обслуживанию, отвечающие требованиям заказчика.

9. СРОК СЛУЖБЫ

Комплекс ИВА “Cyclone Kiube” был разработан с учетом, что срок минимальной службы составляет не менее 30 лет при соблюдении требований производителя к обслуживанию и ремонту.

10. ПОРЯДОК ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ И УНИЧТОЖЕНИЯ **МИ**

Система должна быть утилизирована согласно требованиям СанПин 2.1.7.2790-10 (Класс Д).

11. ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА

Производитель гарантирует соответствие качества медицинского изделия при соблюдении требований к транспортированию, хранению и применению изделия. На территории Российской Федерации гарантия на оборудование предоставляется в соответствии с нормами национального законодательства.

По вопросам сервисного обслуживания, эксплуатации и качества на территории Российской Федерации следует обращаться к уполномоченному представителю производителя на территории РФ.

12. АДРЕС ДЛЯ ПРИЕМА РЕКЛАМАЦИЙ/ УПОЛНОМОЧЕННЫЙ **ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ РФ**

Общество с ограниченной ответственностью «Ион Бим Аппликэйшнс»

ООО «Ай. Би.Эй.»

119435, Россия, г. Москва, Саввинская набережная, д. 15

Телефон: +7(495) 648-69-00

Факс: +7(495) 648-69-00 (доб.0)

info-russia@iba-group.com

Ion Beam Applications S.A.
(Ион Бим Эппликейшнс С.А.)
Chemin du Cyclotron 3, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium
(Чеминду Циклотрон 3, В-1348, Лувэн-ла-Нёв, Бельгия)

Генеральный директор по продажам

Оливер Хольдербаум

/подпись/

ШТАМП: ИВА, Чеминду Циклотрон 3
В-1348, Лувэн-ла-Нёв
Тел.: +32 10 47 58 54
Факс: +32 10 47 59 52

ШТАМП:

Настоящим удостоверяется подлинность подписи Оливера Хольдербаума, выполненная в присутствии меня, Франсуа Херинкса, нотариуса, г. Брюссель (Бельгия), дата: 24 апреля 2017 г.

/подпись/

ПЕЧАТЬ: Франсуа Херинкс, нотариус



Перевод данного текста сделан мной, переводчиком Мамедовым Тимуром
Джаванишвильичем

Российская Федерация

Город Москва

Десятого мая две тысячи семнадцатого года

Я, Мартынова Наталия Андреевна, временно исполняющая обязанности нотариуса
города Москвы Акимов Глеба Борисовича, свидетельствую подлинность подписи переводчика
Мамедова Тимура Джаванишвильича.

Подпись сделана в моем присутствии.

Личность подписавшего документ установлена.

Зарегистрировано в реестре: № 15-17390

Взыскано государственной пошлины(по тарифу): 100 руб.

Уплачено за оказание услуг правового и технического характера: ---- руб.



Н.А. Мартынова

Всего прошнуровано, пронумеровано
и скреплено печатью 52 лист(а)(ов)

ВРИО Нотариуса

