

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ЗАО «ПРОТОМ»

В.Е. Балакин

«___» _____ 2016 г.

**Руководство по эксплуатации
Комплекса Протонной Терапии «Прометеус»
производства «ЗАО ПРОТОМ», Россия**

Протвино 2016



Содержание

1. Назначение.....	6
1.1. Показания	6
1.2. Противопоказания к применению	7
1.3. Осложнения протонной терапии	7
1.4. Особенности проведения протонной терапии у детей.....	7
2. Основные технические характеристики комплекса	8
3. Описание систем КПТ и порядок работы с ними	23
3.1. Магнитная система	23
3.1.1. Общее описание	23
3.1.2. Система коррекции магнитного поля.....	25
3.1.3. Источник питания.....	27
3.1.4. Порядок работы	28
3.2. Высокочастотная ускоряющая система	33
3.2.1. Порядок работы.....	33
3.3. Вакуумная система.....	34
3.3.1. Общее описание	34
3.3.2. Эксплуатационные требования.....	36
3.3.3. Порядок работы	37
3.4. Инжектор.....	39
3.4.1. Общее описание	39
3.4.2. Схема питания ионного источника	40
3.4.3. Порядок работы	42
3.4.4. Монтаж и демонтаж	45
3.5. Каскадный генератор	45
3.5.1. Общее описание	45
3.5.2. Порядок работы	45



3.6. Впускной канал.....	47
3.6.1. Общее описание	47
3.6.2. Блок-схема впускного канала.....	47
3.6.3. Порядок работы	49
3.7. Система впуска пучка (инфлатор).....	50
3.7.1. Общее описание	50
3.7.2. Порядок работы	50
3.8. Система выпуска пучка (дефлектор)	51
3.8.1. Общее описание	51
3.8.2. Блок-схема выпускного канала.....	52
3.8.3. Порядок работы	52
3.8.4. Калибровка люминофоров выпускного канала.....	56
3.8.5. Монтаж и демонтаж	57
3.9. Система сканирования пучка по объекту	58
3.9.1. Общее описание	58
3.9.2. Блок-схема системы сканирования	58
3.9.3. Управление	58
3.9.4. Процедура поверки системы сканирования	58
3.10. Система охлаждения	60
3.10.1. Общее описание	60
3.10.2. Порядок работы	60
3.11. Система управления	61
3.12. Ежедневная процедура обслуживания ускорителя	63
3.12.1. Водоснабжение синхротрона	63
3.12.2. Состояние вакуума.....	66
3.12.3. Давление SF ₆ (элегаз)	68
3.12.4. Последовательность включения источников электропитания	70



3.12.5. Последовательность включения ионного источника в нормальную работу	77
3.12.6. Тренировка ускорительной трубки высоким напряжением	79
3.12.7. Введение перезарядной пленки в ускорительную трубку	87
3.12.8. Приложение А.	89
3.13. Порядок включения и предварительной настройки ускорителя	93
3.14. Выключение ускорителя	94
3.15. Процедура проверки энергии выпущенного пучка	94
3.16. Система контроля дозных полей	96
3.17. Система фиксации и перемещения пациента	101
3.17.1. Назначение системы	101
3.17.2. Описание системы фиксации и перемещения пациента для положений со стулом терапевтическим	101
3.17.3. Описание системы фиксации и перемещения пациента со столом терапевтическим	108
3.18. Система визуализации облучения пациента	110
3.18.1. Общее описание	110
3.18.2. Работа с рентгеновской установкой	110
3.19. Информационная система. Взаимосвязь программных модулей	117
4. Лечение пациента	118
4.1. Регистрация пациента	118
4.2.1. Система контроля положения пациента	119
4.2.2. Первичная фиксация пациента в стуле терапевтическом	122
4.2.3. Фиксация пациента при втором посещении и процедура верификации положения пациента	123
4.3. Проведение сеансов лечения опухолей в остальных частях тела	123
4.3.1. Позиционирование пациента лежа	124



4.4. Визуализация облучения пациента.....	124
4.4.1. Получение рентгенограмм и объемного изображения больного органа	124
4.4.2. Создание контуров зоны облучаемой опухоли, охранной зоны.....	125
4.4.3. Планирование лучевой терапии.....	138
4.5. Процедура утверждения плана облучения	145
4.6. Фиксация пациента при втором посещении и процедура верификации положения пациента	147
4.7. Облучение	148
4.8. Архивация результатов облучения.....	149
4.9. Аварийная остановка	149
5. Безопасность комплекса	150
5.1. Радиационная безопасность	150
5.1.1. Требования к размещению КПТ. Защитные мероприятия	150
5.1.2. Система дозиметрического контроля.....	152
5.2. Общая безопасность.....	152
5.2.1 Электромагнитная совместимость комплекса протонной терапии "Прометеус" с принадлежностями	153
5.3. Противопожарная безопасность.....	157
5.4. Техническое обслуживание, ремонт, гарантии производителя	158
5.5. Утилизация	158



1. Назначение

Комплекс протонной терапии «ПРОМЕТЕУС» предназначен для лечения онкологической патологии (доброкачественной и злокачественной) пучками протонов при локализации опухоли в различных участках тела пациента (взрослые и дети). Положение пациента – сидя, лежа. Ускоренные протоны поражают клетки опухоли, находящиеся внутри здоровой ткани, при этом воздействие на здоровую ткань существенно меньше, чем при использовании традиционных методов лучевой терапии. Эта уникальная особенность протонного излучения дает возможность облучать патологический очаг, в том числе и малых размеров, в точном соответствии с его формой, минимально повреждая окружающие его ткани, а также повысить до оптимального уровня дозу во всем объеме мишени. При этом удастся практически полностью избежать постлучевых осложнений, чему в лучевой терапии придается первостепенное значение.

1.1. Показания

Комплекс протонной терапии «ПРОМЕТЕУС» рекомендуется применять для лечения следующих заболеваний:

- Злокачественные новообразования глаза, головного мозга и других частей центральной нервной системы.
- Злокачественные и доброкачественные опухоли гипофиза.
- Злокачественные и доброкачественные новообразования твердой мозговой оболочки.
- Вторичные злокачественные новообразования головного мозга и мозговой оболочки.
- Злокачественные новообразования губы, полости рта и глотки.
- Рецидивные новообразования слюнных желез.
- Злокачественные новообразования носовой полости и среднего уха.
- Злокачественные новообразования придаточных пазух носа.
- Злокачественные новообразования костей верхней и нижней челюсти.
- Артериовенозные мальформации спинного и головного мозга.
- Доброкачественные опухоли спинного и головного мозга.

Заболевания детей, для лечения которых рекомендуется применять комплекс протонной терапии «ПРОМЕТЕУС»:

- Саркома Юинга, саркома мягких тканей.
- Медуллобластомы.



- Краниофарингиомы.
- Эпендимомы.

1.2. Противопоказания к применению

- Сердечнососудистая и сердечно-легочная недостаточность в стадии суб- или декомпенсации.
- Тяжелые формы диабета.
- Острые формы туберкулеза.
- Острые формы ревматизма.
- Тяжелые заболевания центральной нервной системы (эпилепсия, шизофрения и пр.).
- Кахексия.
- Диффузионный токсический зоб.
- Лейкопения.
- Гнойное воспаление в опухоли.
- Кровотечение из опухоли.

1.3. Осложнения протонной терапии

Протонная терапия может сопровождаться побочными эффектами, связанными с гибелью раковых клеток, либо с поражением здоровых тканей.

По сравнению с традиционной лучевой терапией, протонная терапия обладает меньшим риском побочных эффектов, что связано с высокой конформностью облучения и минимальной лучевой нагрузкой на окружающие опухоль нормальные ткани.

Вид побочных эффектов при протонной терапии зависит от области облучения.

Среди **побочных эффектов** протонной терапии можно отметить следующие:

- Выпадение волос на той части тела, где происходит облучение.
- Покраснение кожи в области облучения.
- Раздражение кожных покровов в области облучения.

1.4. Особенности проведения протонной терапии у детей

Виды рака, которые развиваются у детей, в большинстве случаев значительно отличаются от онкологических заболеваний, которые поражают взрослых. К тому же, образ жизни, как и экологические факторы, здесь не играют особой роли. Так раковые заболевания у детей, чаще всего возникают в результате мутирования ДНК клеток.



Как правило, применение стандартной лучевой терапии в детском возрасте приводит к замедленному развитию ребёнка, снижению интеллекта, поражению лёгких и сердца. Протонная терапия почти исключает эти осложнения. К тому же, существуют некоторые опухоли детского возраста, как нейробластома, которые с помощью протонной терапии могут быть излечены полностью.

Опухоли у детей включают множество новообразований, которые объединяет одна особенность – расположение в растущих тканях.

Преимущество протонной терапии заключается в гораздо большей точности облучения, что позволяет оградить прилежащие органы и ткани от дополнительного облучения и одновременно подвести к опухоли большую дозу ионизирующего излучения.

При протонной терапии у детей частота образования вызванных облучением вторичных опухолей может быть снижена. Радиационного поражения растущих органов, например, ростовых зазоров, а также поражения других функциональных органов можно избежать или уменьшить настолько, что их функции (особенно в области мозга, глаз, ушей и основания черепа) будут сохранены.

Протонная терапия позволяет уменьшить дозу облучения на здоровые системы органов – почки, печень, кишечник, спинной мозг.

Эффективность лечения протонной терапией при неметастазирующих опухолях достигает почти 100%.

Методика протонной терапии рака у детей

Процедура проводится в специально оборудованном помещении. Длительность терапии и количество сеансов врач онколог устанавливает индивидуально, в зависимости от вида, размера опухоли и возраста ребенка.

2. Основные технические характеристики комплекса

Комплекс протонной терапии состоит из непосредственно ускорителя протонов, системы фиксации пациента и системы визуализации облучения пациента. Управление комплексом автоматизировано с помощью разработанного производителем программного обеспечения.

Схема ускорителя приведена на Рис. 2-1.

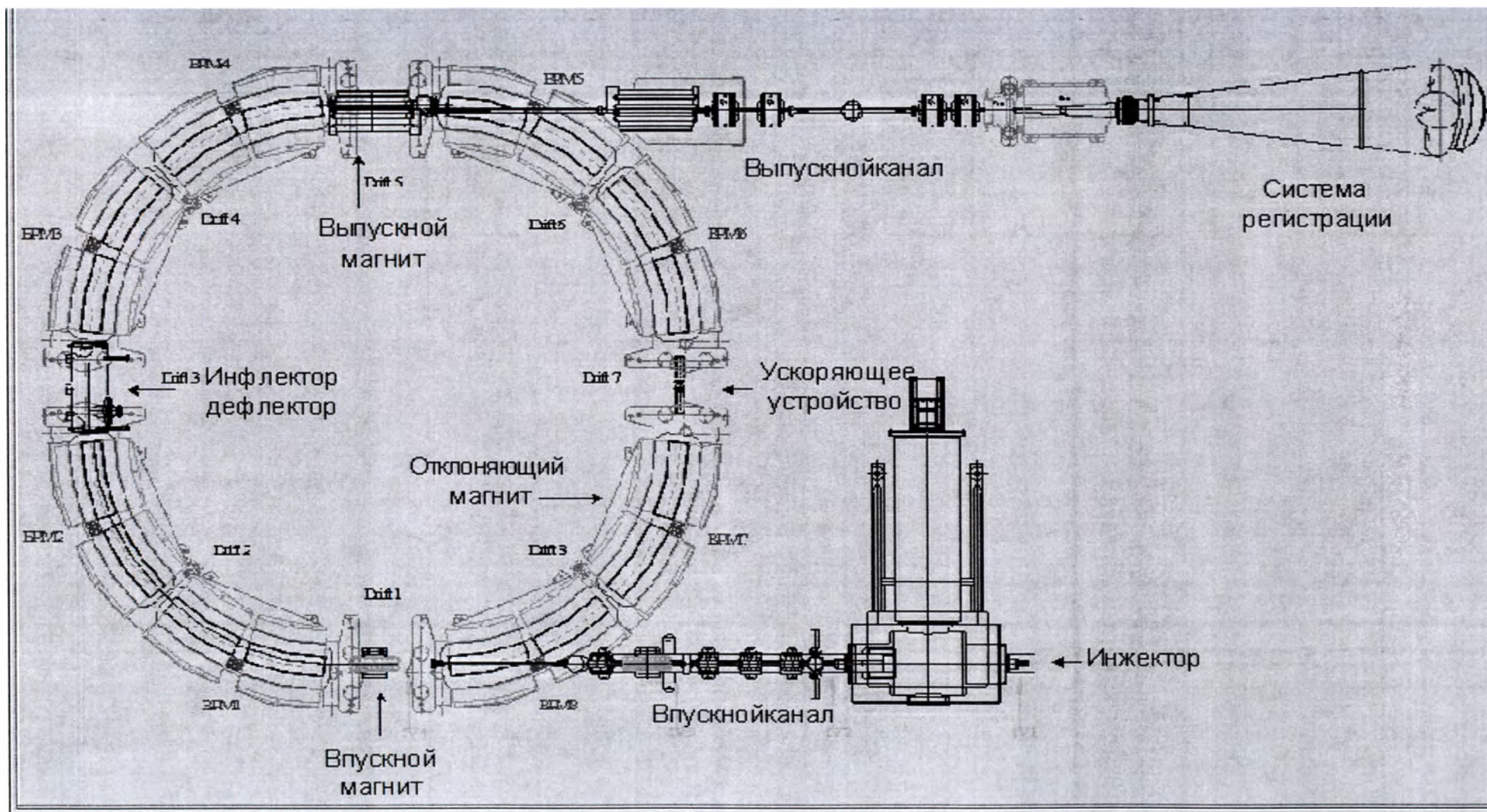


Рис. 2-1. Схема ускорителя протонов



Условия эксплуатации комплекса протонной терапии «Прометеус»

Комплекс при эксплуатации должен быть устойчив к воздействию климатических факторов для исполнения УХЛ категории 4.2 по ГОСТ 15150 со следующим ограничением: верхнее значение температуры должно быть не более 33°C. Конденсат не допускается.

Условия транспортировки и хранения комплекса протонной терапии «Прометеус»

Комплекс упакованный в соответствии с требованиями настоящих ТУ, при хранении и транспортировке должен быть устойчив к воздействию климатических факторов для условий хранения 5 по ГОСТ 15150 со следующими ограничениями: нижнее значение температуры окружающей среды должно быть не менее минус 22°C, верхнее значение температуры не более 50°C. Относительная влажность должна быть не менее 10%, верхнее значение относительной влажности не более 100%.

Комплекс упакованный в соответствии с требованиями настоящих ТУ, при транспортировке должен быть устойчив к механическим воздействиям по ГОСТ Р 50444.

Основные технические характеристики ускорителя:

- Диапазон энергий ускоренного пучка 30 – 250 МэВ;
- Тип ускоряемых частиц – протоны
- Время ускорения до энергии 250 МэВ ~ 1 секунда;
- Средняя потребляемая мощность ~ 50 кВт;
- Пиковая мощность ~ 160 кВт;
- Ток выводимого пучка ~ $5 \cdot 10^8$ прот/цикл;
- Минимальный диаметр пучка в точке входа 4 мм;
- Максимальный диаметр пучка в точке входа 10 мм;
- Минимальный шаг точки облучения вдоль и поперек опухоли 1 мм;
- Минимальная доза облучения за фракцию не более 1 Гр;
- Максимальная доза облучения за фракцию не менее 15 Гр;
- Минимальная мощность дозы не более 0,5 Гр/мин;
- Максимальная мощность дозы не менее 15 Гр/мин;
- Равномерность дозы по облучаемому объему опухоли не более $\pm 0,15$ %;
- Относительная погрешность ведения непрерывного подсчета интегральной



- Время процедуры облучения от 2 до 30 мин;
- Максимальный пробег в теле пациента не менее 30см;
- Внешний диаметр кольца ~ 5 метров;
- Общий вес ускорителя ~ 15 тонн;
- Производственное пусковое время с вакуумом ~ 40 мин;
- При эксплуатации нижнее значение температуры в бункере должно быть не менее 18°C, верхнее значение температуры не более 33°C. Конденсат не допускается;
- Питание ускорителя осуществляется от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

Технические характеристики системы фиксации и перемещения пациента со стулом терапевтическим:

- Размеры (Ш*В*Г) 1530*3000*1840 мм;
- Масса 765 кг;
- Макс. потребляемая мощность 600 Вт;
- Напряжение электропитания
 - Двигатели вращения/подъёма 120 В;
 - Двигатели фиксации 15 В;
- Угол вращения 359°;
- Вертикальное перемещение относительно пучка регулируется в диапазоне от 0 до 1000 мм;
- Точность перемещения $\pm 0,5$ мм;
- Скорость перемещения 17 мм/с;
- Фиксация пациентов ростом от 1400 до 1900 мм;
- Управление: прямое (проводное), дистанционное (беспроводное BlueTooth), удалённое (LAN);
- Максимальный вес пациента ~135 кг;
- Масса стула терапевтического ~25 кг;
- Материал, из которого изготовлен стул терапевтический капролон, гелькаут;
- Коэффициент ослабления излучения 1 м^{-1} .

Технические характеристики системы фиксации и перемещения пациента со столом терапевтическим:



- Размеры (Ш*В*Г) 1530*3000*1840 мм;
- Масса 820 кг;
- Макс. потребляемая мощность 600 Вт;
- Напряжение электропитания
 - Двигатели вращения/подъёма 120 В;
 - Двигатели фиксации 15 В;
- Угол вращения стола 359°
- Вертикальное перемещение относительно пучка регулируется в диапазоне от 0 до 1000 мм;
- Точность перемещения $\pm 0,5$ мм;
- Скорость перемещения 17 мм/с;
- Фиксация пациентов ростом от 1400 до 1900 мм;
- Управление: прямое (проводное), дистанционное (беспроводное BlueTooth), удалённое (LAN);
- Максимальный вес пациента ~135 кг;
- Масса стола терапевтического ~80 кг;
- Материал, из которого изготовлен стол терапевтический углепластик;
- Коэффициент ослабления излучения 1 м^{-1} .

Технические характеристики рентгенографической системы:

- Режим работы малодозной рентгеновской трубки с сеточным управлением – непрерывный;
- Диапазон энергий (анодное напряжение) $80 \div 140$ кВ;
- Диапазон анодного тока $1 \div 10$ мА;
- Размер поля цифровой рентгеновской панели (детектора) – 40 см х 40 см;
- Размер пикселя цифровой рентгеновской панели 0.2 мм х 0.2 мм;
- Система работает в режимах: «Снимок», «Рентгенограмма», «Дыхание», «Верификация».

Рекомендуемые системные требования для компьютеров, используемых совместно с комплексом протонной терапии:



- тактовая частота процессора не менее 3,3 ГГц;
- объем оперативной памяти не менее 8 Гб;
- видеокарта со следующими параметрами: частота графического процессора не менее 1072 Гц, объем видеопамати не менее 1024 Мб, частота видеопамати не менее 5000 МГц;
- наличие мыши;
- наличие клавиатуры;
- монитор с разрешением не менее 1920*1080;
- не менее 6 портов USB;
- не менее 2 разъемов Ethernet;
- сетевая карта пропускной способностью не менее 1000 Мбит/с;
- операционная система: Windows XP или выше.

Программное обеспечение для комплекса протонной терапии «Прометеус».

Информация о программном обеспечении (ПО) Комплекса Протонной Терапии «Прометеус». Данные пакеты программ поставляются на дисках.

Пакет программ для управления работой системы фиксации и перемещения пациента.

Исполняемый модуль:

TmC.exe – программа для снятия томограммы. Встроенная функция – управление работой системы фиксации и перемещения пациента. (Рис. 2-2.)

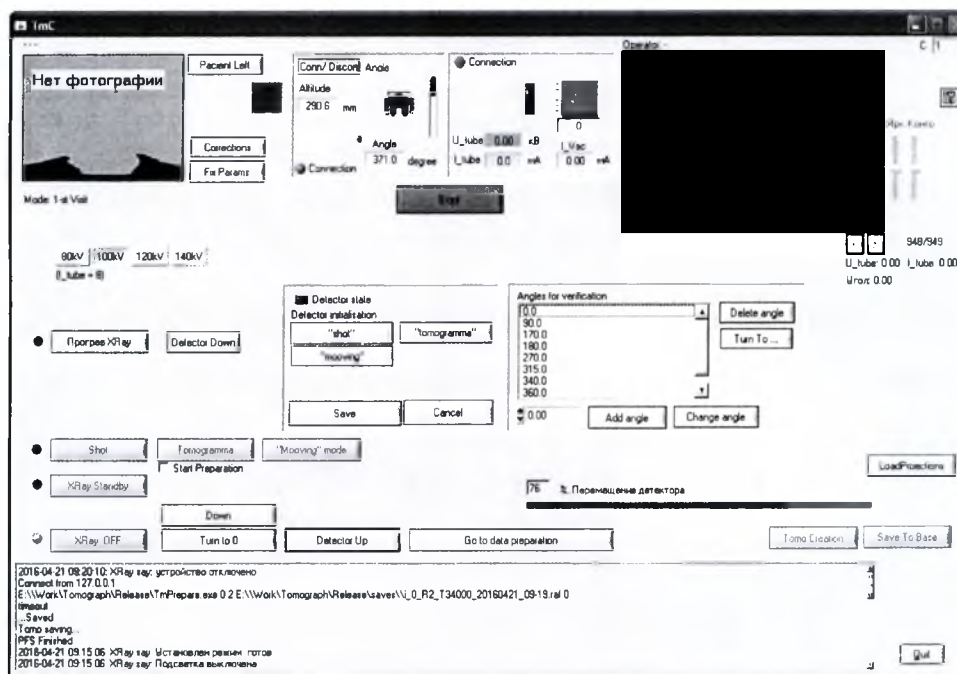


Рис. 2-2. Окно программы TmC.exe.

Версия:	2.0.11
Год выпуска:	2016
Приблизительный размер:	3,0 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304:	B

Пакет программ для работы с изображениями, полученными в системе визуализации для планирования облучения пациента.

Исполняемые модули:

1. **XRaySrv.exe** – сервер рентгеновской установки. Обеспечивает переключение установки в различные режимы. (Рис. 2-3.)
2. **TmC.exe** – программа для снятия томограммы. (Рис. 2-2.)
3. **TmPrepare.exe** – программа для подготовки проекций и восстановления томограммы. Верификация кадров текущего положения пациента с положением при съеме томограммы. (Рис. 2-4.)
4. **3DTOMSDI-BD-I.exe** – программа оконтуривания на томограмме областей, представляющих интерес с точки зрения процесса лечения. (Рис. 2-5.)

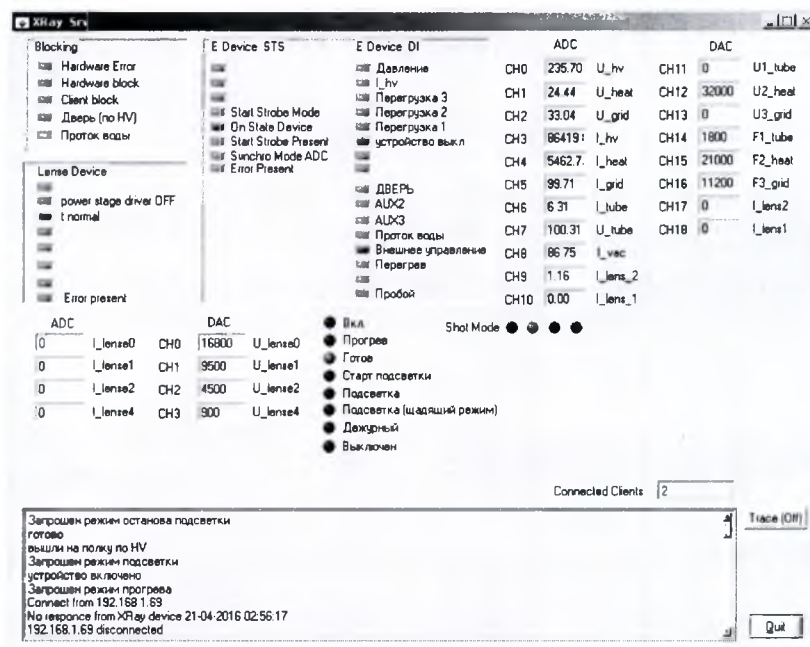


Рис. 2-3. Окно программы XRaySrv.exe.

Версия:	1.0.22
Год выпуска:	2014
Приблизительный размер:	2,0 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304:	В

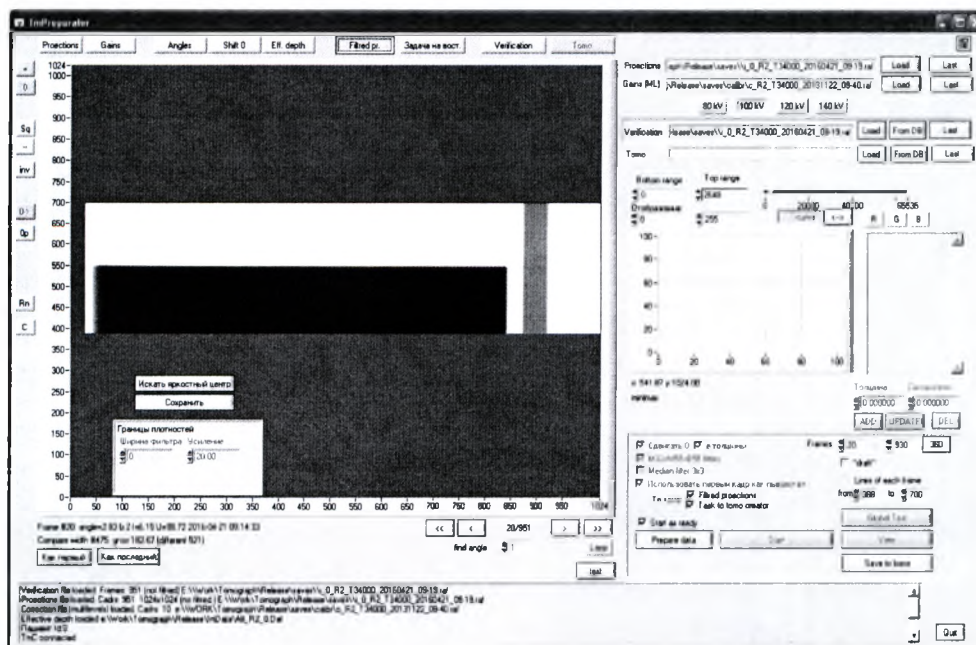


Рис. 2-4. Окно программы TmPrepare.exe.



Версия:	2.0.11
Год выпуска:	2016
Приблизительный размер:	3,0 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304:	В

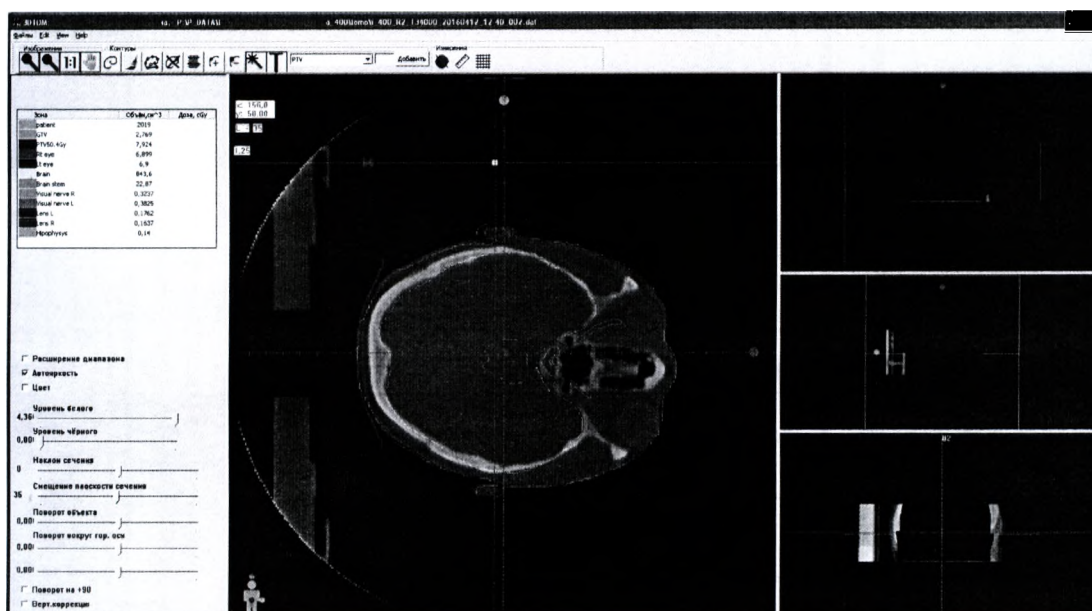


Рис. 2-5. Окно программы 3DTOMSDI-BD-I.exe.

Версия:	2.0
Год выпуска:	2015
Приблизительный размер:	4,0 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304:	В

Пакет программ для физического моделирования геометрических параметров движений и радиационного поля комплекса для правильного выбора режима облучения пациента.

Исполняемые модули:

1. **Planner.exe** – программа для подготовки плана облучения пациента. (Рис. 2-6.)
2. **TmView.exe** – программа просмотра томограммы и планируемого дозного поля. (Рис. 2-7.)

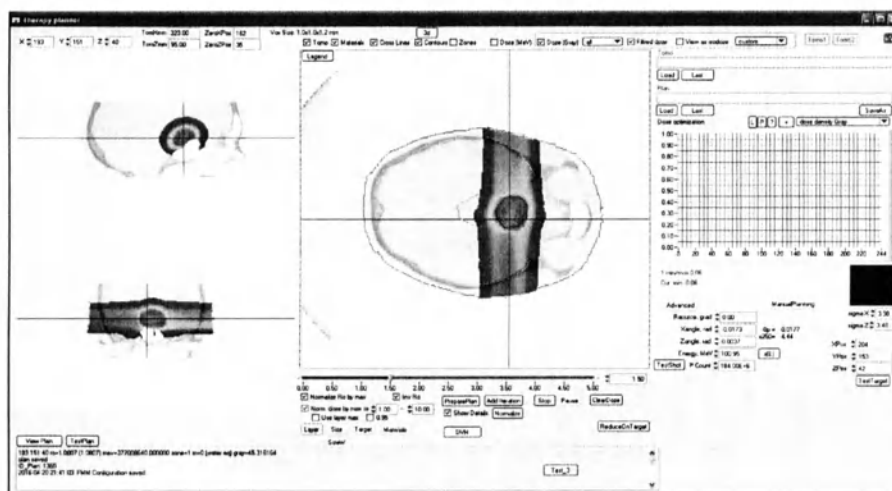


Рис. 2-6. Окно программы Planner.exe.

Версия: 2.0.11
Год выпуска: 2016
Приблизительный размер: 2,0 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304: В

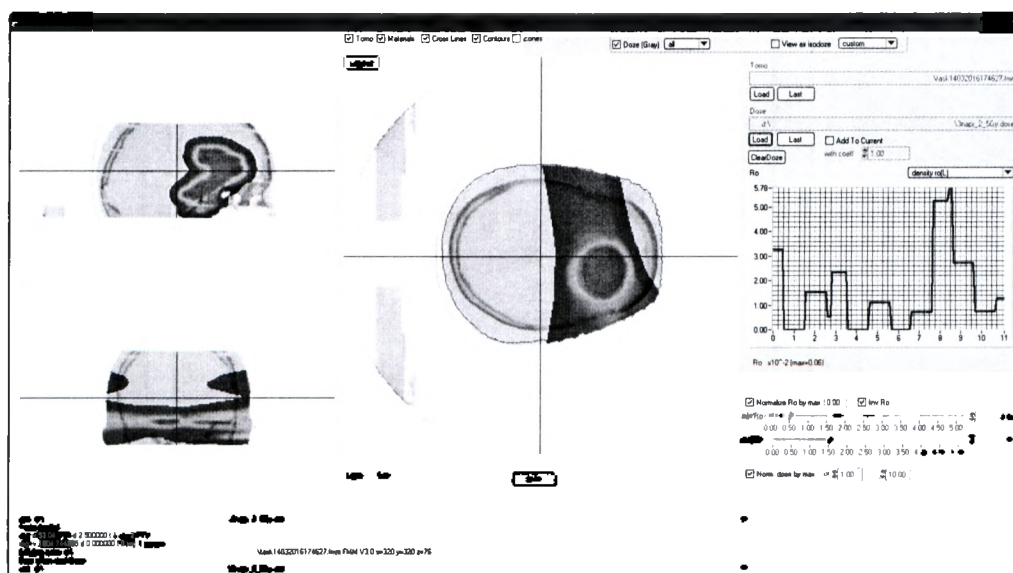


Рис. 2-7. Окно программы TmView.exe.

Версия: 2.0.11
Год выпуска: 2016
Приблизительный размер: 2,0 Мб



Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304: В

Пакет программ для контроля процесса проведения сеанса лучевой протонной терапии.

Исполняемый модуль:

1. **VideoControl.exe** - программа для контроля процесса проведения сеанса лучевой протонной терапии. (Рис. 2-8.)

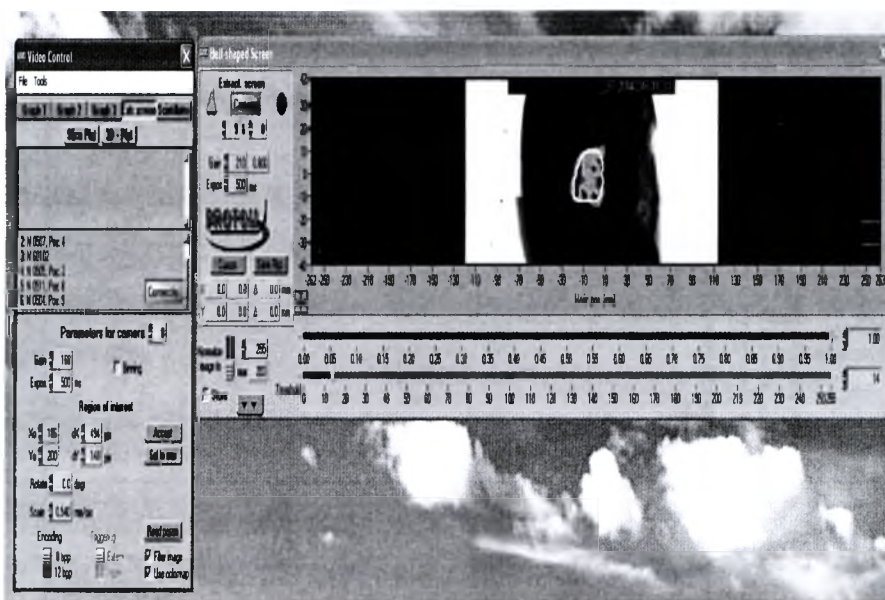


Рис. 2-8. Окно программы VideoControl.exe.

Версия:	2.0
Год выпуска:	2015
Приблизительный размер:	1,5 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304:	В

Пакет программ для управления процессом подготовки систем комплекса к сеансу лучевой протонной терапии.



Исполняемые модули:

1. **MainControl.exe** – программа для управления работой протонного синхротрона в соответствии с программой облучения. (Рис. 2.9.-2.11.)
2. **AccSrv.exe** – программы для управления работой протонного синхротрона. (Рис. 2.12.)
3. **AccDrv.rtss** – программы для управления работой протонного синхротрона. (Рис. 2.12.)

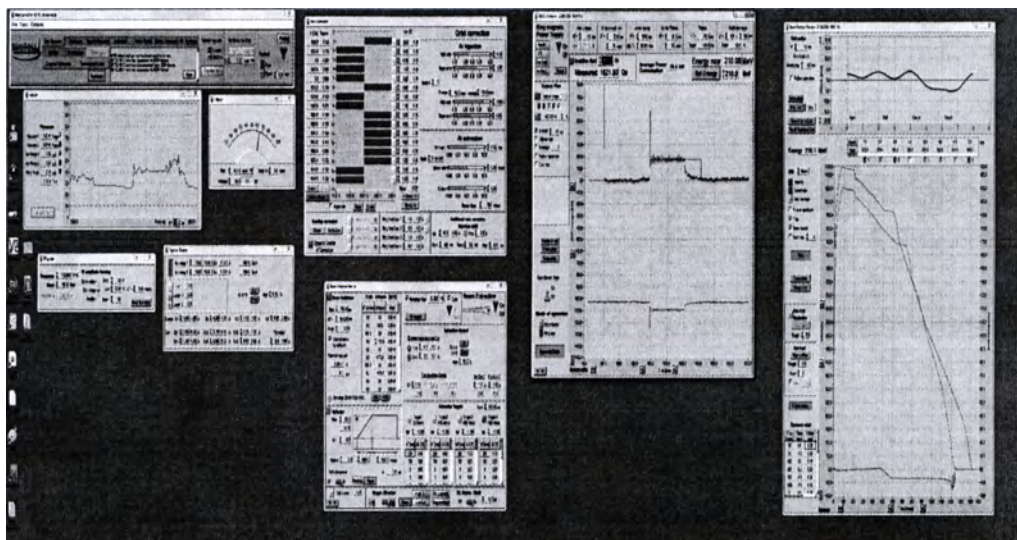


Рис. 2-9. Окно программы MainControl.exe.

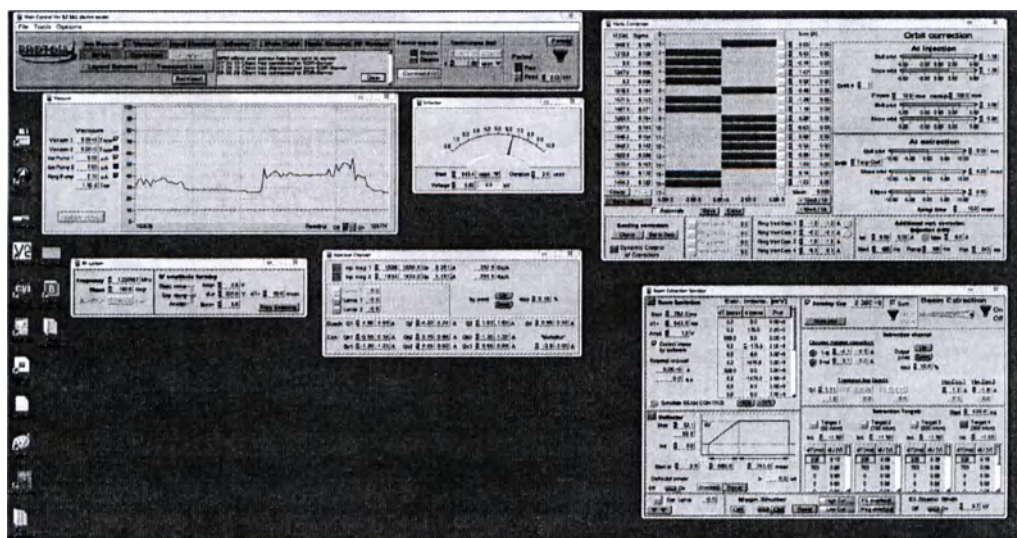


Рис. 2-10. Окно программы MainControl.exe.



Версия:	9.2
Год выпуска:	2015
Приблизительный размер:	1,0 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304:	В





Версия: 8.1
Год выпуска: 2015
Приблизительный размер: 1,0 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304: В

Пакет программ для ведения базы данных пациентов, включая корректировку информации о пациенте.

Исполняемые модули:

1. **Doctor.mde** –автоматизированная история болезни. (Рис. 2-13)
2. **Utilities.mde** –настройки и справочники. (Рис. 2-14.)

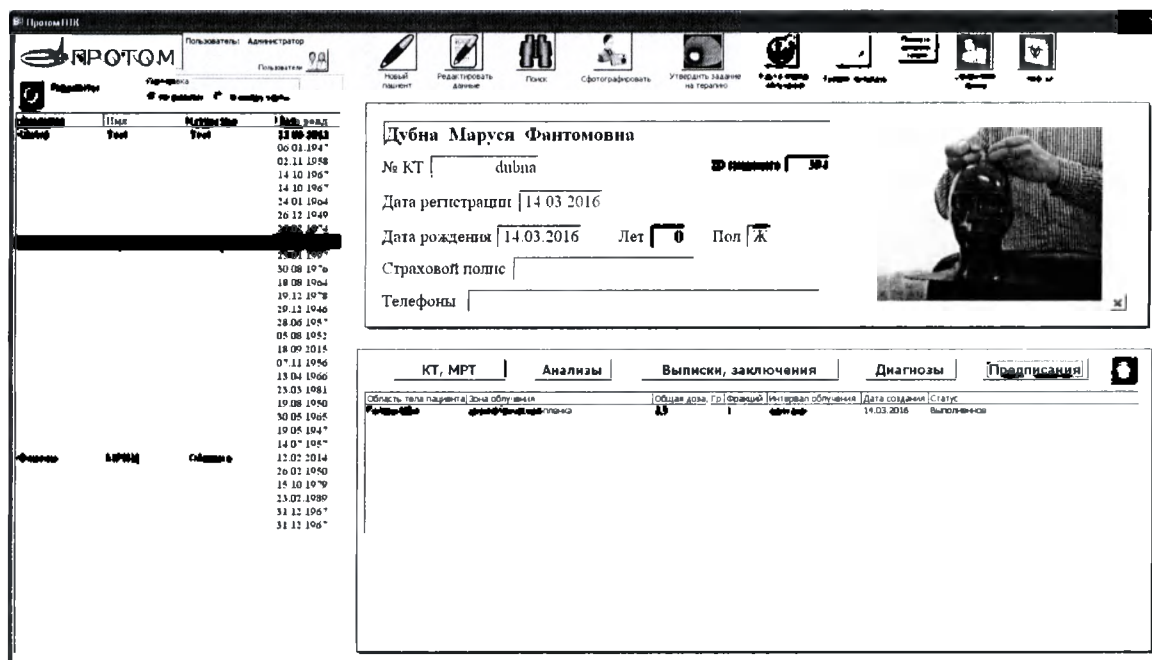


Рис. 2-13. Окно программы Doctor.mde.

Версия: 2.1
Год выпуска: 2016
Приблизительный размер: 2,3 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304: В

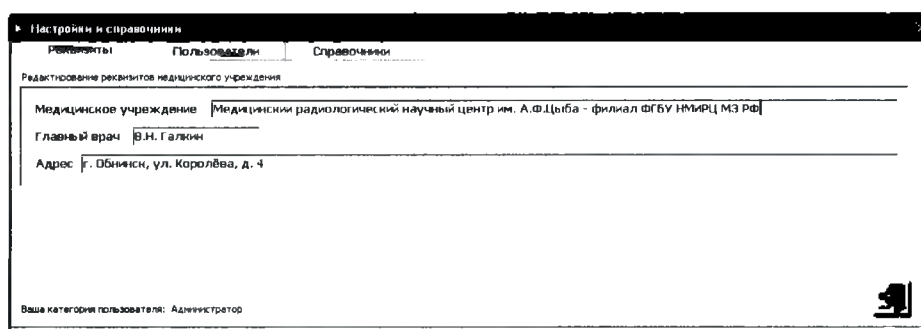


Рис. 2-14. Окно программы Utilities.mde.

Версия:	1.0
Год выпуска:	2014
Приблизительный размер:	1,0 Мб
Класс безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62304:	В

Пакет программ для архивации и хранения информации: база данных BasePTC.mdb.

Исполняемый модуль:

1. **Doctor.mde** - автоматизированная история болезни. (Рис. 2-13.)

База данных **BasePTC.mdb**: размер исполняемого файла – приблизительно 2,5 Мб, требуемое место на жестком диске – приблизительно 4,0 Гб для одного пациента.



3. Описание систем КПТ и порядок работы с ними

3.1. Магнитная система

3.1.1. Общее описание

Магнитная система создает магнитное поле, удерживающее ускоряемые частицы на контролируемой орбите.

Магнитная система синхротрона образована четырьмя одинаковыми квадрантами, разделенными большими свободными промежутками (Рис. 2-1). Каждый квадрант образован четырьмя С-образными железными блоками с параллельными полюсами, при этом два крайних магнита – ярмом внутрь, два средних – наружу. Средние магниты разделены малым свободным промежутком. Со стороны свободных промежутков магниты имеют срезы (таблица 3.1.1-1), что обеспечивает краевую фокусировку пучка. Магнитные блоки квадранта располагаются на одной регулируемой плите, стоящей на трех опорах. Магниты каждого квадранта охвачены общей токоведущей обмоткой попарно. Также попарно расположены обмотки коррекции.

ВНИМАНИЕ

Опасное напряжение

При работе ускорителя на шинопроводе системы питания возникает опасное напряжение до **500 В**.

ВНИМАНИЕ

Сильное магнитное поле

Магнит синхротрона создает сильное магнитное поле, которое может притянуть магнитные детали и нанести физический вред. Используйте немагнитный инструмент при работе вблизи магнита синхротрона

ВНИМАНИЕ

Взаимодействие с физиологическими имплантами

Магнитное поле магнита синхротрона может взаимодействовать с физиологическими имплантами, такими как электрический кардиостимулятор. Лица, имеющие физиологические импланты не должны входить в помещение синхротрона.

ВАЖНО

Сохранение магнитных носителей

Магнитное поле от магнита синхротрона может разрушить информацию, хранящуюся на кредитных картах, дискетах и пр. Не вносите эти предметы в помещение синхротрона

Магнит синхротрона производит ведущее магнитное поле, которое держит



ускоряемые протоны на стабильной орбите в процессе всего цикла ускорения. Магнитное поле подбирается эмпирически для данного железа и естественных изменений, производимых током в обмотке. Магнитное поле генерируется источником, производящим ток для двух (верхней и нижней) обмоток, охлаждаемых водой. Обмотки коррекции позволяют произвести радиальную коррекцию поля. Корректирующие обмотки питаются от специальных источников, управляемых ЭВМ. Стабилизация поля в магните обеспечивается обратной связью по 16 датчикам Холла.

Обозначения длинных промежутков следующие (см. Рис. 2-1): между квадрантами IV и I – впускной, далее последовательно, по движению пучка – инфлекторный, выпускной и ускорительный промежутки.

Конструкция магнитной системы ускорителя должна быть выполнена исходя из условия его максимальной компактности и экономичности.

Магнитная система синхротрона образована 16 одинаковыми магнитами с однородным полем, скомпонованными попарно общей обмоткой. Для достижения необходимого темпа ускорения частиц 250 МэВ за 0,5 сек. магниты должны быть выполнены шихтованными из стальных листов.

Для упрощения конструкции ускорителя и уменьшения его габаритов из магнитной системы синхротрона исключены отдельные фокусирующие элементы, а в поворотные магниты введена краевая фокусировка. Данное условие ужесточает требования к точности изготовления магнитов и проведения магнитных измерений.

Вертикальные корректоры кольца являются частью магнитной системы синхротрона. Они служат для согласования траектории инжектируемого пучка и замкнутой орбиты синхротрона.

Таблица 3.1.1-1. Параметры магнита. Спецификация.

Число периодов	4
Структура периода	L/2 B LS B L/2
Длина свободного промежутка (L/LS)	76,5 / 10,0 см.
Угол поворота магнита	45°
Магнитный радиус	150 см.
Магнитный краевой угол (внешн./внутр.)	11,25 / 13,8
Магнитный градиент	0
Магнитный зазор	21 мм.
Поле инжекции	80,66 мТл



Поле выпуска	0,82 – 1,8 Тл
--------------	---------------

3.1.2. Система коррекции магнитного поля

Система коррекции содержит 16 обмоток коррекции поля основного магнита (по одной на магнит) (Рис. 3.1.2-1).

Питание систем коррекции основного поля производится от стоек питания. На источниках коррекции имеются бирки с двумя цифрами. Например: 4-2. Что означает – 4-й стол (стол установки магнитов) 2-й магнит по ходу пучка.

Управление осуществляется с помощью компьютера.



Блок-схема питания цепей коррекции

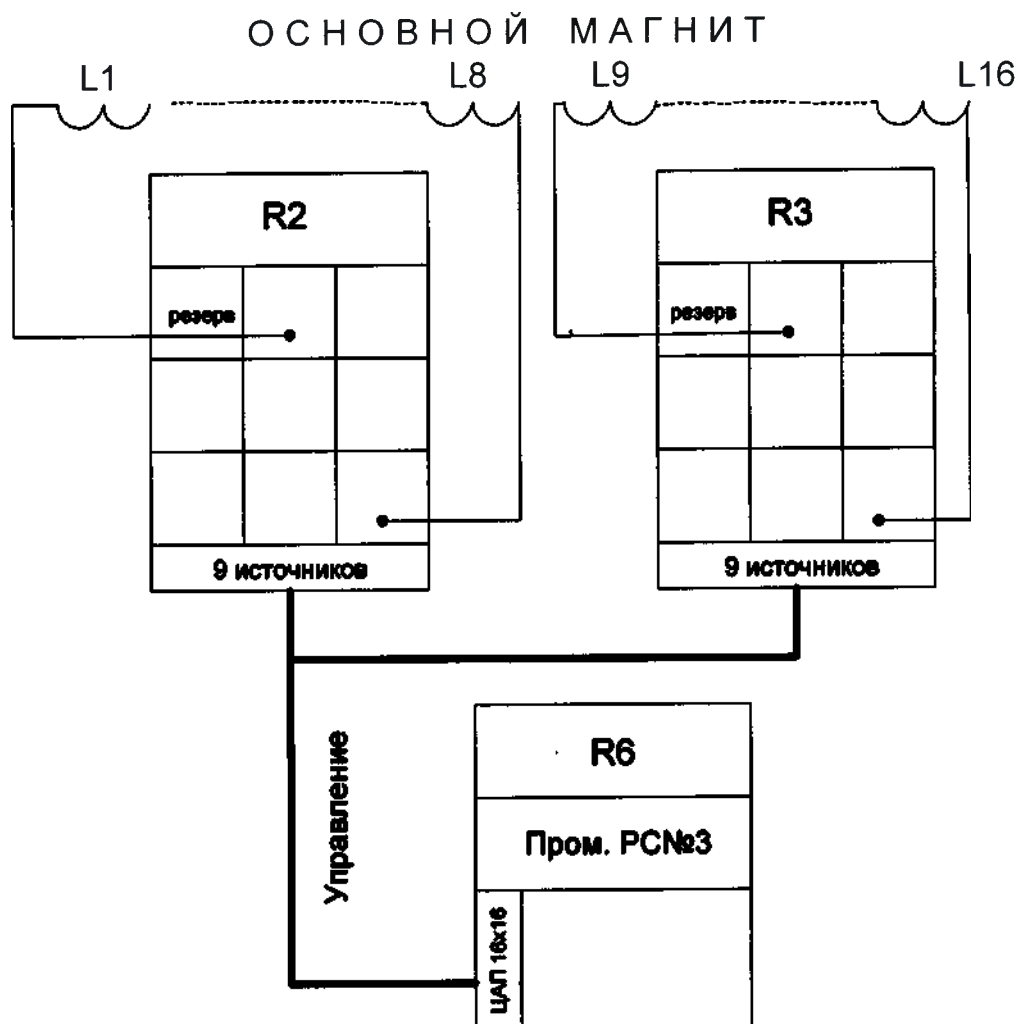


Рис. 3.1.2-1

На Рис. 3.1.2-2 приведено окно управления цепями коррекции

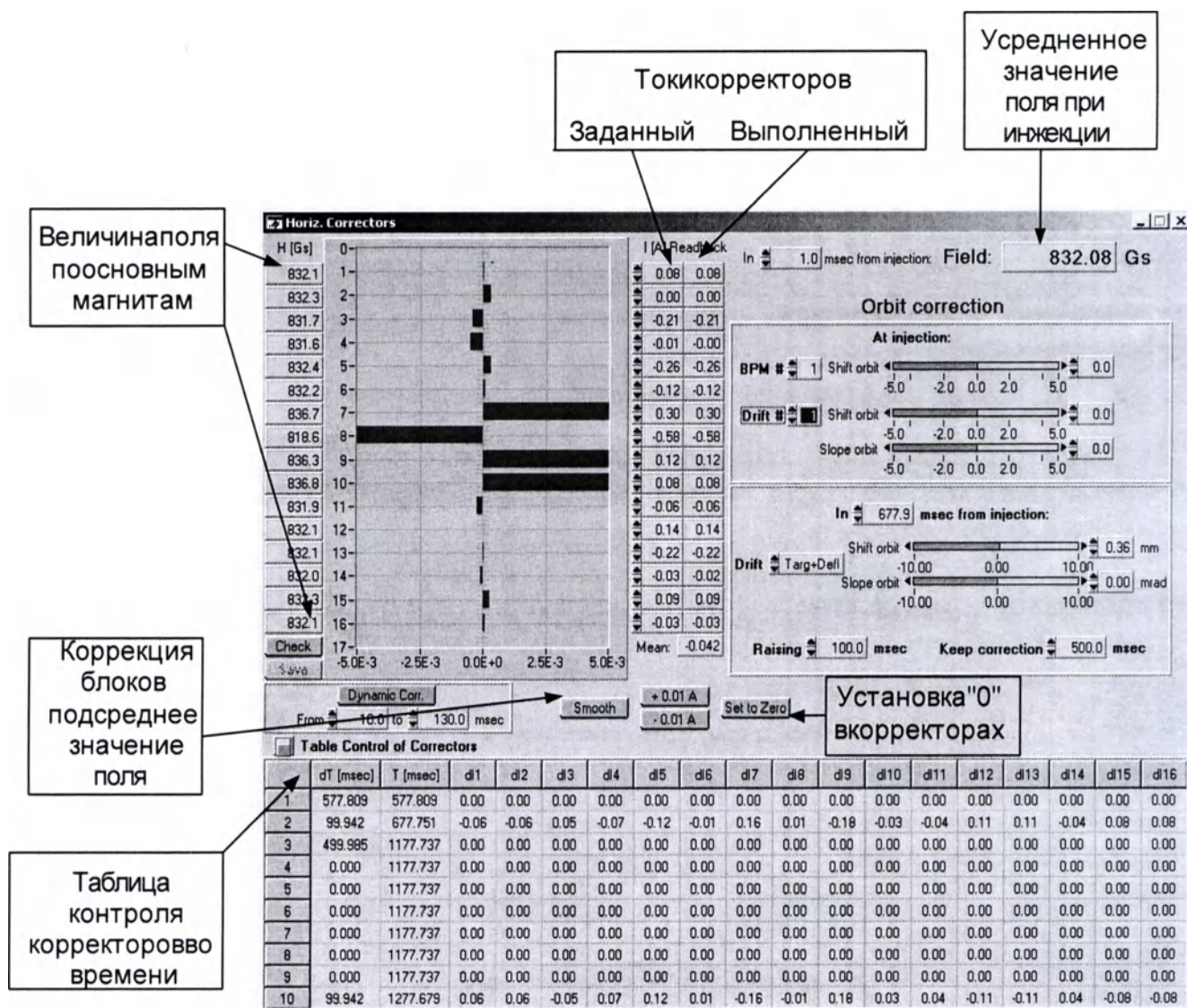


Рис. 3.1.2-2

3.1.3. Источник питания

Источник формирует ток возбуждения соединенных последовательно обмоток отдельных блоков кольцевого электромагнита. Изменение тока во времени имеет четыре характерных участка: первый – участок постоянного тока, когда осуществляется инъекция пучка в кольцевой ускоритель; второй – участок нарастания тока, когда происходит ускорение пучка до требуемой энергии; третий – также участок постоянного тока, когда происходит циркуляция и вывод пучка из ускорителя; четвертый – участок спада тока до тока инъекции.



Таблица 3.1.3-1. Источник питания. Спецификация

Число параллельных блоков	6
Максимальный ток питания нагрузки	2100 А
Минимальный ток нагрузки	50 А
Максимальное напряжение на нагрузке не более	700В
Максимальное напряжение на нагрузке относительно земли не более	500 В
Точность поддержания тока в установившемся режиме	$0.5 \cdot 10^{-3}$
Точность поддержания тока в динамическом режиме	$1.5 \cdot 10^{-3}$
Максимальная скорость нарастания тока нагрузки	4000 А/с
Охлаждение	Обессоленная вода

3.1.4. Порядок работы

Включение

1. Включить систему охлаждения (см. п. 3.10.2).
2. Включить автомат стоек питания магнитов. Подано напряжение на 7 блоков питания (“Module 1”-“Module 7”) основных обмоток магнита синхротрона.

На каждом блоке питания горят красные лампы:

«**Overload**» (перегрузка)

«**Overheating**» (перегрев)

«**t° R back front**»

«**WATER FLOW**»

3. Необходимо нажать на всех 7 блоках зеленую кнопку включения блока. Загорится зеленая лампа. На вольтметре – 560В (см. Рис 3.1.4-1).

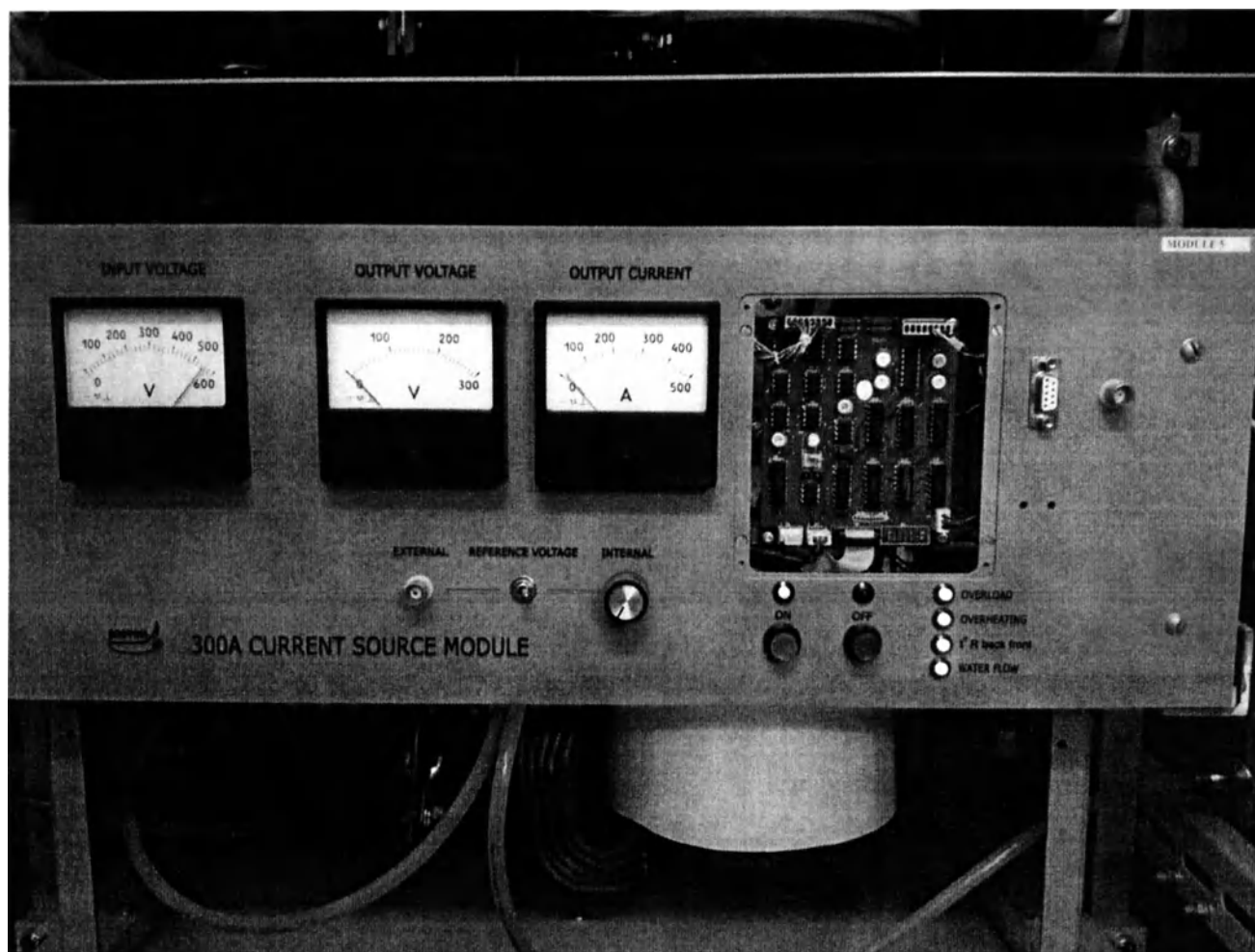


Рис 3.1.4-1

4. Дальнейшая регулировка магнитного поля производится через компьютер с пульта управления.

Окно **“Main Field”** (Рис. 3.1.4-3).

Ток на плато инъекции управляется окном **“Initial plateau”**.

Стандартное значение тока находится в пределах (20÷21) А.

Нажать кнопку **“Stabilize field at”** и производить контроль поля в окне **Main Plots** (Рис 3.1.4-2)

“Initial smooth link” регулирует начальный участок ускорения – количество векторов и длительность участка.

“Linear raising” определяет параметры участка линейного подъема магнитного поля.

“Link to Plateau” определяет параметры выхода поля на верхнее плато.

“Plateau” определяет параметры плато вывода (верхнего).

“Falling edge” определяет параметры спада поля.



“**Select Plot**” обеспечивает работу с графикой магнитного поля и тока.

Кнопка “**Enable cursor**” вызывает на график курсор с измерением координат.

Кнопка “**Erase plots**” – очистка графика.

Кнопка “**Save plots**” - сохранение графика.

Кнопка “**Hide Table**” - убрать/показать таблицу

Кнопка “**Dynamic regime**” - динамический режим

“зеленая” – отключен динамический режим ускорения

“красная” – включен динамический режим ускорения.

Кнопки “**Rows**” — работа с таблицей “**Piecewise-linear approximation Table**”:

Copy — копировать строки

Paste — вставить строки

Insert — заменить строки

Delete — удалить строки

Merge — объединить строки

Split — разбить строки

Кнопка “**Optimize Nvect**” – оптимизация числа строк в таблице (Рис. 3.1.4-3).

Кнопка “**Modify by**” – модификация столбца DF/dt с нужным коэффициентом

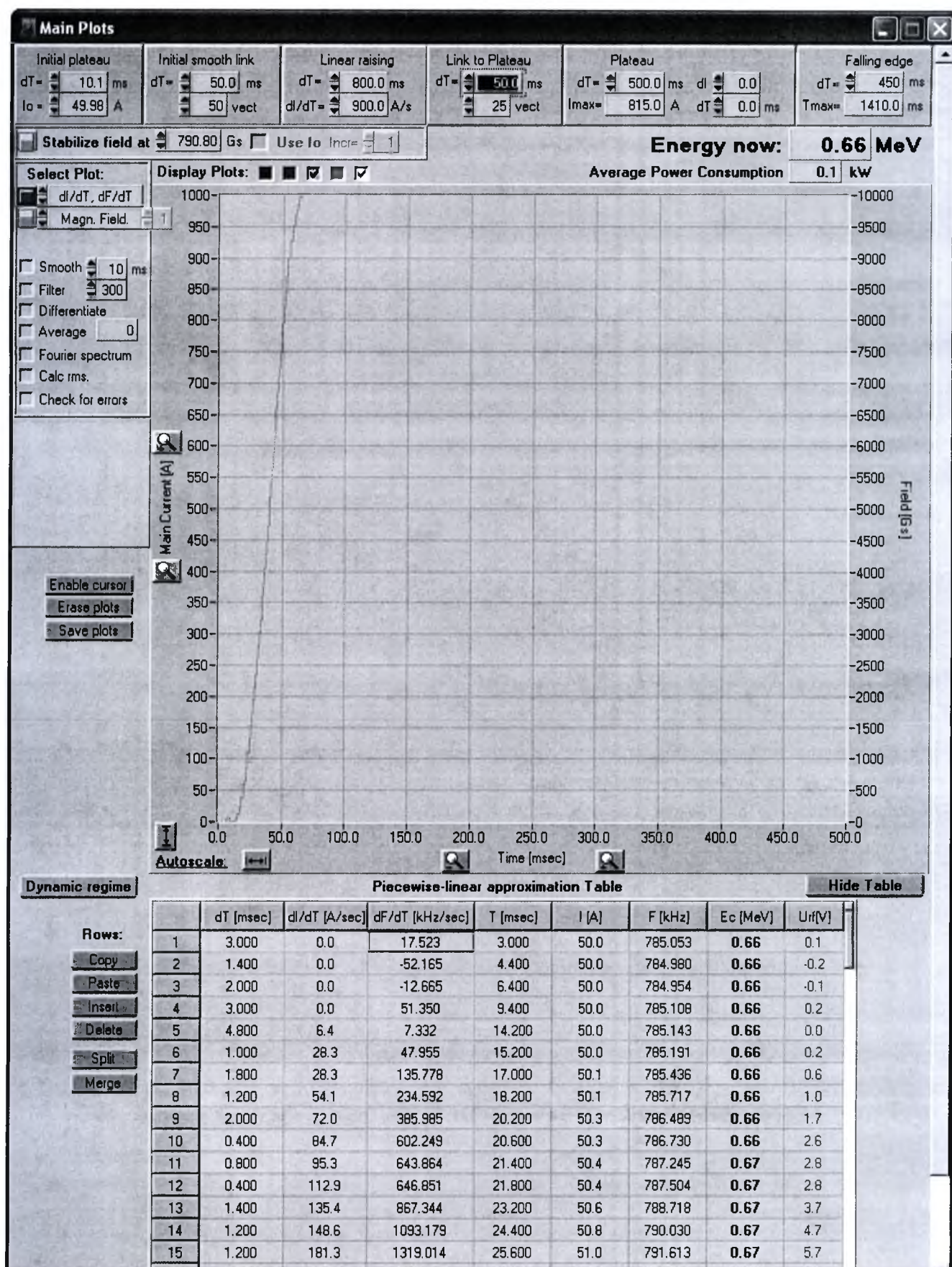


Рис. 3.1.4-2

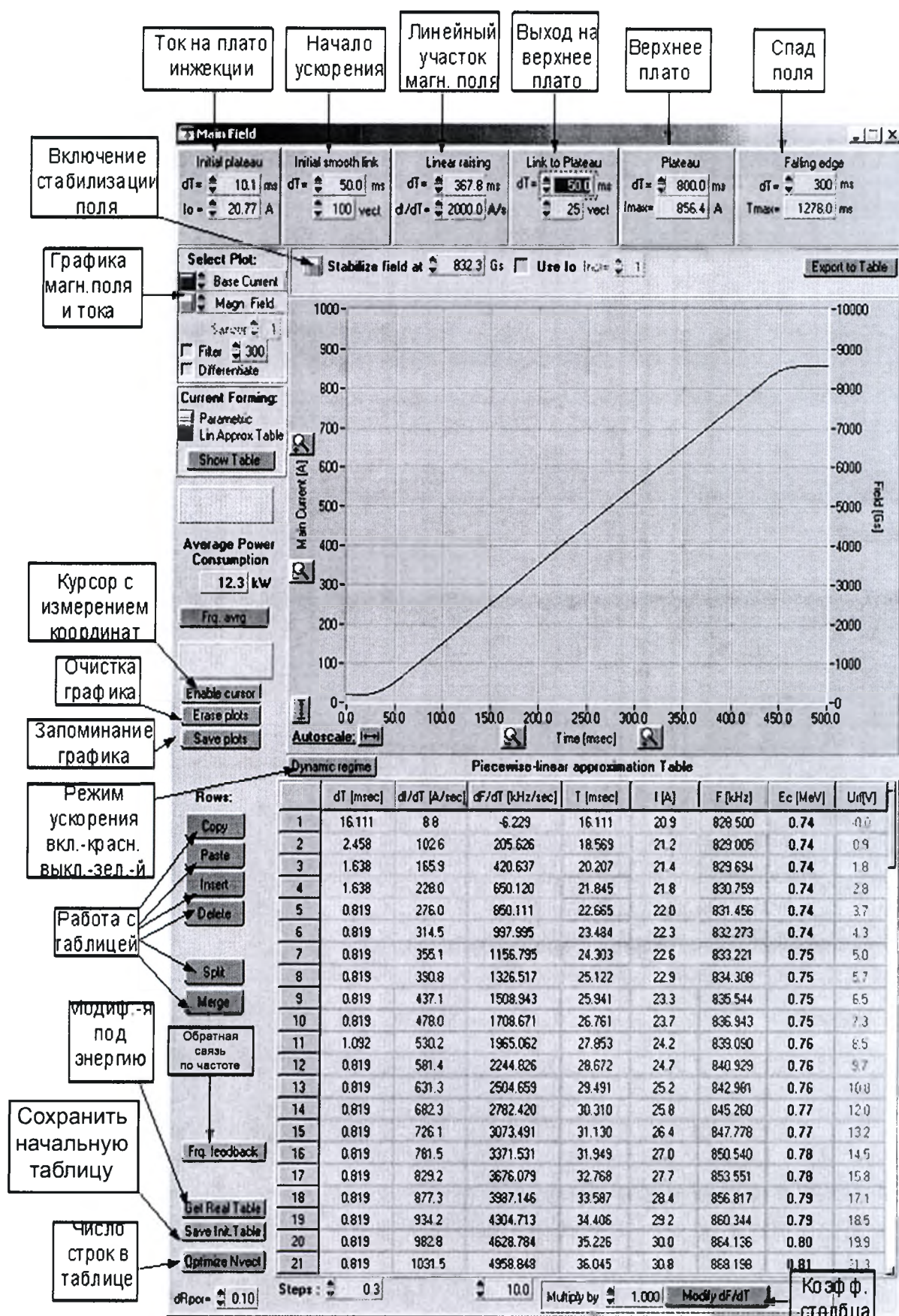


Рис. 3.1.4-3



3.2. Высокочастотная ускоряющая система

Высокочастотная (ВЧ) система создает высокочастотное напряжение на ускорительном зазоре и обеспечивает ускорение протонов до заданной энергии.

3.2.1. Порядок работы

Включить блоки питания.

Управление ВЧ системой производится с помощью ЭВМ с пульта управления (Рис. 3.2.1-1).

Управление:

“Frequency” – начальная частота

“Phase” – фаза

“Start RF at” – время запуска ВЧ

“Pulse duration” – длительность импульса

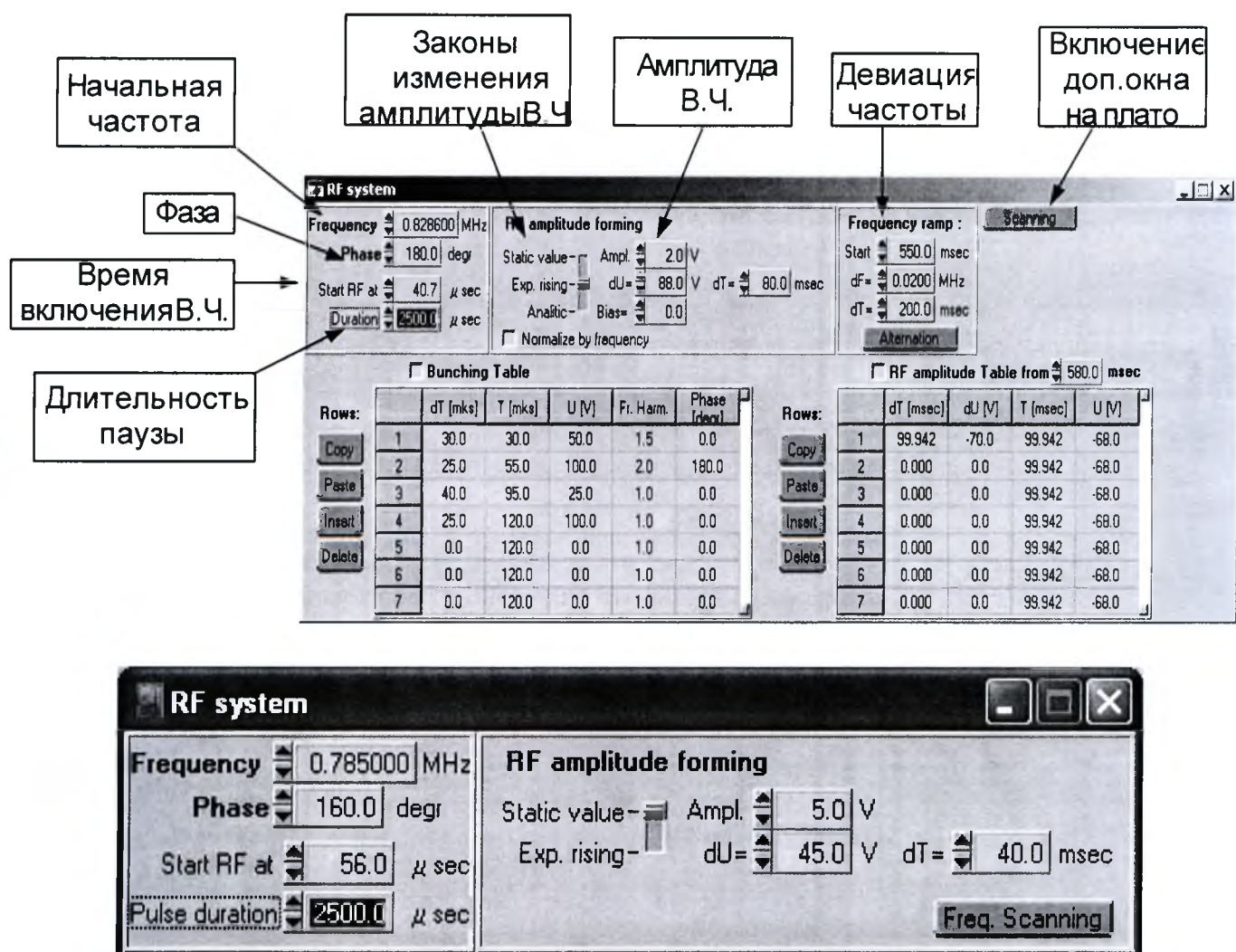


Рис. 3.2.1-1



3.3. Вакуумная система

3.3.1. Общее описание

Назначение вакуумной системы – получение вакуума, необходимого для ускорения протонов до нужной энергии.

Таблица 3.3.1-1. Вакуумная система. Спецификация.

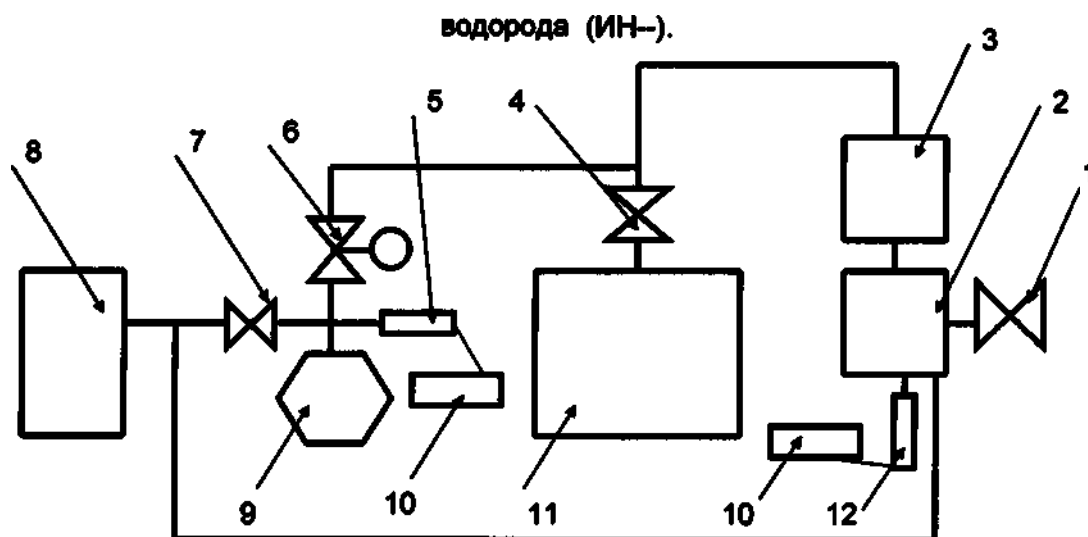
Вертикальная апертура	15мм
Горизонтальная апертура	75 мм
Вакуум	10^{-8} торр
Форвакуумный насос	1 шт.
Турбомолекулярный насос	1 шт.
Магниторазрядный насос	8 шт.
Материал	Нержавеющая сталь

Вакуумная система импульсного источника отрицательных ионов водорода предназначена для получения вакуума в источнике отрицательных ионов водорода, которые в последующем используются для перезарядной инжекции протонов в Синхротрон. Вакуум в источнике ионов водорода поддерживается на уровне 5×10^{-7} мбар.

Схема вакуумной системы импульсного источника отрицательных ионов водорода (ИН-) представлена на Рис. 3.3.1-1.



Схема вакуумной системы импульсного источника отрицательных ионов



- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1- шибер ручной GVB-SS-KF40-M | 8 – источник водорода |
| 2 - импульсный источник отрицательных ионов водорода (ИИ--) | 9 – форвакуумный насос LSP-90 |
| 3 – турбомолекулярный насос TMP-1103LMP | 10 – вакуумметр ACS2000 |
| 4 – вентиль ручной AVB-KF40-M-E | 11 - ресивер |
| 5 – форвакуумный датчик AP2004 | 12 - высоковакуумный датчик ACC2009 |
| 6 – клапан электромагнитный 26428-KA61 | |
| 7 – вентиль ручной AVB-KF40-M-E | |

Рис. 3.3.1-1

Работа с вакуумной системой многофункциональна и включает в себя:

а) поддержание вакуума в источнике ионов водорода на уровне 5×10^{-7} мбар.

Для осуществления этой функции надо:

включить в работу форвакуумный насос поз.9;

открыть электромагнитный клапан поз.6 и «сорвать» атмосферу из

турбомолекулярного насоса (ТМН) поз.3 и импульсного источника поз.2;

после этого плавно открыв вентиль поз.4, «сорвать» атмосферу из ресивера;

по достижении вакуума 5×10^{-2} мбар по вакуумному датчику поз.12, включить в работу ТМН поз.3.

При получении вакуума 5×10^{-7} мбар по вакуумметру поз.10 источник ионов готов к работе.

б) подготовку (вакуумирование) линии подачи водорода от источника водорода поз.8 до импульсного источника поз.2.



Для осуществления этой функции надо:

закрыть электромагнитный клапан поз.6 и плавно открыть ручной вентиль поз.7;
по достижении вакуума 5×10^{-2} мбар по вакуумному датчику поз.5 закрыть ручной вентиль поз.7. Заполнить линию водородом.

в) подготовку к работе после монтажа или ремонта вакуумной системы канала впуска.

Для осуществления этой функции надо:

откачать автономным форвакуумным насосом через байпасную линию вакуумную систему канала впуска до вакуума 5×10^{-2} мбар;
закрыть байпасную линию и, открыв шибер поз.1, откачать вакуумную систему канала впуска до вакуума 5×10^{-5} мбар по вакуумному датчику поз.12, после чего включить в работу все магниторазрядные насосы, смонтированные на вакуумной системе канала впуска.

Отдельные части вакуумной камеры соединены сваркой. Для получения высокого вакуума, перед первоначальной откачкой производится прогрев камеры.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ Напряжение питания форвакуумного и турбомолекулярного насосов – **380 В**.

Питание магниторазрядных насосов – **7 кВ**.

3.3.2. Эксплуатационные требования

Вакуумная система должна безопасно и бесперебойно работать длительное время в нормальных условиях окружающей среды, согласно ГОСТ IEC 61010-1-2014:

- в помещениях;
- при температуре от 5 °С до 40 °С;
- при максимальной относительной влажности 80 % для температур до 31 °С и с линейным уменьшением относительной влажности до 50% при увеличении температуры до 40 °С;
- при колебании напряжения в сети питания до $\pm 10\%$ номинального значения напряжения.

Для бесперебойной работы вакуумной системы и удовлетворения всех вышеуказанных требований применяется оборудование и арматура ведущих азиатских и европейских фирм.



3.3.3. Порядок работы

Включение.

1. Убедиться, что давление в системе в пределах нормы (показания приборов не должны превышать следующих значений)

Питание насоса №1 – **1000** мкА

Питание насоса №2 – **1000** мкА

Питание насосов №(3÷6), – **100** мкА

Питание насоса №7 – **30** мкА (стоит на кольце)

2. Включить автомат на форвакуумном насосе (через минуту сработает клапан).

3. Открыть вентиль на форвакуумном насосе.

4. Включить вакуумметр 13ВТБ3-003 (вакуумметр можно не выключать).

5. Включить маслонасос (тумблер на блоке питания турбомолекулярного насоса ТМН).

Смотреть давление по вакуумметру - не более **100** Па (или **3** по верхней шкале).

6. Включить систему охлаждения:

Автомат «Питание чиллера» – включить

Кнопка «Пуск» водяного насоса.

Включить чиллер (см. Рис. 3.3.3-1).

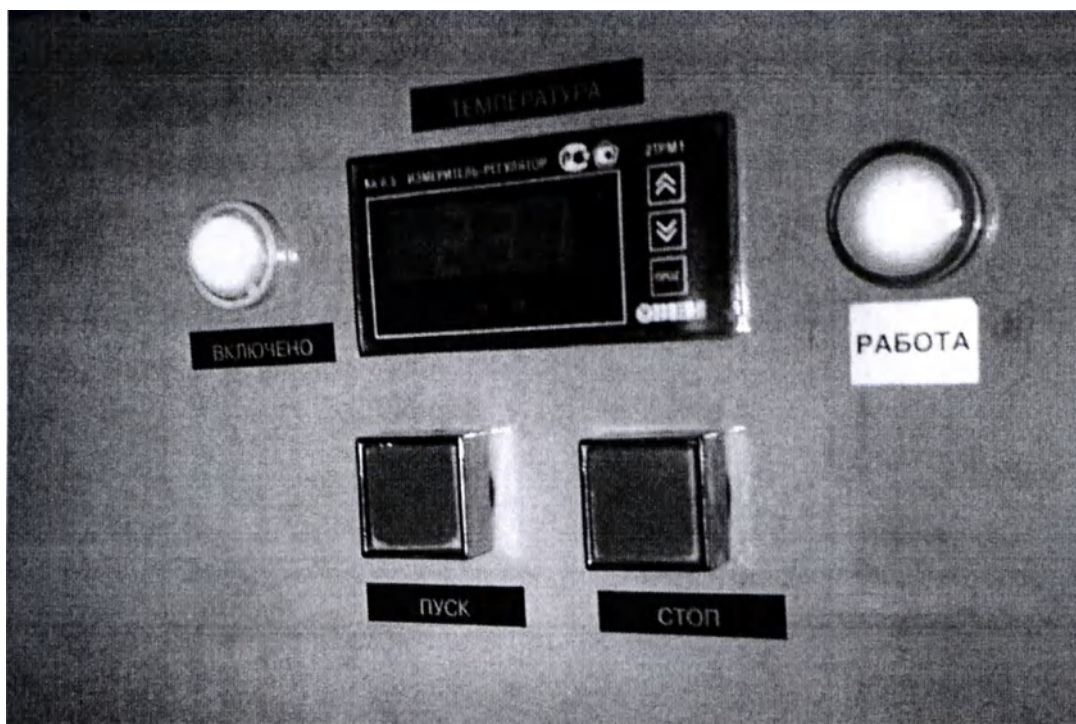


Рис. 3.3.3-1



7. Включить ТМН. Через 10-15 мин. ТМН выходит на рабочий режим (на индикаторе — 100%).

Важно! Сразу после включения ТМН необходимо переключить тумблер на блоке управления насосом в положение «Remote».

8. Включить напуск водорода (включить зеленую кнопку на блоке водородного клапана ионного источника).

9. Открыть шибер №1.

10. Открыть шибер №2.

11. Открыть шибер №3.

Во время открытия шиберов, следить за показаниями приборов. Значения не должны превышать (см. п. 1).

Во время работы следить за температурой ТМН – насос не должен сильно греться. К концу смены он чуть теплый.

При любых работах с натекателем (включение, выключение, регулировка) шибер № 3 должен быть закрыт!

Выключение.

1. Закрыть шибер №3 (на входе в кольцо).

2. Закрыть шибер №1. (См. рис. 3.4.1-1)

3. Выключить ТМН

Внимание! Клапан напуска водорода продолжает работать до полного выключения турбонасоса!!!

4. Закрыть вентиль на форнасосе через 10 мин. после выключения модуляторов поджига дуги и вытягивающего напряжения.

5. Выключить форнасос.

6. Через 30-40 мин. ТМН должен остановиться. Выключить напуск водорода и отключить масляный насос ТМН.

7. Выключить систему охлаждения:

Во время длительного отсутствия оператора в пультовой или бункере, закрыть шиберы № 1 и №3.



3.4. Инжектор

3.4.1. Общее описание

Инжектор предназначен для первоначального получения протонов и ускорения их до энергии примерно 700 кэВ.

Инжектор состоит из импульсного дугового источника ионов с импульсным напуском водорода, электростатических линз, ускорительной трубки и источника напряжения на 630 кВ. Длительность тока протонов – 2 мкс, частота повторения до 1 Гц.

Импульсный источник отрицательных ионов водорода предназначен для получения отрицательных ионов водорода, которые в последующем используются для перезарядной инжекции протонов в синхротрон.

Это устройство имеет несколько совмещённых функций:

- Вытягивание и ускорение отрицательных ионов водорода.
- Генерация отрицательных ионов водорода.
- Фильтрация тока от электронной составляющей.
- Формирование пучка элементами электронной оптики (проволочными электростатическими линзами) и корректировка положения пучка ионов (корректорами).

С помощью импульсного клапана в источник ионов поступает водород. Поджигается электрическая дуга, что приводит к образованию плазмы. Электростатическая линза №1 вытягивает из плазмы H^- ионы и электроны. Электроны отбрасываются сепаратором. H^- ионы попадают на перезарядную пленку, и после нее имеем протоны. Протоны ускоряются в ускорительной трубке. Напряжение для ускорительной трубки вырабатывает каскадный генератор.

ВНИМАНИЕ: Опасное напряжение

В ионном источнике вырабатывается высокое напряжение – до 20 кВ.

Источники питания выдают напряжения до 500 В

Блок схема инжектора представлена на Рис. 3.4.1-1

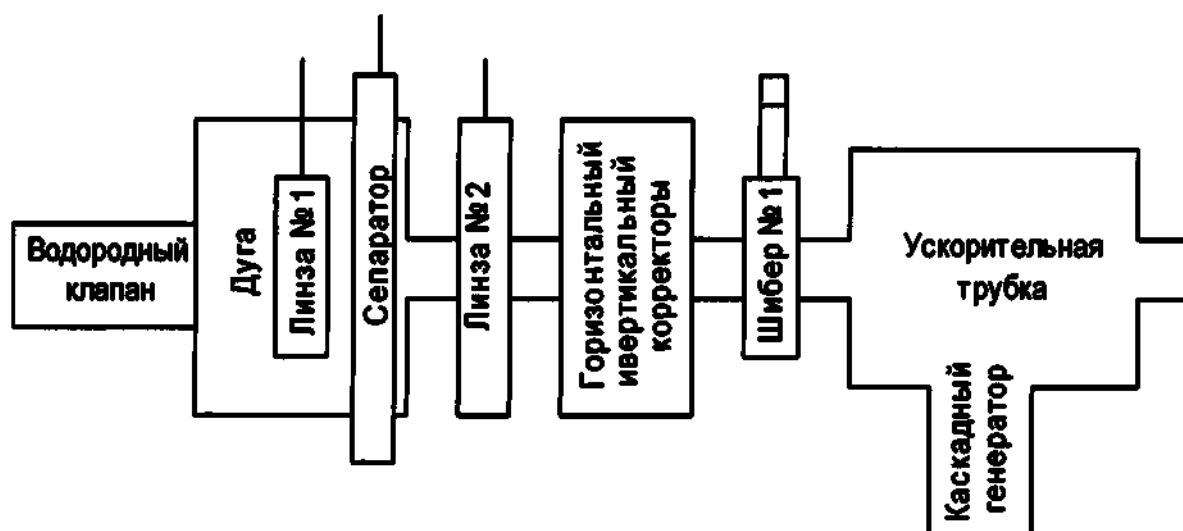
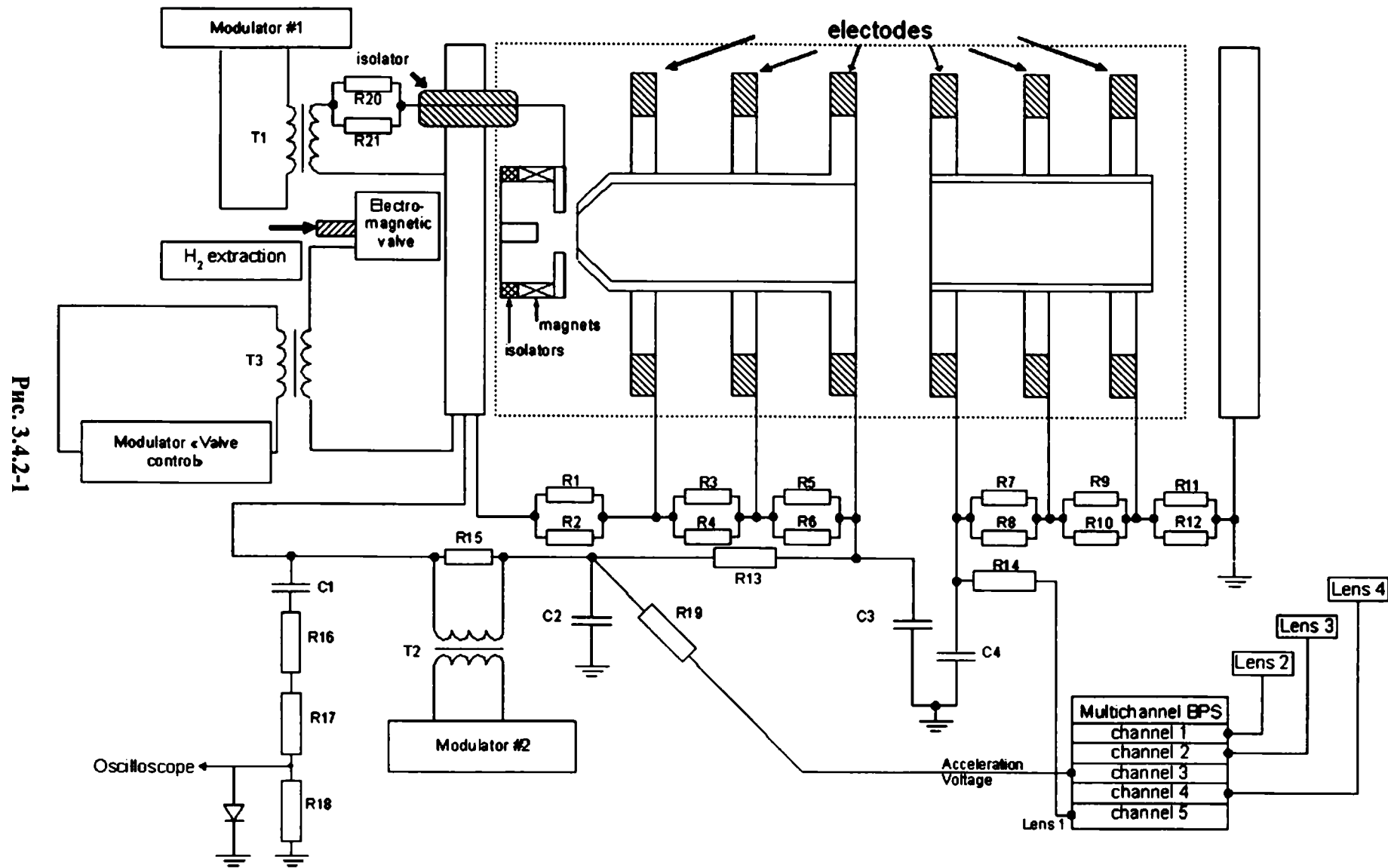


Рис. 3.4.1-1

3.4.2. Схема питания ионного источника

Схема питания ионного источника представлена на Рис. 3.4.2-1





3.4.3. Порядок работы

3.4.3.1. Получение вакуума

Для работы ионного источника необходим вакуум 10^{-5} торр. Данный вакуум обеспечивается при помощи форвакуумного насоса и турбомолекулярного насоса TMP-1103LMP (см. инструкцию к турбомолекулярному насосу). Форвакуумный насос обеспечивает вакуум до 10^{-3} торр, дальнейшее улучшение происходит при помощи турбомолекулярного насоса. Турбомолекулярный насос работает постоянно, а форвакуумный насос поддерживает необходимый для работы турбомолекулярного насоса уровень вакуума при помощи автоматической системы.

3.4.3.2. Подготовка к первоначальному включению (Включение после напуска атмосферы в источник)

Водородный трубопровод требует «прокачки» на вакуум перед заполнением водородом с помощью форвакуумного насоса. Для этого, закрывается электромагнитный клапан между форвакуумным насосом и турбомолекулярным насосом и открывается вентиль, стоящий на водородном трубопроводе. Откачка водородного трубопровода происходит в течение 3-х минут, после чего вентиль на водородном трубопроводе закрывается и открывается вентиль на турбомолекулярный насос. Создается давление водорода около 1 бар.

3.4.3.3. Включение источников питания

В стойке R4 включить источник “Multichannel BPS”, обеспечивающий подачу напряжения на электростатические линзы ионного источника.

В стойке R5 включить “Modulator 1” (поджиг дуги), “Modulator 2” (выработка вытягивающего импульса) и “Valve control” (импульс питания электромагнитного клапана).

Включить ключик в положение ON.

3.4.3.4. Работа с программой управления ионным источником

Управление ионным источником из пультовой осуществляется при помощи окна «**Ion Source**» основной программы (Рис. 3.4.3.4-1).

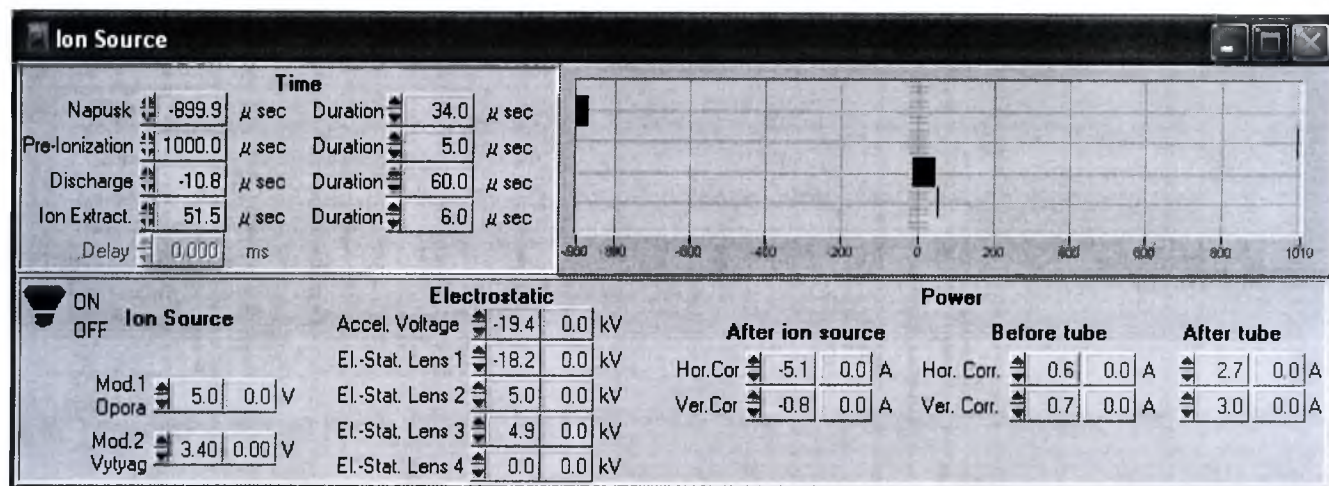


Рис. 3.4.3.4-1

Основные показатели источника отображаются на осциллографе марки «Tektronix» (см. инструкцию к осциллографу). На Рис. 3.4.3.4-2 отображен примерный вид показаний данного осциллографа.

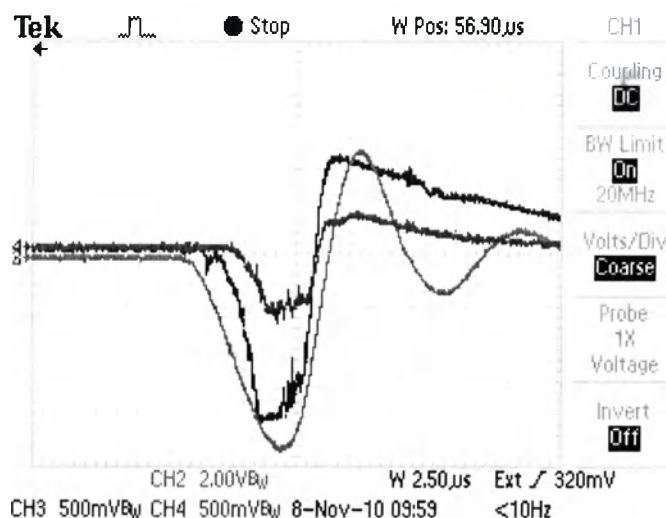


Рис. 3.4.3.4-2

1. Область **Time** (Рис. 3.4.3.4-1)

«**Napusk**» – время начала напуска. Определяет время включения электромагнитного клапана, подающего порцию водорода в камеру горения. Значения данного параметра устанавливаются в диапазоне -700 — -1100 мкс, в зависимости от свойств данного источника. «**Duration**» напуска — длительность напуска водорода. Определяет объем порции водорода, подаваемого в камеру горения. Во время настройки длительность минимизируется по горению дуги.

«**Pre-Ionization**» – используется в редких случаях для помощи в поджиге дуги.



«**Discharge**» – определяет временное положение вытягивающего импульсе относительно дуги.

«**Ion Extract.**» – задержка вытягивающего импульса относительно начала синхронизации. «**Duration**» определяет длительность вытягивающего импульса.

Для удобства в программе представлена временная диаграмма положения соответствующих импульсов (правая часть Рис. 3.4.3.4-1).

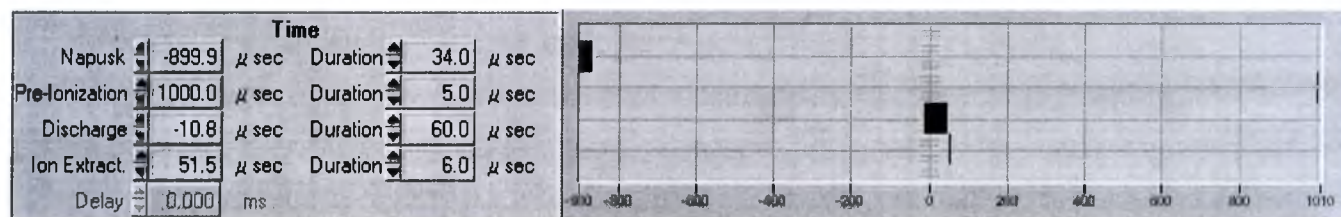


Рис. 3.4.3.4-3

2. Область Ion Source

«**Mod.1 Opora**» – уставка, регулирующая “Modulator 1” (поджиг дуги).

«**Mod.2 Vytyag**» – уставка, регулирующая “Modulator 2” (вытягивающей импульс).

3. Область Electrostatic

«**Accel. Voltage**» – ускоряющее напряжение ионного источника.

«**El.-Stat. Lens 1**»-«**El.-Stat. Lens 4**» – Уставки для электростатических линз фокусировки пучка.

Lens 1 — напряжение линзы на керамическом изоляторе

Lens 2 — напряжение линзы на ТМН

Lens 3 — напряжение линзы перед ускоряющей трубкой

Lens 4 — напряжение линзы после ускоряющей трубки

4. Область Power

«**After ion source**» – уставки тока горизонтального и вертикального электромагнитного корректора на ионном источнике.

«**Before tube**» – уставки тока горизонтального и вертикального корректора перед ускоряющей трубкой.

«**After tube**» – уставки тока горизонтального и вертикального корректора после ускоряющей трубки.

!!! Уставки пунктов 2 – 4, горящие красным цветом, означают, что источник питания соответствующего блока отключен. Синим – работающий источник



3.4.4. Монтаж и демонтаж

ВНИМАНИЕ:

Монтажно-демонтажные работы на ионном источнике должны происходить при **обязательном** отключении источников питания и разряде высоковольтных элементов с помощью изолированной высоковольтной штанги.

3.5. Каскадный генератор

3.5.1. Общее описание

Каскадный генератор состоит из генератора УЗГ в стойке №4 и умножителя напряжения, находящегося в специальном танке, заполненном элегазом под давлением 5 атм. для повышения напряжения пробоя.

3.5.2. Порядок работы

Включение

Включить «Питание каскадного генератора». Красная кнопка на блоке УЗГ в стойке №4 (Рис 3.5.2-1).

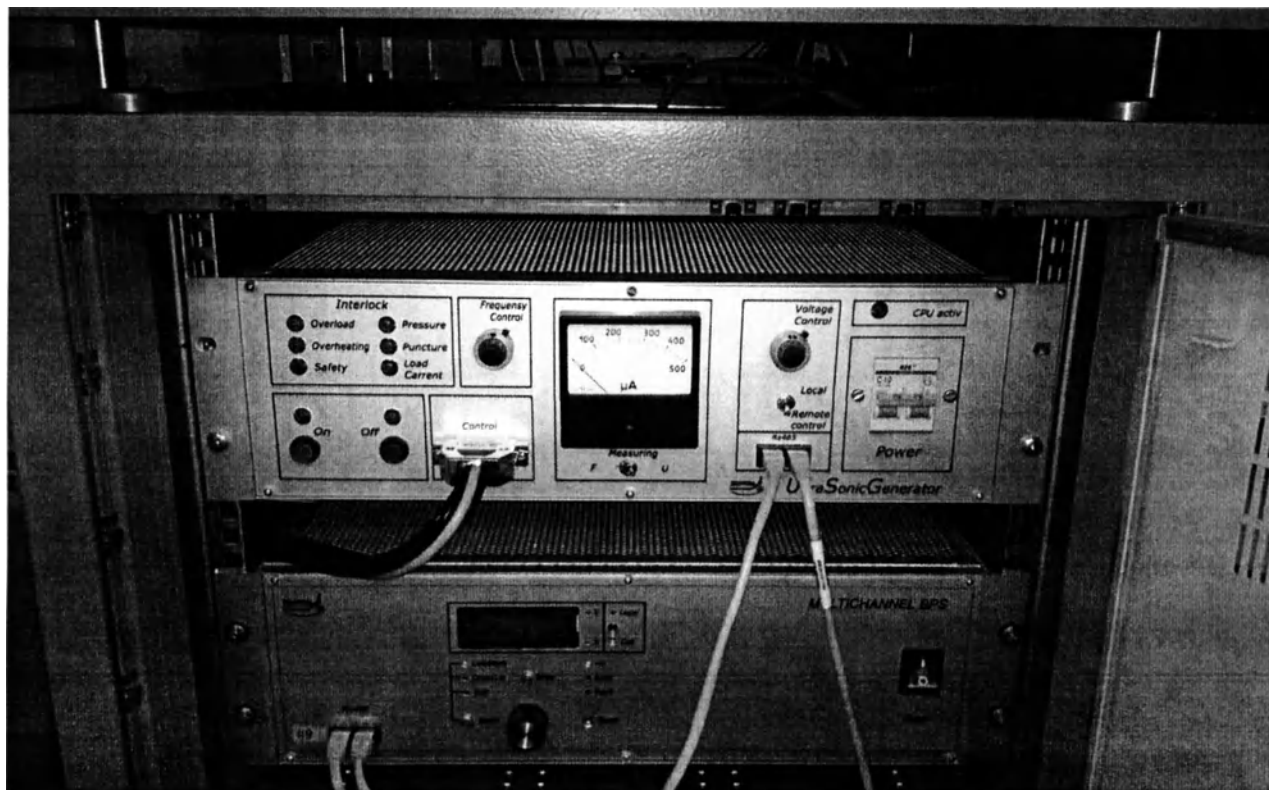


Рис 3.5.2-1



Управление каскадным генератором для ускоряющей трубки

После закрытия дверей в зал ускорителя (отсутствие людей) и включения блокировок УБС на пульте управления (окно **High Voltage**, Рис. 3.5.2-2)

1. выставить нужный уровень напряжения на ускоряющей трубке в окошке **Stabilize level** нажать кнопку слева. Загорится красным

2. нажать ключик ON/OFF в окне **High Voltage** в положение On.

В окне **High Voltage** будет рисоваться подъем напряжения с шагом, заданным в окошке **stability threshold**

В окне **Vacuum** наблюдаем поведение токов магниторазрядных насосов, стоящих на вакуумной системе синхротрона.

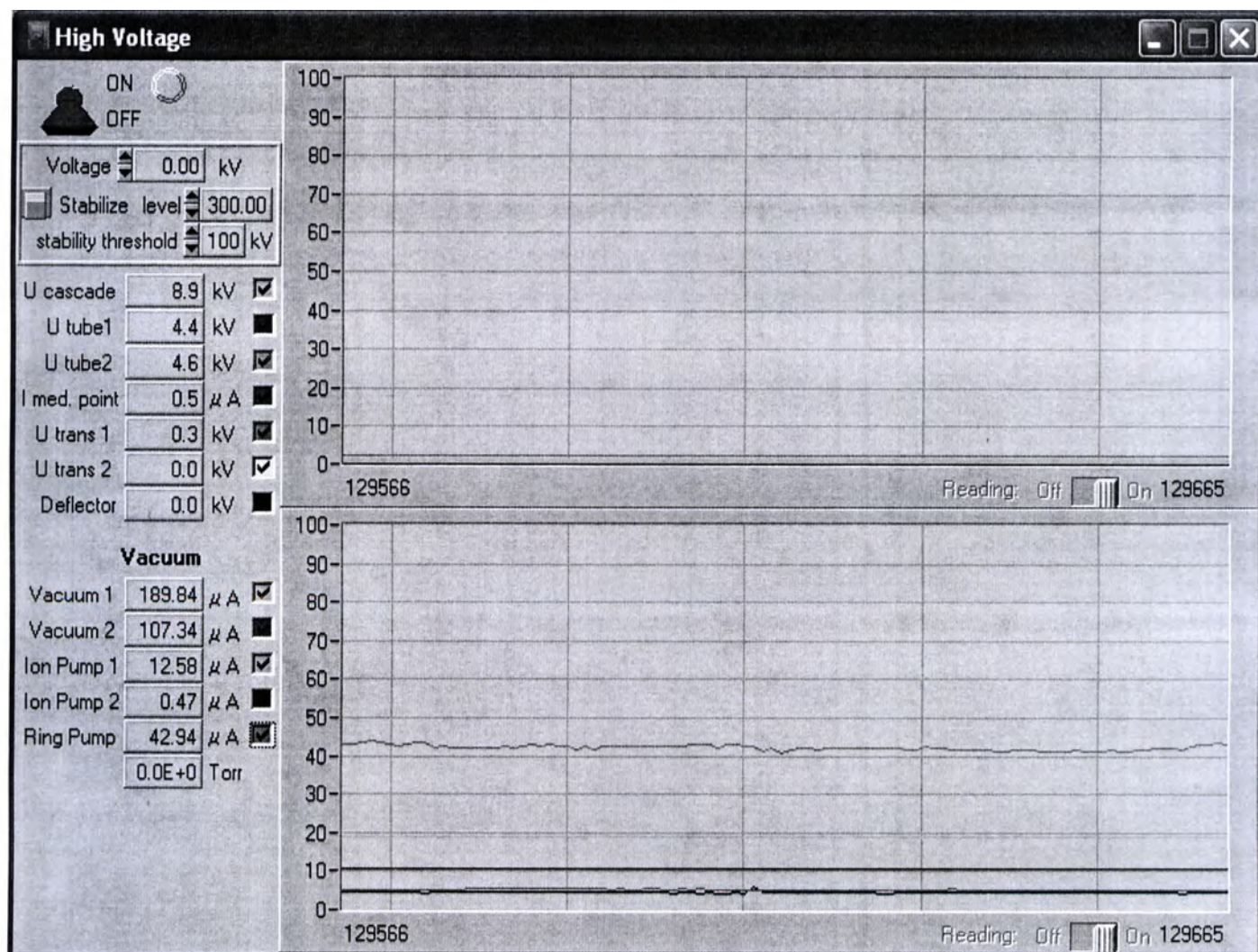


Рис. 3.5.2-2



3.6. Впускной канал

3.6.1. Общее описание

Впускной канал содержит в себе ряд магнитооптических элементов, предназначенных для транспортировки пучка от инжектора до впускного промежутка ускорителя. Кроме того, в канале установлен ряд сетчатых экранов, покрытых люминофором, для наблюдения прохождения пучка по каналу с помощью телевизионных камер. Шиберы предназначены для возможного вакуумноплотного отсечения кусков впускного канала.

3.6.2. Блок-схема впускного канала

Блок-схема впускного канала представлена на Рис. 3.6.2-1

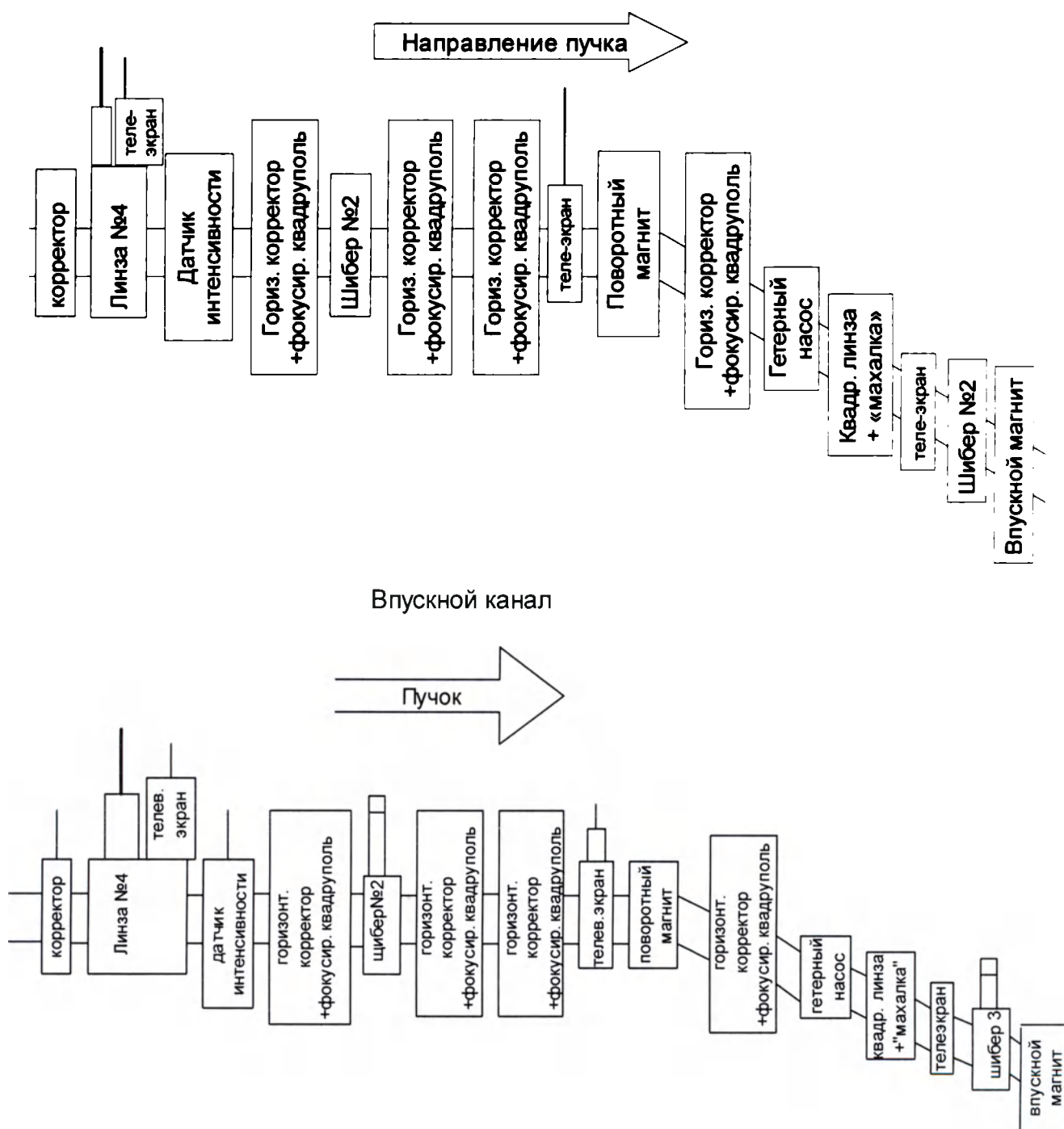


Рис. 3.6.2-1

Горизонтальные и вертикальные корректоры – для смещения пучка по соответствующей оси.

Датчик интенсивности – «пояс Роговского». Измерение тока пучка в канале.

Фокусирующие квадруполь – для фокусировки транспортируемого пучка в R и Z направлениях (горизонтальном и вертикальном).

Поворотный и впускной магниты производят поворот пучка в нужной плоскости.



3.6.3. Порядок работы

Включение

Включить стойку блоков питания.

(После включения блоков питания может потребоваться перезапустить программу управления «Main Control» для перезаписи установленных значений на квадруполях и корректорах)

Управление

Управление элементами впускного канала осуществляется через компьютер в окне «Input Channel» (см. Рис 3.6.3-1) программы «Main Control».

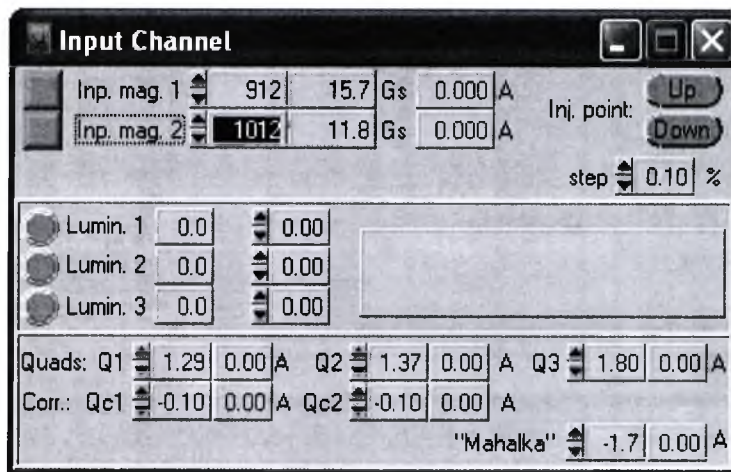


Рис. 3.6.3-1

«Inp. mag. 1» — уставки поля поворотного магнита №1

«Inp. mag. 2» — уставки поля поворотного магнита №2

«Inj. Point» — параллельная регулировка точки влета пучка с заданным шагом значений «step»

«Quads», «Corr.» — регулировка соответствующих квадруполей и корректоров вводного канала: «Q1»-«Q3» и «Qc1»-«Qc2»

«Lumin. 1» - «Lumin. 3» — ввод люминофора для визуального наблюдения положения пучка в определенном положении впускного канала.

«Mahalka» - регулировка горизонтального положения точки влета



3.7. Система впуска пучка (инфлектор)

3.7.1. Общее описание

Система предназначена для посадки первоначального пучка на равновесную орбиту.

Впуск пучка осуществляется следующим образом:

через четверть первого оборота, при пересечении равновесной орбиты, пучок радиальным ударом укладывается на орбиту. Напряжение на инфлекторе $\sim 2,4$ кВ.

3.7.2. Порядок работы

Включение

Включить клавишу на блоке питания инфлектора. Клавиша загорится.

Управление

Управление инфлектором осуществляется через компьютер в окне «**Inflector**» (см. 3.7.2-1) программы «**Main Control**».

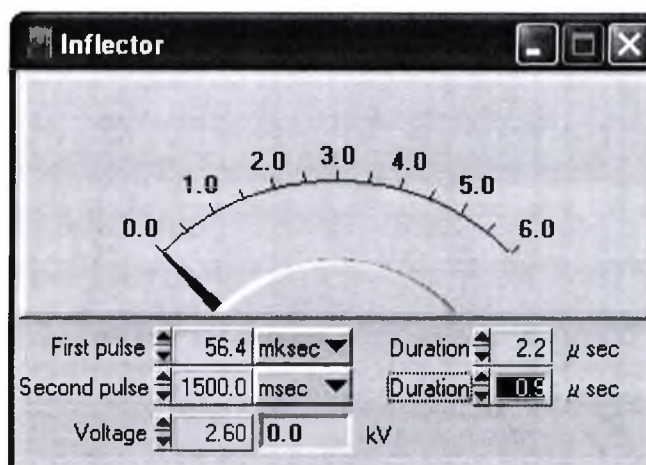


Рис. 3.7.2-1

«**First pulse**» — “первый импульс”. Установка времени импульса включения.

«**Duration**» — длительность импульса включения.

«**Second pulse**» — “второй импульс”. Установка времени измерительного импульса.

«**Duration**» — длительность измерительного импульса.

«**Voltage**» — подаваемое на инфлектрон напряжение



3.8. Система выпуска пучка (дефлектор)

3.8.1. Общее описание

Выпуск пучка:

Раскачкой бетатронных колебаний осуществляется заброс пучка, с рассеянием на внутренней мишени, за нож электростатического дефлектора с последующим 20 мм радиальным забросом в выпускной магнит. В дефлекторе – до 80 кВ на зазоре 5 мм. Выпускной и поворотный магниты запитаны последовательно с основным магнитом. В канале установлены фокусирующие линзы и корректирующие положение пучка магниты. Наблюдение пучка ведется с экранов, покрытых люминофором, с помощью телесистемы.

Магнит Ламбертсона (Рис 3.8.1-1) является частью транспортной системы выпускного канала и служит для вывода траектории выпускаемого пучка с уровня орбиты синхротрона. Поскольку магнит устанавливается в месте соединения выпускного канала и кольца синхротрона, особое внимание должно быть уделено экранировке вакуумной камеры кольца, с тем, чтобы магнитное поле не проникало внутрь камеры и не искажало орбиту пучка.

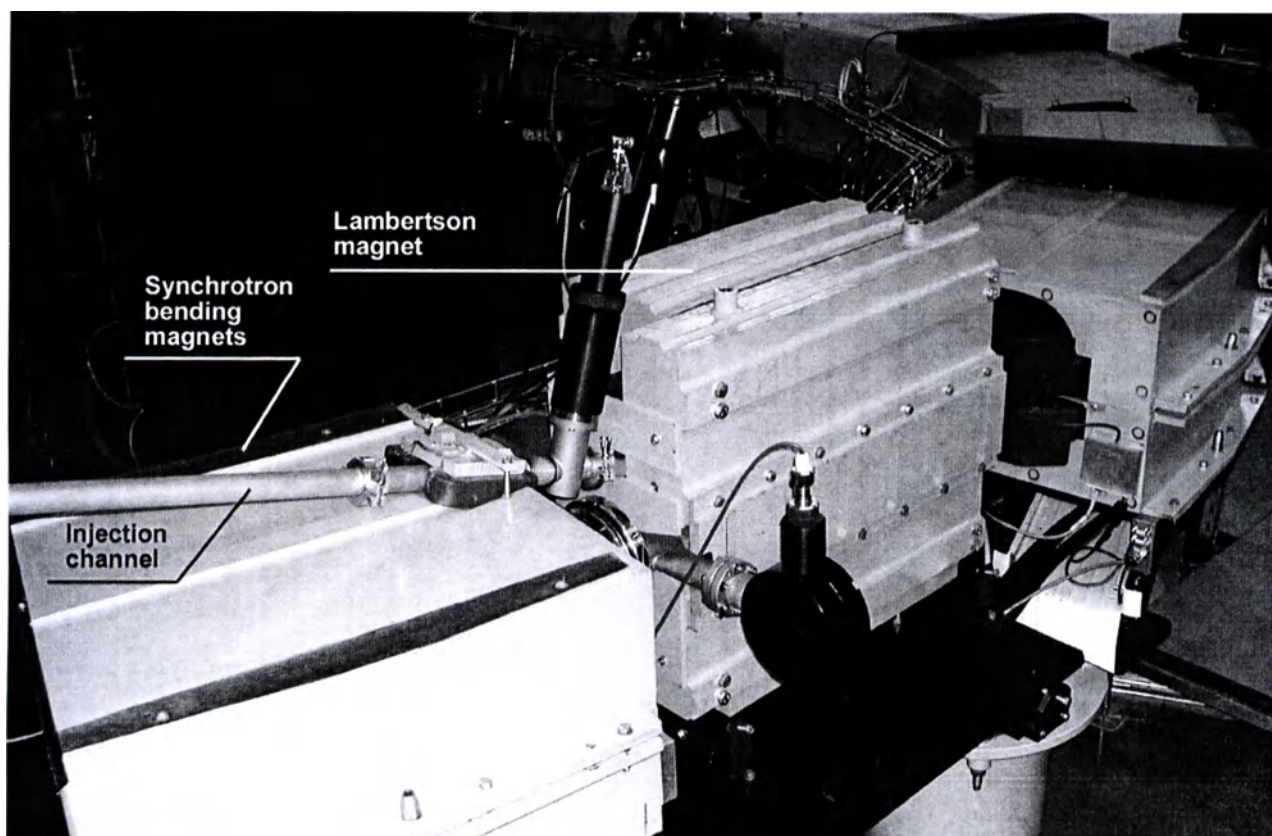


Рис. 3.8.1-1. Внешний вид магнита Ламбертсона



Квадруполи (Рис 3.8.1-2) являются частью фокусирующей системы выпускного канала и используются для установки необходимого размера пучка.

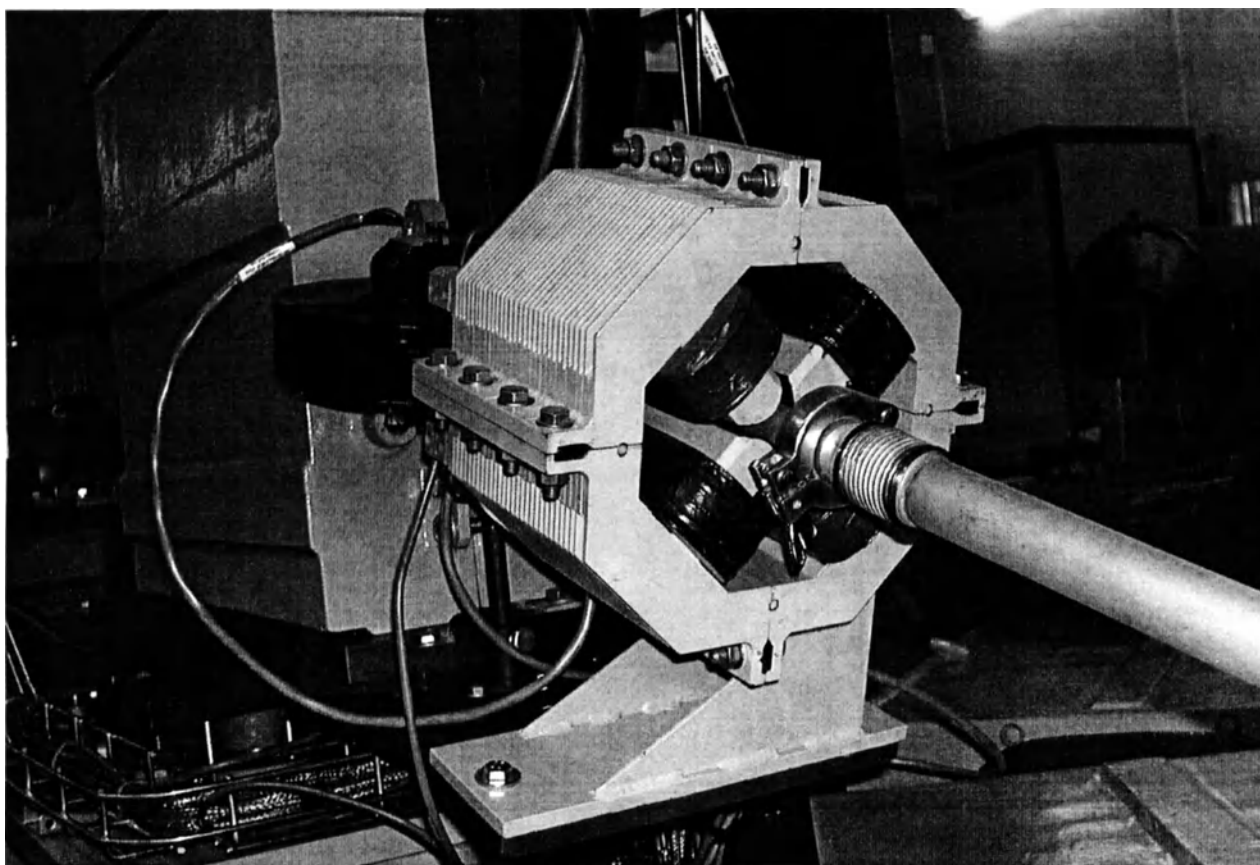


Рис. 3.8.1-2. Внешний вид квадруполей выпускного канала

3.8.2. Блок-схема выпускного канала

Блок-схема выпускного канала представлена на Рис. 3.8.2-1.

Выпускной канал

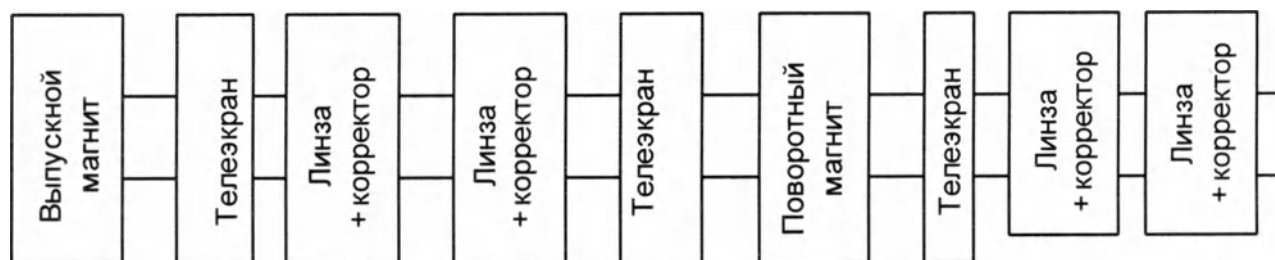


Рис. 3.8.2-1

3.8.3. Порядок работы



Включение

Включить блоки питания в стойке №3 (см. Рис. 3.8.3-1).

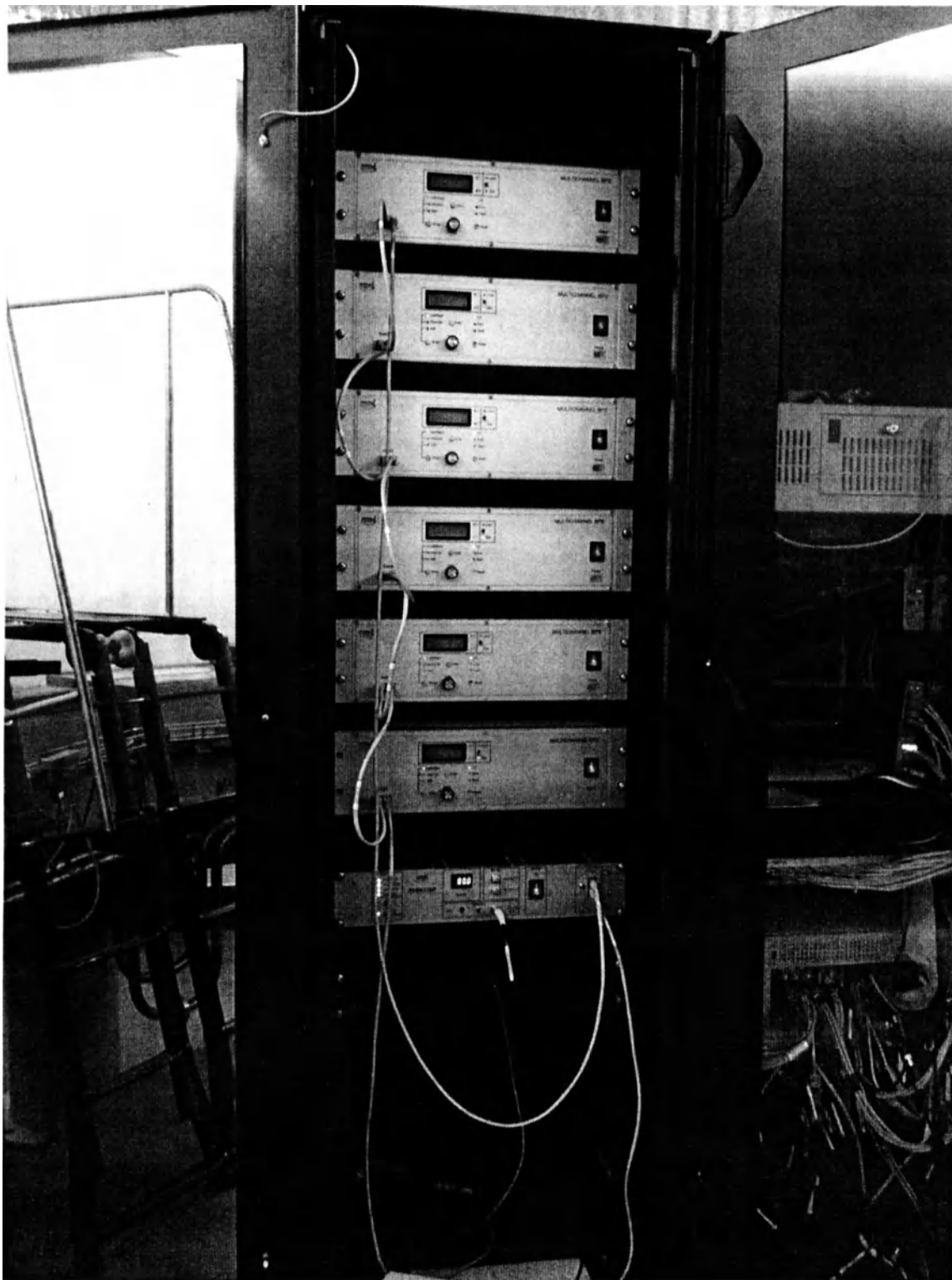


Рис. 3.8.3-1

Управление дефлектором и выпускным каналом осуществляется через компьютер (см. Рис. 3.8.3-2)



Beam Extraction Monitor

☒ **Beam Excitation**

Start ms
Length ms
Ampl. V

☒ Control intens by software
from ms

External request A
for Dose Rate a.u.

☐ Simulate BEAM ENABLE

Extr. Intens.

	dT [msec]	d Intens
1	1	63
2	50	0
3	1	-63
4	50	0
5	1	179
6	50	0
7	1	-179
8	50	0
9	1	63
10	50	0

☐ Faraday Cup

Beam Extraction ☐ On ☐ Off

Output magnet correction:

1-st A
2-nd A

Output point:

step %

Channel Quads:

Q1 A A
Q2 A A
Q3 A A

Output channel

Start at ms
Raising ms
Plateau ms

Hor. Corr. 1 A
Hor. Corr. 2 A

Deflector

Max kV
Init. kV

Start at msec

Off ☐ On Deflector power I =

Extraction Targets

☐ Target 1 (50 mkm) Init level
☐ Target 2 (100 mkm) Init level
☐ Target 3 (200 mkm) Init level

dT [msec]	dU [V]
350	4.000
700	0.000
0	0.000
0	0.160

dT [msec]	dU [V]
350	4.000
700	0.000
0	0.000
0	0.000

dT [msec]	dU [V]
350	3.500
350	3.500
700	0.000
700	0.000

Scanning

Start ms
Raising ms
Plateau ms

Vert. Init. A Max A Incr = (A/cm)
Horiz. Init. A Max A (A/cm)

Level
Size cm
Speed cm/sec

Write:
Raster:

Fill area X from to cm
Y from to cm step cm

☐ Execute energy sequence

From cm step cm

☒ Repeat

	Ec [MeV]	L [cm]
1	70.0	4.0
2	120.0	10.2
3	100.0	7.5
4	135.0	12.5
5	150.0	14.9
6	100.0	7.5



Раскачка бетатронных колебаний

Начало
Длительность
Частота

Amplitude forming

Амплитуда раскачки

Включение сигнала смещения

Включение играфик работы дефлектора

Развертка выведенного пучка

Рисование пучком

Включение магнитов вывода

Квадруполь фокусировки

Beam Extraction Monitor

Beam Excitation Init point: 250.0 418.0

Start: 677.9 ms
Dur.: 800.0 ms
Freq.: 1.556 MHz
Sweep +/-: 0.030 MHz
step: 0.00300 MHz
Rate: 1
Calc. Freq.
Amplitude forming: Static - Ampl: 10.0 V
Table: Show table
FeedBack: Coef: 0.0100 dT: 3.00 msec

	dT [msec]	d Intens
1	100	0
2	1	80
3	50	0
4	1	-80
5	300	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0

Output channel

Output mag. 1: -0.5 A Start at: 577.9 msec
Output mag. 2: -1.0 A Raising: 100.0 msec
Plateau: 700.0 msec

Output point: Up Down step: 10.0 %

Channel Quads: Q1: 0.7 A Q2: 1.8 A Q3: -1.5 A
Check: 0.0 0.0 0.0 VideoCam Start: 577.9 ms

Control extracting beam energy

	dT [msec]	dEc [MeV]	T [msec]	Ec [MeV]
1	10.0	0.3	687.9	100.3
2	10.0	0.6	697.9	100.9
3	80.0	7.2	777.9	108.1
4	0.0	0.0	777.9	108.1
5	0.0	0.0	777.9	108.1
6	0.0	0.0	777.9	108.1
7	0.0	0.0	777.9	108.1
8	0.0	0.0	777.9	108.1
9	0.0	0.0	777.9	108.1
10	0.0	0.0	777.9	108.1

Deflector

Max1: 34.0 kV
Max2: 24.0 kV
Init: 2.0 kV

Start at: 400.0 218.0 50.0 500.0 msec

Scanning

Start: 677.9 msec Vert. Init: 4.0 A Max: -1.0 A
Raising: 400.0 msec Horiz. Init: 11.6 A Max: 100.0 A
Plateau: 50.0 msec

Write: ФИАН 1 time 1.5 cm/unit dT: 100.0 ms

Fill area: Hor. from: 0.0 to 0.0 cm Horiz. Coef: 3.7 A/cm
Ver. from: 0.0 to 0.0 cm Vert. Coef: 1.7 A/cm
Excluding: Max from: 0.0 to 0.0 cm Ver. from: 0.0 to 0.0 cm Beam spot: 2.0 cm

Рис. 3.8.3-2



3.8.4. Калибровка люминофоров выпускного канала

Люминофоры калибруются отдельно для каждой энергии из набора:

30 50 70 100 120 150 180 200 220 250 280 300 330 МэВ.

Для их калибровки необходимо:

1. Установить выбранную энергию. Получить ускоренный пучок.
2. Переключателем “Faradey Cup Up/Down”, расположенным в окне “**Beam Extraction Monitor**”, перевести Цилиндр Фарадея в рабочее положение (Down).
3. Открыть окно “Therapy” (Рис.3.8.4-1).

Убедиться, что правильно заполнены необходимые для процедуры калибровки поля:

“Monitoring Camera 1” – серийный номер 1 видеокамеры;

“Monitoring Camera 2” – серийный номер 2 видеокамеры;

“Scale” – масштабирующие коэффициенты соответственно для каждой камеры (обычное значение 0.134 mm/pix);

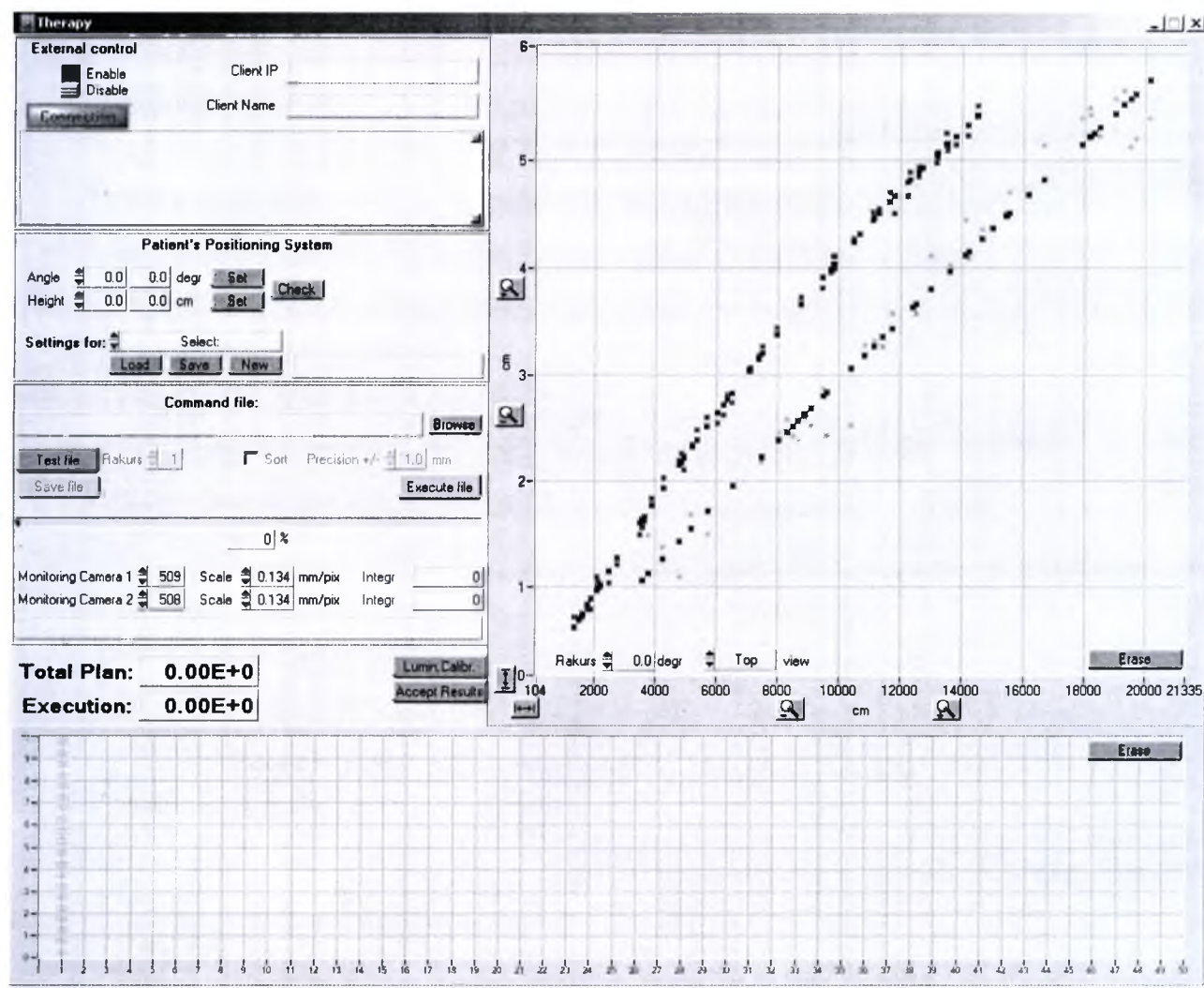


Рис.3.8.4-1



4. Запустить процедуру кнопкой “Lumin.Calibr”.
5. Для визуального контроля на видеоконсоли можно открыть окна с соответствующими камерами. При этом на люминофоре должен быть виден выпущенный пучок. Во время исполнения процедуры калибровки нельзя менять параметры этих камер (Gain, Exposition и т.д.)!
6. По мере исполнения процедуры интенсивность выпущенного пучка будет постепенно увеличиваться. На графике в окне “Therapy” будут появляться точки, соответствующие измеренной интенсивности пучка. По вертикали – количество протонов по цилиндру Фарадея, по горизонтали – интеграл яркости каждого люминофора.
7. При необходимости процедуру можно прервать, отжав кнопку “Lumin.Calibr”.
8. При завершении процедуры калибровки кнопка “Lumin.Calibr” отождется автоматически.
9. В обоих случаях по окончании процедуры калибровки программа попытается сделать интерполяцию полученных точек полиномом второго порядка. При этом точки, удовлетворяющие полученному полиному, сменяют цвет (синий – на голубой, красный – на фиолетовый). Сам полином будет изображен черным цветом. Необходимо визуально убедиться, что нет явных сбоев.
10. Нажать кнопку “Accept Results”. При этом результаты калибровки будут сохранены в специальном файле и приняты к исполнению.
11. Сменить энергию пучка.
12. Повторить процедуру калибровки, начиная с пункта №4.

3.8.5. Монтаж и демонтаж

ВНИМАНИЕ:

Элементы выпускного канала запитаны от сильноточных источников с опасным напряжением до 500 В. Работы производить при полном отключении источников питания с вывешиванием плакатов «НЕ ВКЛЮЧАТЬ РАБОТАЮТ ЛЮДИ»

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: Сильные магнитные поля

Сильные магнитные поля могут отрицательно воздействовать на электрокардиостимуляторы. Отрицательное воздействие на магнитные носители: кредитные карты, дискеты и пр.



3.9. Система сканирования пучка по объекту

3.9.1. Общее описание

Система предназначена для перемещения выведенного пучка в вертикальной и горизонтальной плоскостях для облучения мишени.

3.9.2. Блок-схема системы сканирования

Блок-схема системы сканирования представлена на Рис. 3.9.2-1

Система сканирования пучка

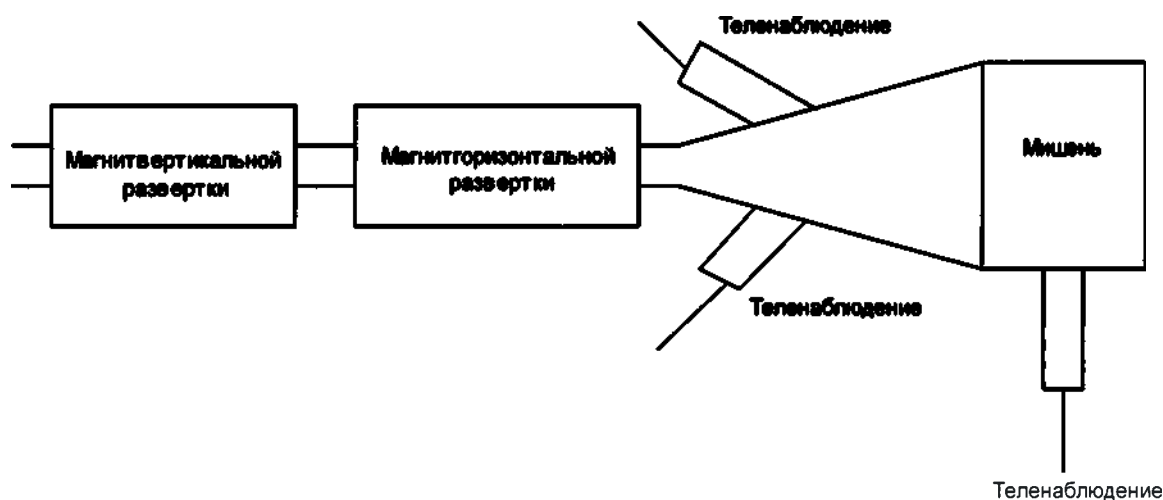


Рис. 3.9.2-1

3.9.3. Управление

Управление системой компьютерное. См. Рис. 3.8.3-1

3.9.4. Процедура поверки системы сканирования

1. Установить штангу с люминофорной пластиной на нижний диск «Стула».
2. «Стул» перевести в режим дистанционного управления.
3. Выключить в зале основной свет, оставив дежурное освещение.
4. Получить ускоренный пучок. (Энергия не важна).
5. Через меню “Options -> Special Params” вызвать окно специальных параметров (Рис. 3.9.4-1), и выбрать вкладку “Calibration”.

Убедиться что правильно заполнены необходимые для процедуры калибровки поля:

“Camera” – серийный номер видеокамеры;

“Hor.Scale”, “Ver.Scale” – масштабирующие коэффициенты;

“Pat.Pos.Syst.” – высота и угол «Стула» при калибровке.



Special Parameters

Main Field Horiz. Corr. High Voltage RF system BPM Beam Extraction Extr. Energy Extr. Pmts Calibration

Extr. Intens. Rate

	E [MeV]	Rate [npt/me]
1	50	1.20E+4
2	70	1.90E+4
3	100	2.40E+4
4	120	2.50E+4
5	150	2.00E+4
6	180	1.80E+4
7	200	1.90E+4
8	220	1.40E+4
9	250	1.20E+4

Save Calibr. Tables

Scan magnets calibration $I(x) = \text{Coef} \cdot x + I_0$

Horizontal

	E [MeV]	Horn Screen		Patient	
		Coef [A/cm]	I ₀ [A]	Coef [A/cm]	I ₀ [A]
1	30	2.24	-1.7	1.55	-1.3
2	50	2.67	-2.5	1.99	-3.5
3	70	3.09	-3.3	2.37	-5.8
4	100	3.68	-4.6	2.86	-8.0
5	120	4.05	-5.4	3.13	-6.2
6	150	4.58	-6.6	3.54	-6.9
7	180	5.06	-7.8	3.92	-8.7
8	200	5.36	-8.7	4.14	-8.0
9	220	5.65	-9.5	4.36	-11.3

Vertical

	E [MeV]	Horn Screen		Patient	
		Coef [A/cm]	I ₀ [A]	Coef [A/cm]	I ₀ [A]
1	30	1.44	5.6	1.09	3.4
2	50	1.69	6.0	1.42	2.4
3	70	1.92	6.3	1.71	3.1
4	100	2.26	6.5	2.08	4.3
5	120	2.48	6.6	2.27	4.5
6	150	2.79	6.7	2.54	4.5
7	180	3.08	6.9	2.81	4.2
8	200	3.27	7.1	2.97	4.0
9	220	3.45	7.3	3.12	4.1

Patient position offset Horiz. 0.0 cm Vert. 0.0 cm

	E [MeV]	Hor. -7.5cm	Hor. 0cm	Hor. +7.5cm	Ver. -3cm	Ver. 0cm	Ver. +3cm
1	50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	220	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

MaxVal 0

Origin Beam

X= 0.0 mm Y= 0.0 mm X= 0.0 mm Y= 0.0 mm

Camera 196

Hor. Scale 0.732 mm/pix

Ver. Scale 0.702 mm/pix

Pat. Pos. Syst. 2.2 cm 93.0 degr

Start procedure

Accept results

Рис. 3.9.4-1

6. Запустить процедуру кнопкой “Start Procedure”. При этом “Стул” автоматически встанет в нужное положение.

7. Для визуального контроля на видеоконсоли можно открыть окно “Scintillator” и включить изображение с камеры №10. При этом на люминофоре должен быть виден выпущенный на разных энергиях пучок попеременно в левом нижнем и правом верхнем углах. Во время исполнения процедуры калибровки нельзя менять параметры этой камеры (Gain, Exposition и т.д.)!

8. По мере исполнения процедуры в окне “Calibration” будет заполняться таблица с результатами измерения положения пучка на люминофоре при различных энергиях. Первая колонка – измеренное горизонтальное положение пучка при задании координаты – 7.5см, вторая – 0см, третья +7.5см. Следующие колонки – для вертикального положения –3см, 0см, +3см.

9. При необходимости процедуру можно прервать, отжав кнопку “Start Procedure”.

10. При завершении процедуры калибровки кнопка “Start Procedure” отожметса автоматически.

11. Просмотреть таблицу с результатами измерений и убедиться, что нет явных сбоев.



12. Нажать кнопку “Accept Results”. При этом результаты калибровки будут сохранены в специальном файле истории и приняты к исполнению.

Процедура поверки завершена.

3.10. Система охлаждения

3.10.1. Общее описание

Система водяного охлаждения предназначена для охлаждения магнита ускорителя и поддержания его температуры в заданных пределах. Кроме того, охлаждается ряд магнитов и насосов каналов транспортировки.

Все тепловыделяющие системы ускорителя охлаждаются обессоленной водой.

Система включает в себя:

1. Емкость с водой (около 2 м³),
2. Насос, создающий давление около 5 атм.
3. Охладитель (чиллер), поддерживающий температуру воды в системе в заданных пределах.
4. Трубопроводы.

Отдельные системы ускорителя отсекаются от общей системы с помощью вентиля.

3.10.2. Порядок работы

Включение системы охлаждения:

1. Включить автомат «Питание чиллера»
2. Включить водяной насос.
3. Включить чиллер. На чиллере горит желтая лампа – «**включено**».
4. Нажать кнопку – «**включение**».

Горит табло – указатель температуры воды. Автоматически поддерживается $t \sim 20^{\circ}\text{C}$

!!! При перегреве воды выше 35°C включается звуковая сигнализация. В этом случае необходимо в срочном порядке восстановить нормальную работу системы охлаждения или отключить все блоки, требующие непрерывного охлаждения.

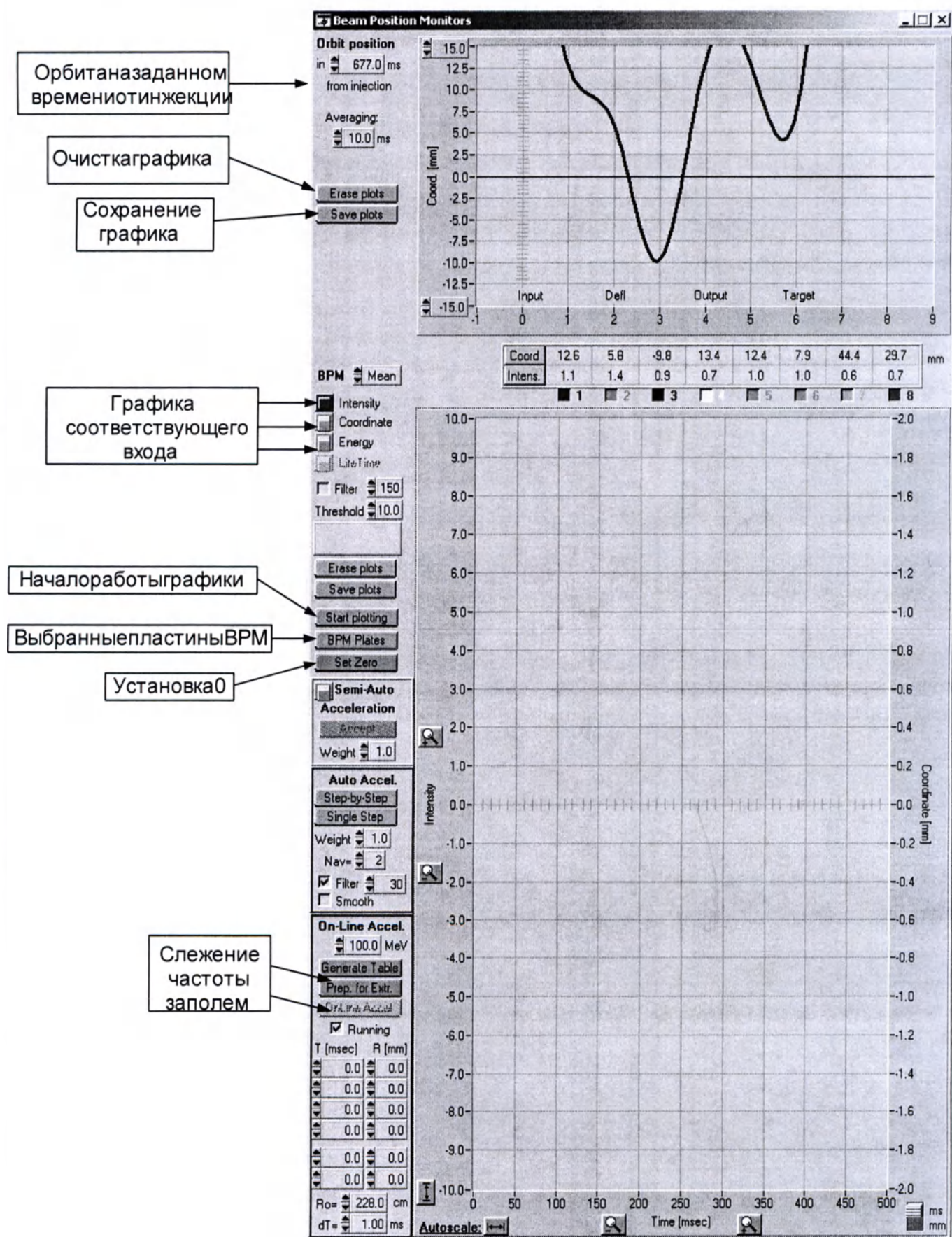


Рис. 3.11-2. Окно "Beam position monitors"



Окно **“Orbit position”** – рисует орбиту пучка на заданном времени от инъекции.

Кнопка **“Erase plots”** – очистка графика.

Кнопка **“Save plots”** – запоминание (сохранение) графика.

Кнопки: **“Intensity”**, **“Coordinate”**, **“Energy”** включают графику соответствующего входа.

Кнопки **“Erase plots”** и **“Save plots”** – очистка и запоминание графики соответственно.

Кнопка **“Start Plotting”** – начало работы графики.

Кнопка **“BPM Plates”** – смотреть отдельно выбранные пластины BPM.

Кнопка **“Set Zero”** – установка 0

3.12. Ежедневная процедура обслуживания ускорителя

Перед началом работы на ускорителе должны быть выполнены ежедневные проверки. Порядок выполнения не важен, но проверка каждого параметра должна быть сделана до включения синхротрона.

3.12.1. Водоснабжение синхротрона

1. Водоснабжение синхротрона должно быть 70 литров в минуту +/- 10 литров в минуту при давлении на входе 5,5 бар. Температура должна быть $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ (См. рис 3.12.1-1, 3.12.1-2, 3.12.1-3).

Примечание: Осмотрите область вокруг синхротрона на предмет протечек воды.

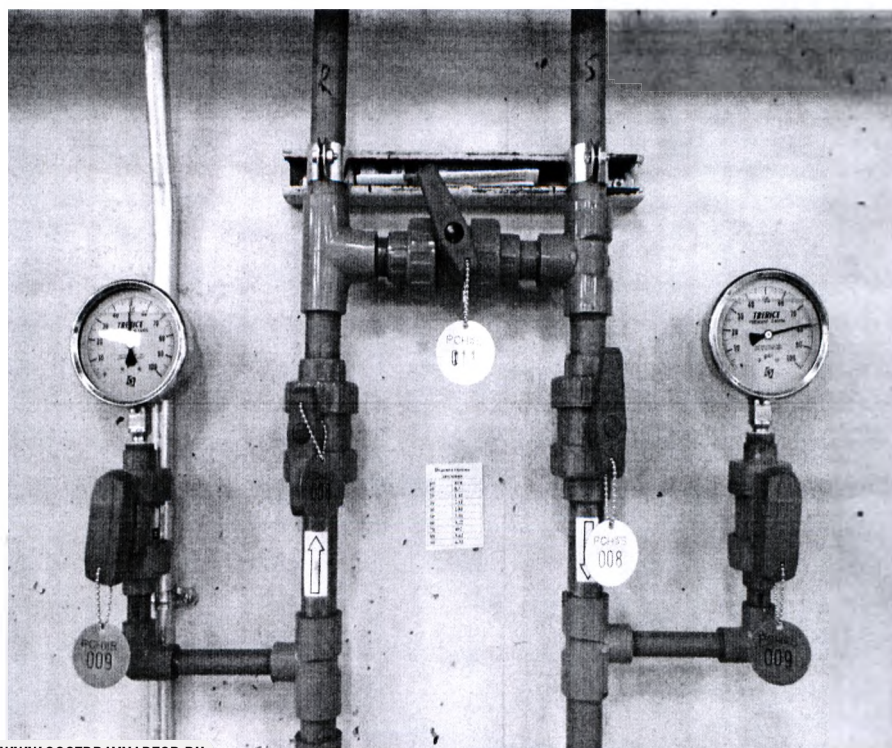




Рис. 3.12.1-1

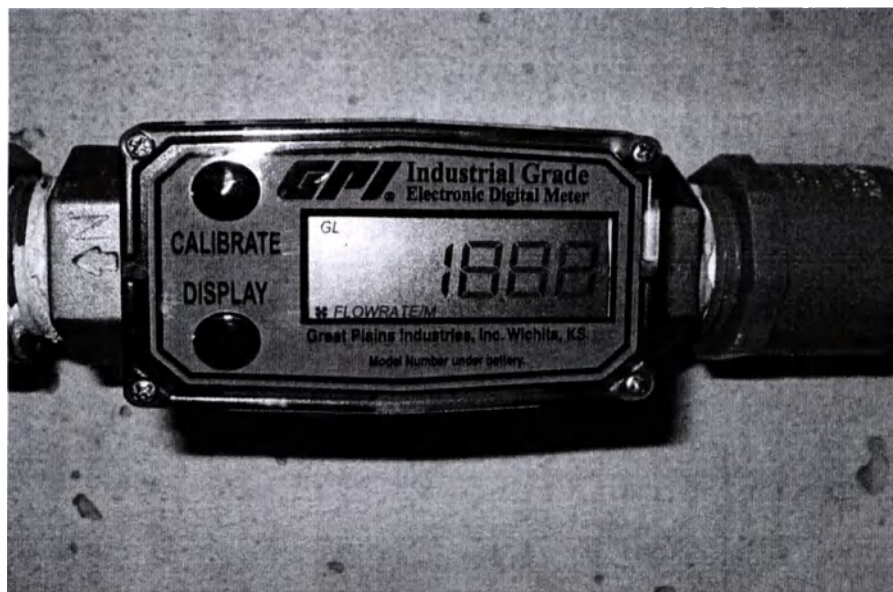


Рис. 3.12.1-2

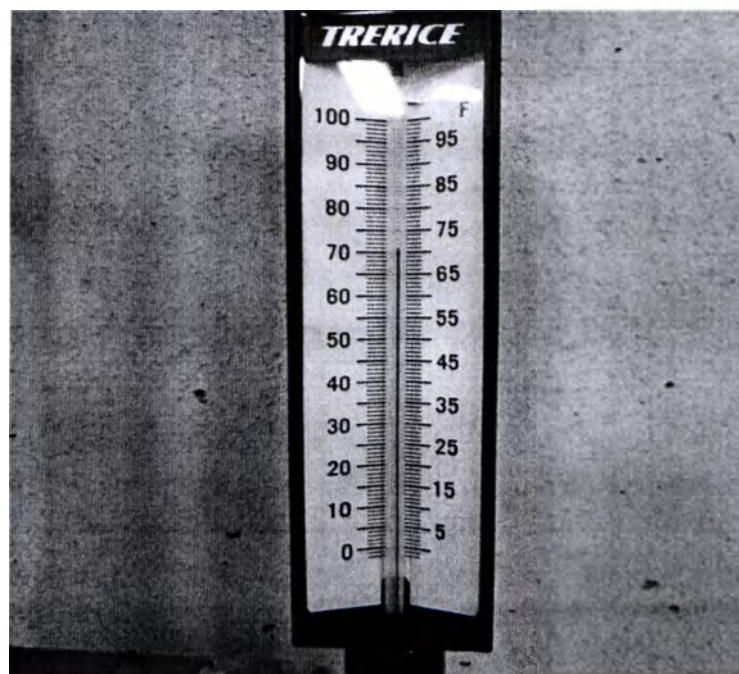


Рис. 3.12.1-3

2. Водоснабжение источника питания основного поля должно быть 20 литров в минуту ± 4 литра в минуту при давлении на вход 5,25 бар. Температура должна быть $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. (См. рис 3.12.1-4, 3.12.1-5, 3.12.1-6)

Примечание: Осмотрите область вокруг источника питания основного поля на предмет протечек воды.

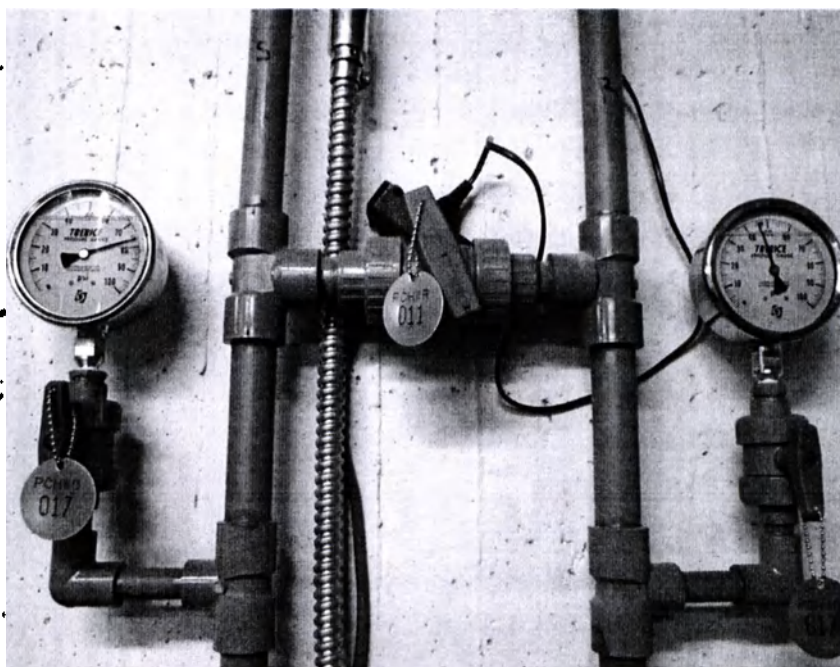


Рис. 3.12.1-4

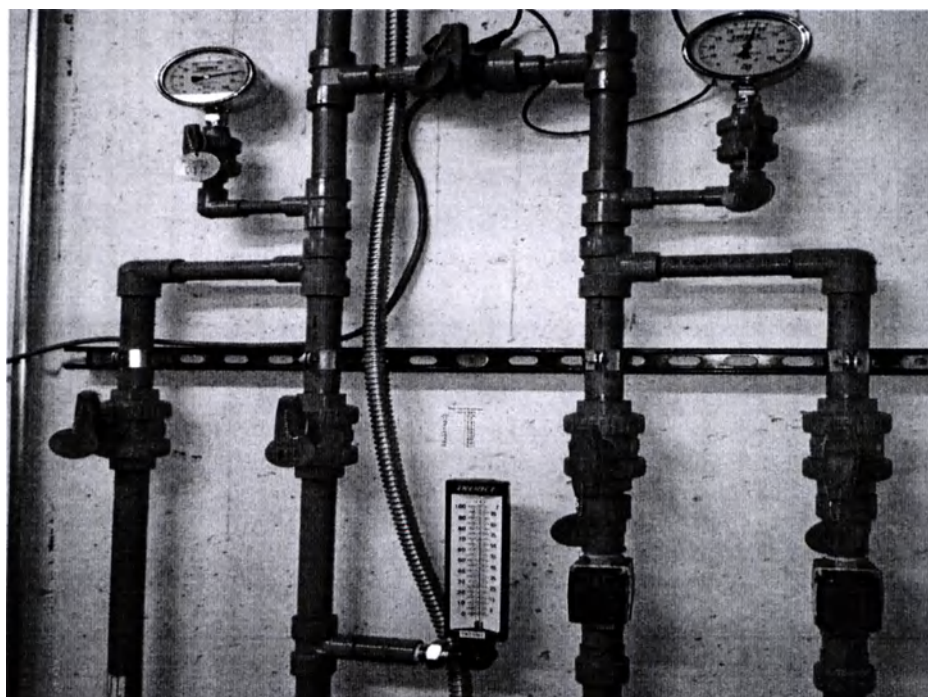


Рис. 3.12.1-5

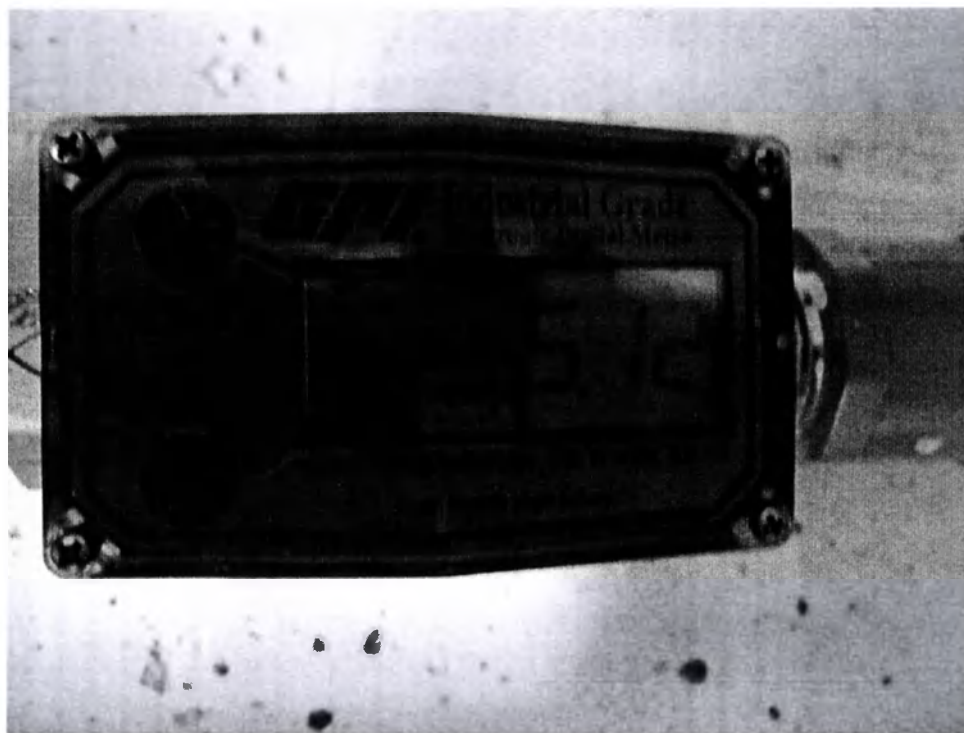


Рис. 3.12.1-6

В различных исполнениях синхротрона системы водоснабжения могут отличаться.

3.12.2. Состояние вакуума

1. При ежедневном запуске показания вакуумных контроллеров в стойке № 4 должны находиться в пределах шкалы 10^{-7} торр. Сравните с предыдущими показаниями уровней вакуума в журнале. Эти записи нужны для наблюдения тенденции вакуума. (Рисунок 3.12.2-1 показывает место считывания вакуума).

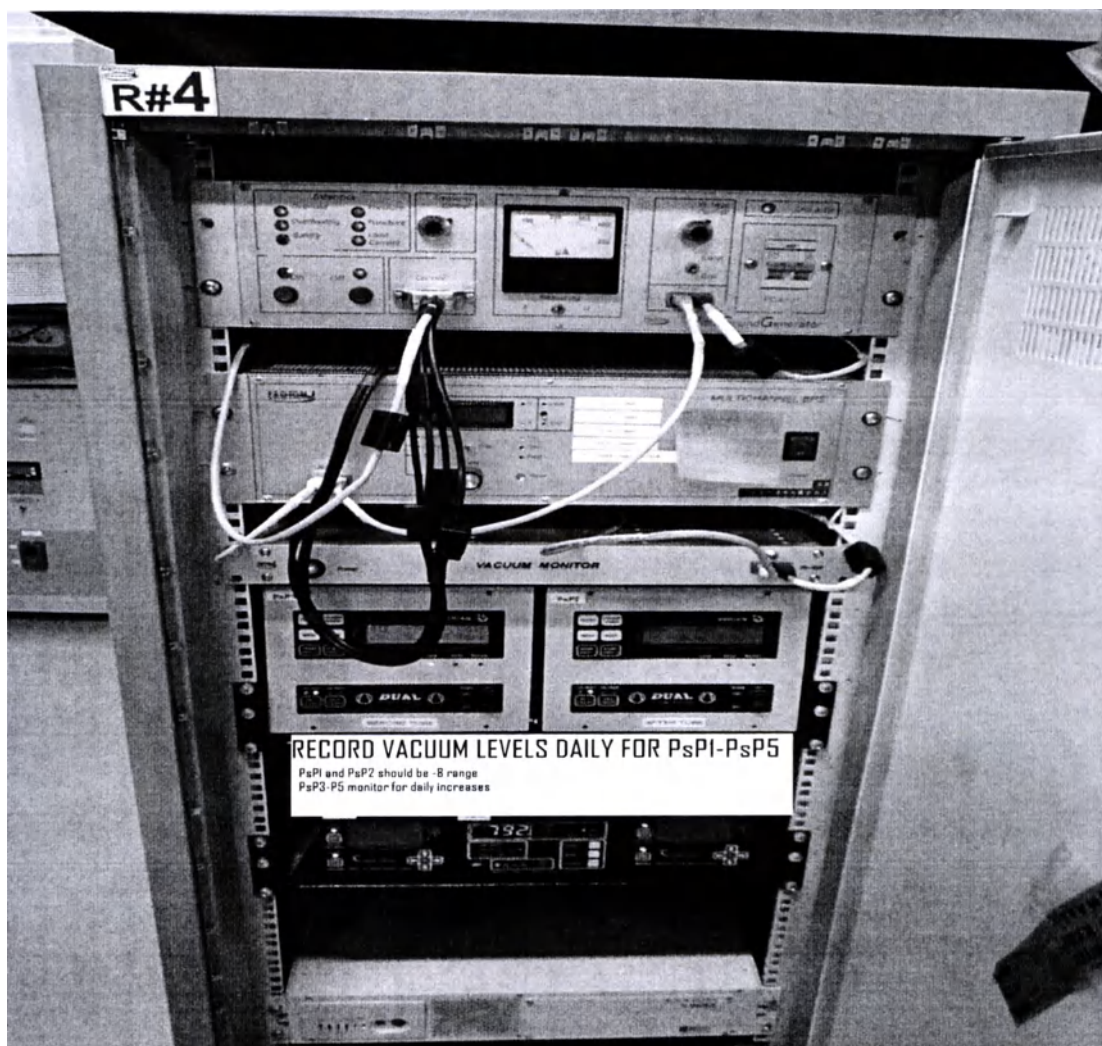


Рис. 3.12.2-1

2. Турбо насос должен показывать 35000 об/мин на дисплее Edwards control unit SCU-800. Этот вакуумный контроллер находится в стойке № 6 (см. Рис. 3.12.2-2). Контроллер InstruTech, установленный также в стойку № 6, должен показывать давление в системе откачки турбонасоса форвакуумным насосом ~ 2,8 миллиторр (см. Рис. 3.12.2-3).

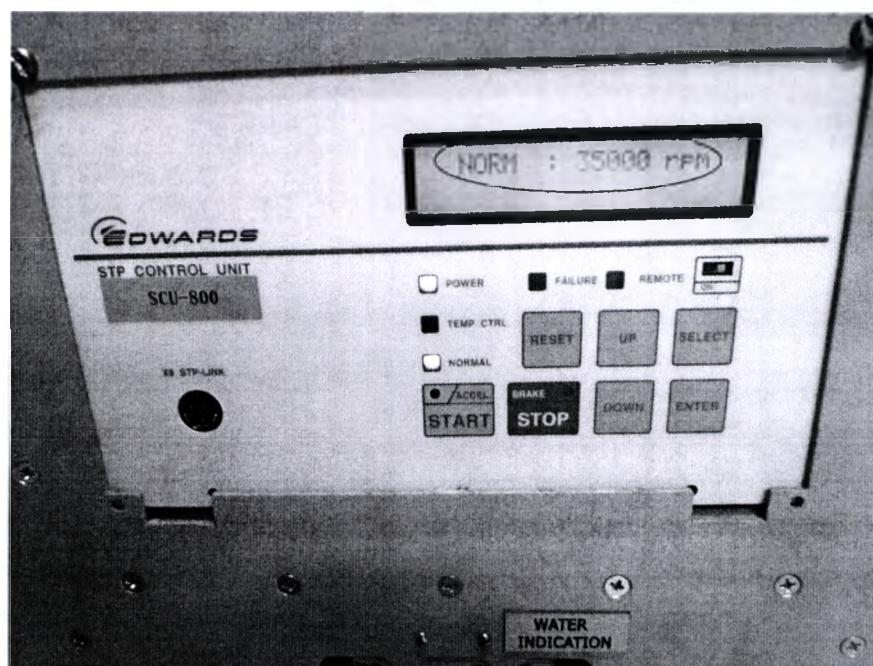


Рис. 3.12.2-2

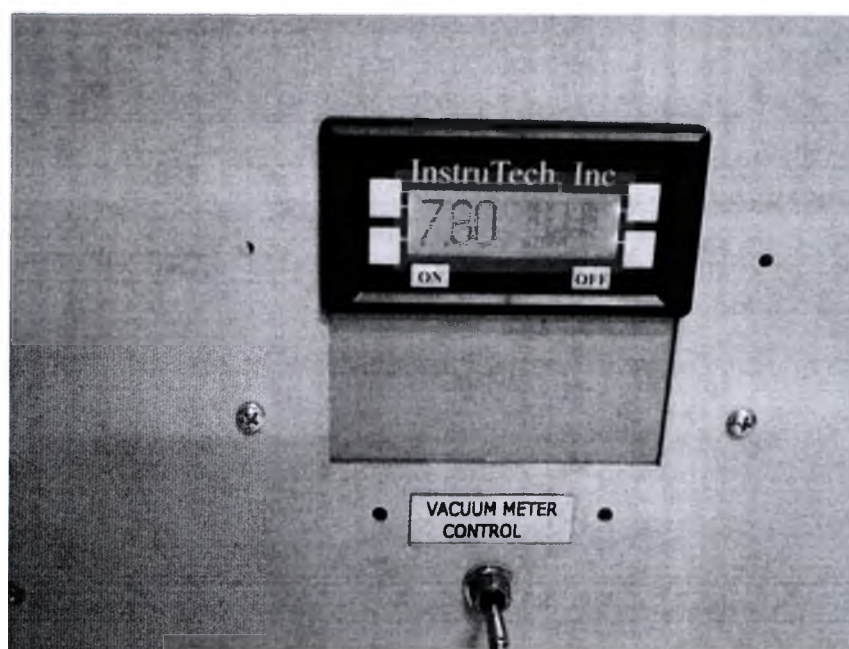


Рис. 3.12.2-3

3.12.3. Давление SF₆ (элегаз)

1. Давление SF₆ в тандеме должно поддерживаться не ниже 4 атмосферы
(См. на Рис. 3.12.3-1 показание манометра)

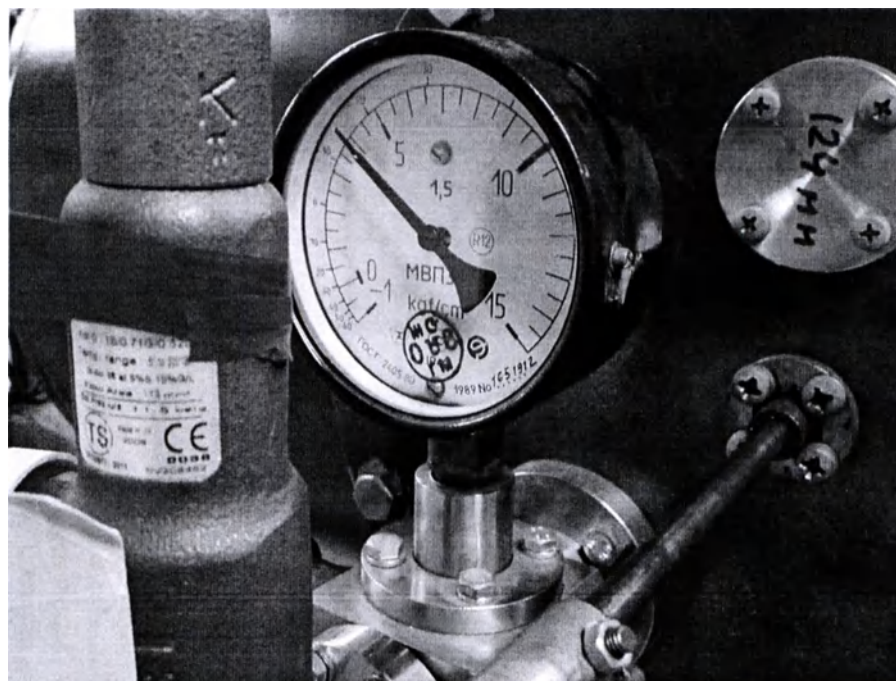


Рис. 3.12.3-1

2. Давление газа SF_6 в объеме высоковольтного трансформатора, находящегося в стойке № 5, должно поддерживаться на уровне 0,5 бар (7 PSI) (см. показание манометра на Рис. 3.12.3-2).

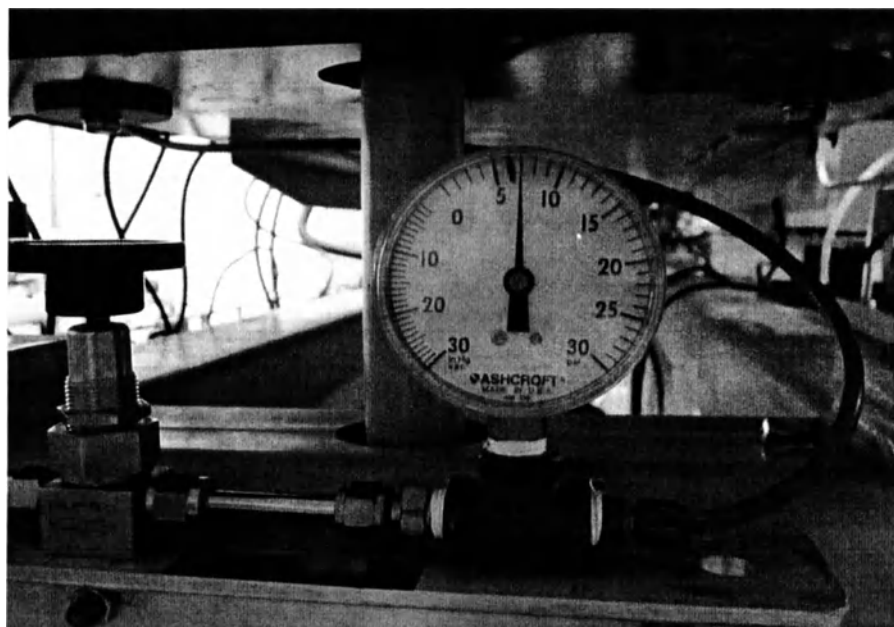


Рис. 3.12.3-2

3. Давление газа SF_6 в объеме инфлектора/дефлектора должно поддерживаться на уровне 5 атмосфер (см. показание манометра на Рис. 3.12.3-3).

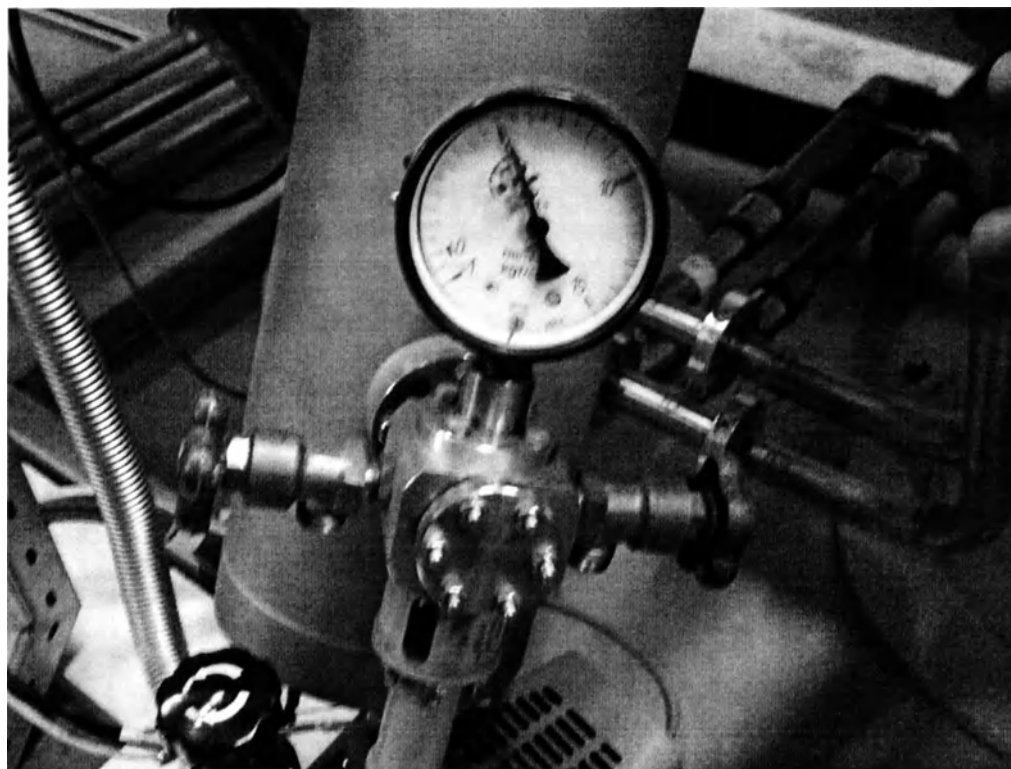


Рис. 3.12.3-3

3.12.4. Последовательность включения источников электропитания

1. Подайте напряжение питания на источники тока основного поля включением сетевого автомата (положение автомата см. Рис. 3.12.4-1).
2. Для перезаписи адресов источников питания необходимо обновить окно системы программного управления путем закрытия и последующего открытия программы на мониторе компьютера.



Рис. 3.12.4-1

Примечание: Если выключатель питания не будет включаться, нужно проверить шунтовой автоматический выключатель. Его кнопка должна быть отжата. Задние двери шкафов источников питания должны быть закрыты (положение автомата см. Рис. 3.12.4-2).

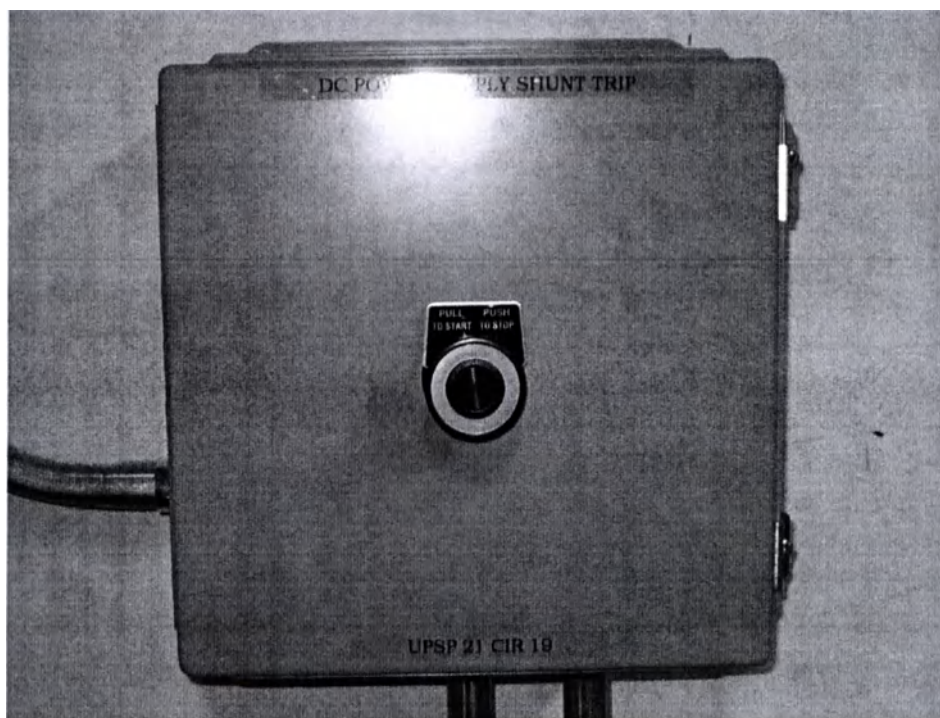


Рис. 3.12.4-2



3. Чтобы включить источники питания основного поля, нажмите зеленую кнопку каждого из источников питания (расположение кнопки см. Рис. 3.12.4-3).

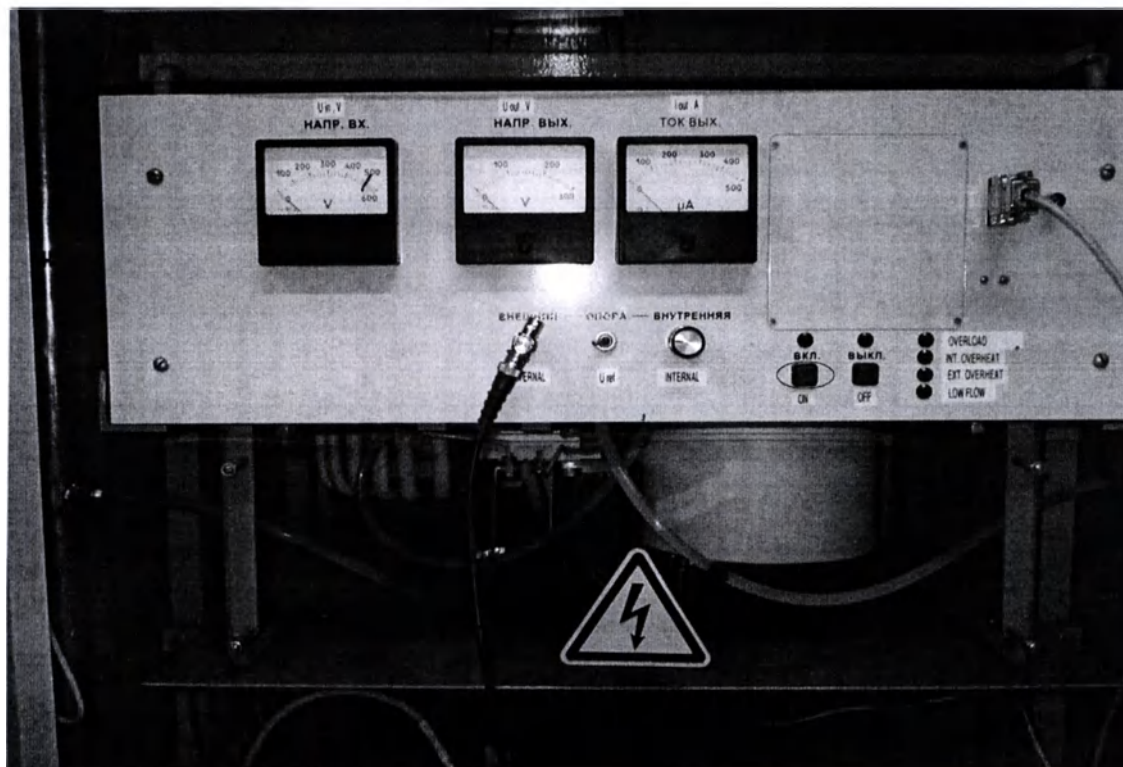


Рис. 3.12.4-3

4. Активировать "Динамический режим" и "Стабилизация поля" в главном окне программы управления (см. Рис. 3.12.4-4).

Примечание: Это обеспечивает динамический режим основного поля.

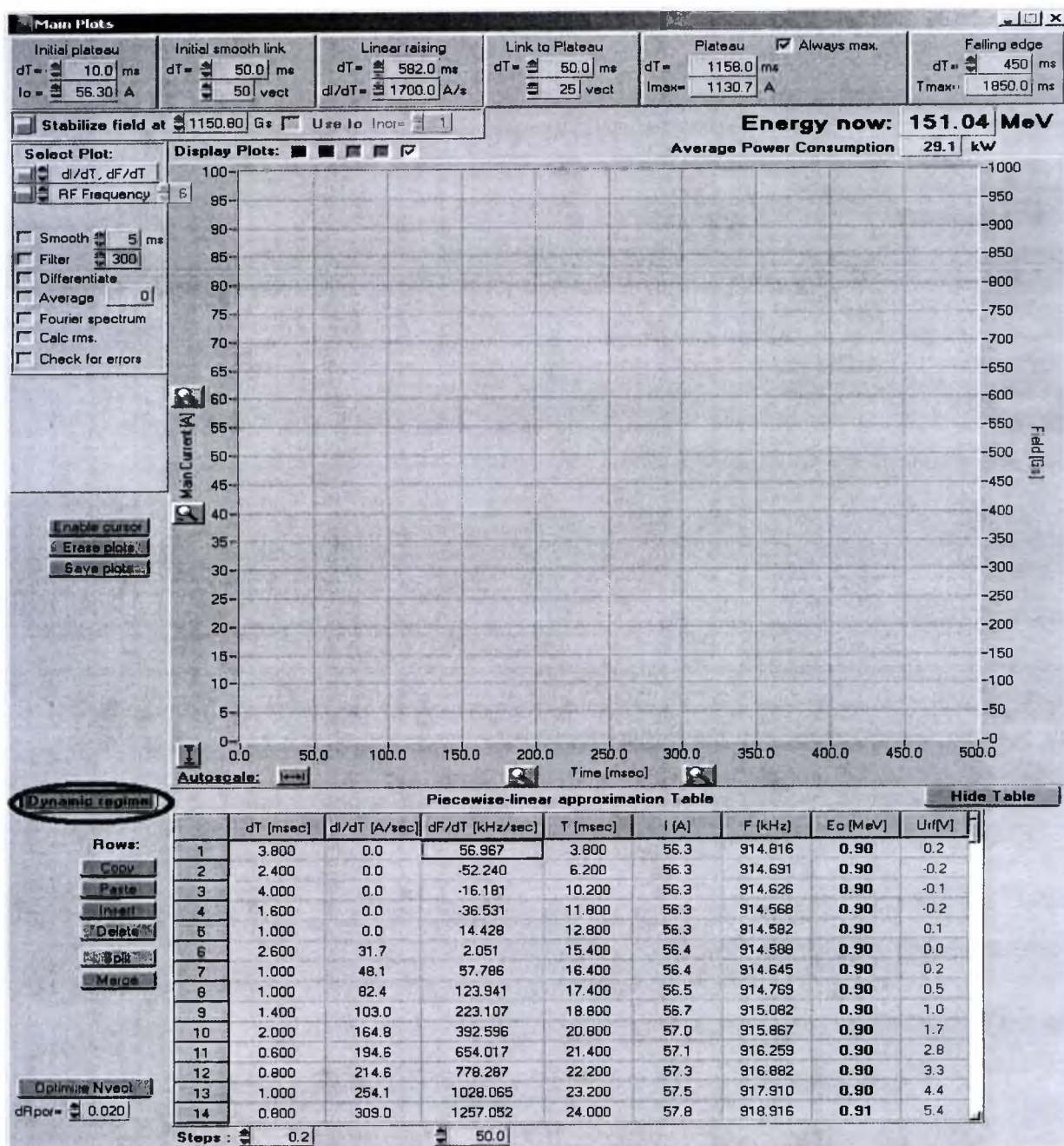


Рис. 3.12.4-4

5. Убедитесь, что измеренное значение поля в Гауссах в окне корректоров поля (Рис. 3.12.4-5), соответствует значению поля в окне стабилизации.

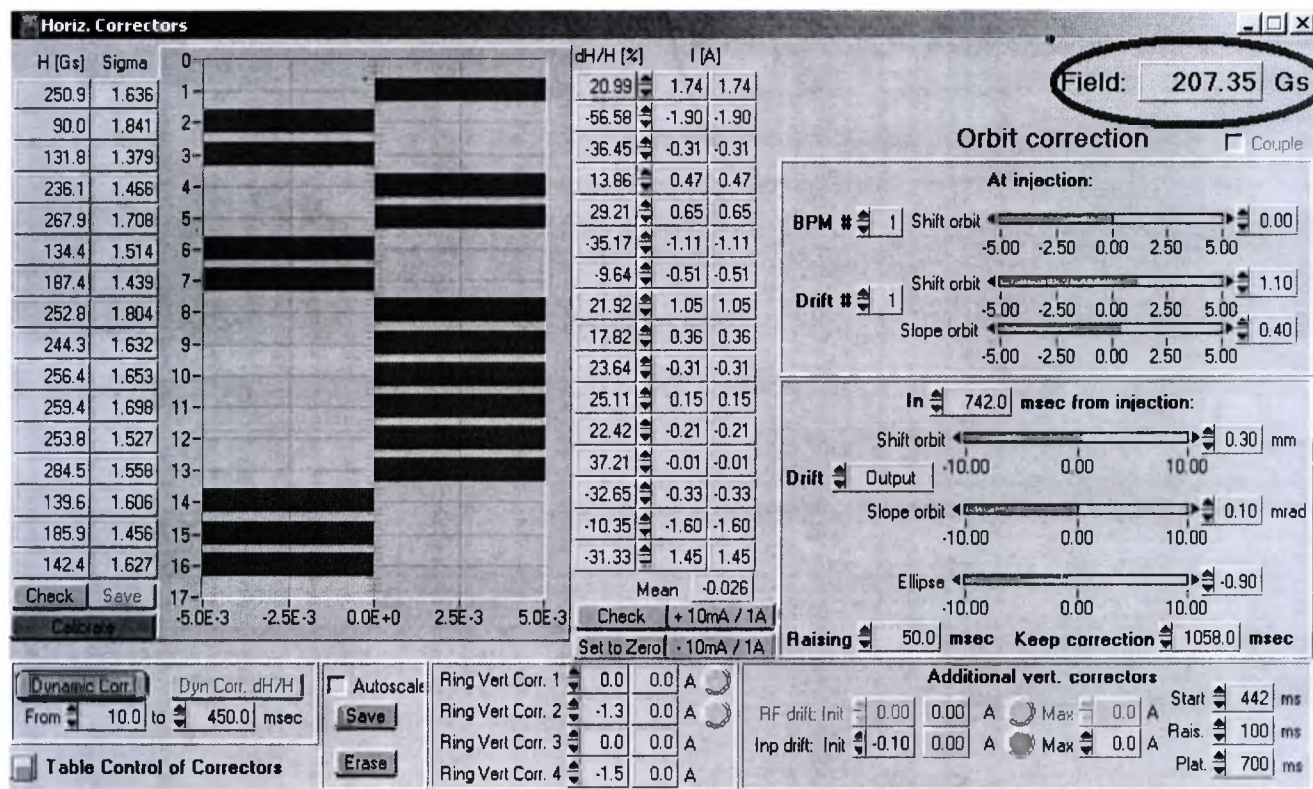


Рис. 3.12.4-5

6. В окне "Input Channel" системы программного управления нажать кнопки "Inp. mag.1" и "Inp. mag. 2". (Рис. 3.12.4-6)

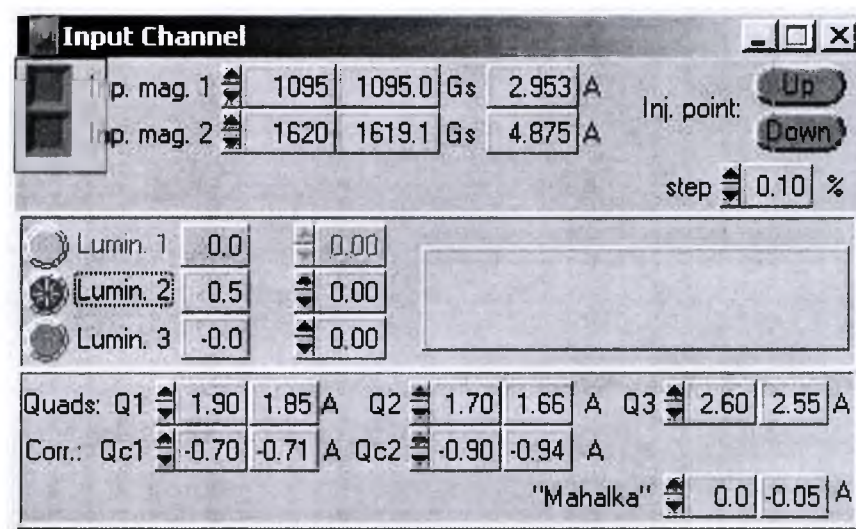


Рис. 3.12.4-6

7. Включите источник питания инфлектора



(положение выключателя см. Рис. 3.12.4-7).

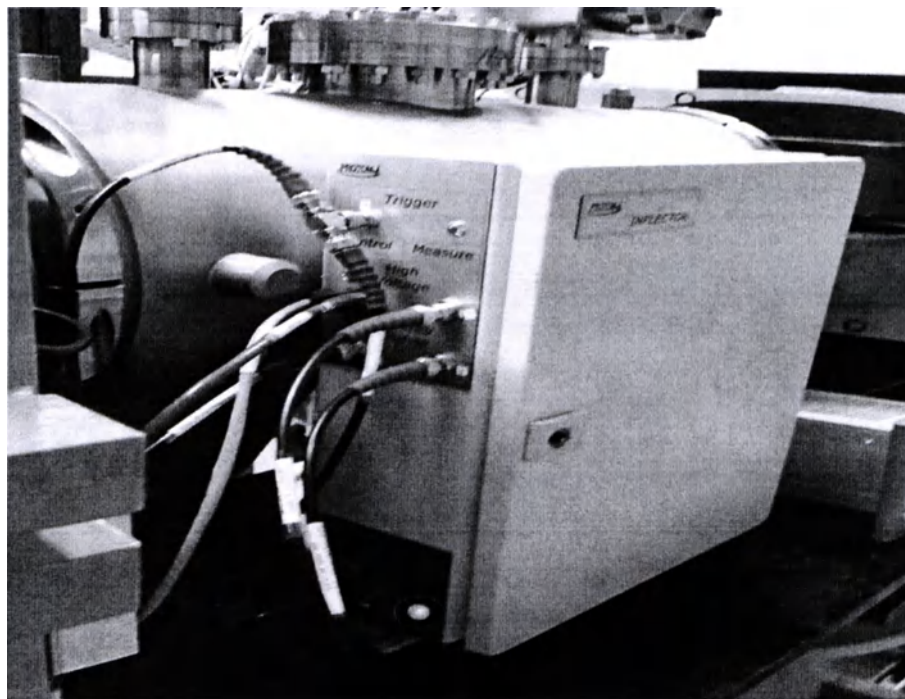


Рис. 3.12.4-7

8. Включите ускоряющую станцию (положение выключателя см. Рис. 3.12.4-8).

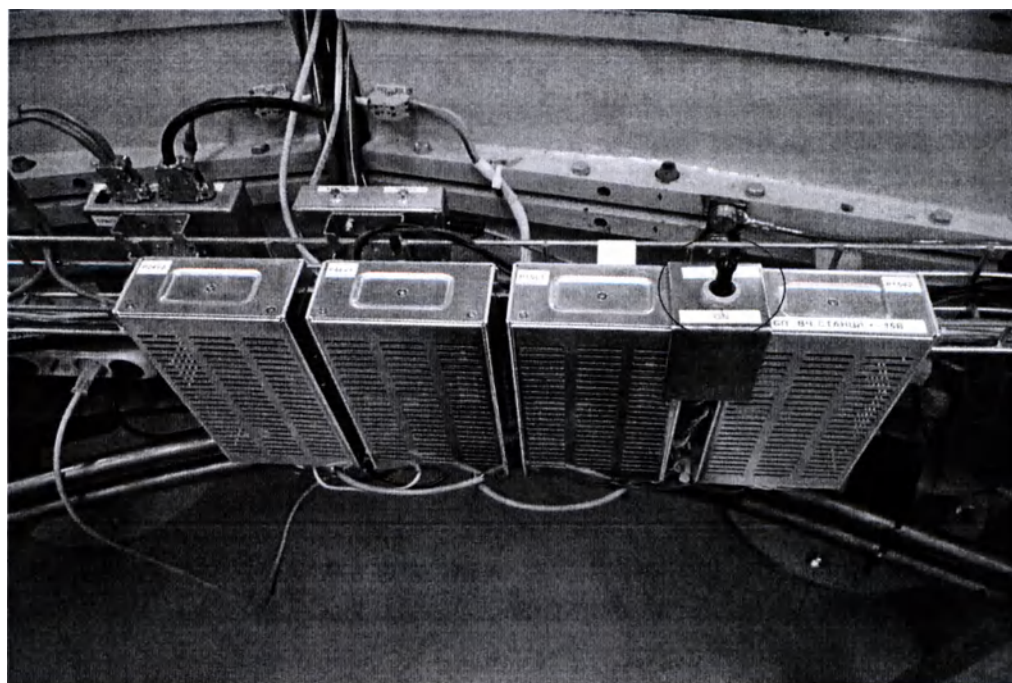


Рис. 3.12.4-8

9. Включите отдельные источники питания в стойке № 1 кольца при помощи красных



тумблеров (положение выключателей см. Рис. 3.12.4-9).



Рис. 3.12.4-9

10. Включите отдельные источники питания в стойке № 3 при помощи красных тумблеров. Каждый источник имеет три канала, которые должны быть включены нажатием зеленых кнопок. Проверьте, что переключатели режима работы находятся в положении "дистанционно" (см. Рис. 3.12.4-10).

Примечание: Включаются только те источники, к которым подходит кабель управления.

11. Для обновления статуса источников питания в стойке №1, обновить программу управления путем закрытия и последующего открытия программы на мониторе компьютера.

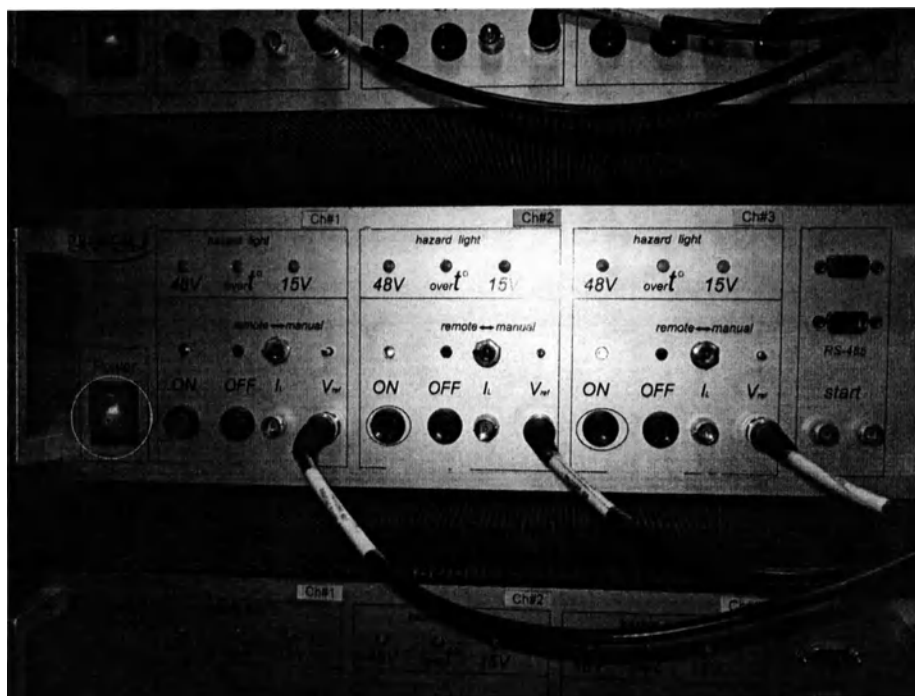


Рис. 3.12.4-10

3.12.5. Последовательность включения ионного источника в нормальную работу

1. Включить в стойке №4 многоканальный высоковольтный источник питания Multi Channel BPS (положение выключателя см. Рис. 3.12.5-1).



Рис. 3.12.5-1

2. Включите устройство защиты от перегрузки тока в стойке № 5 (положение



выключателя см. Рис. 3.12.5-2). Тумблер должен загореться красным светом.

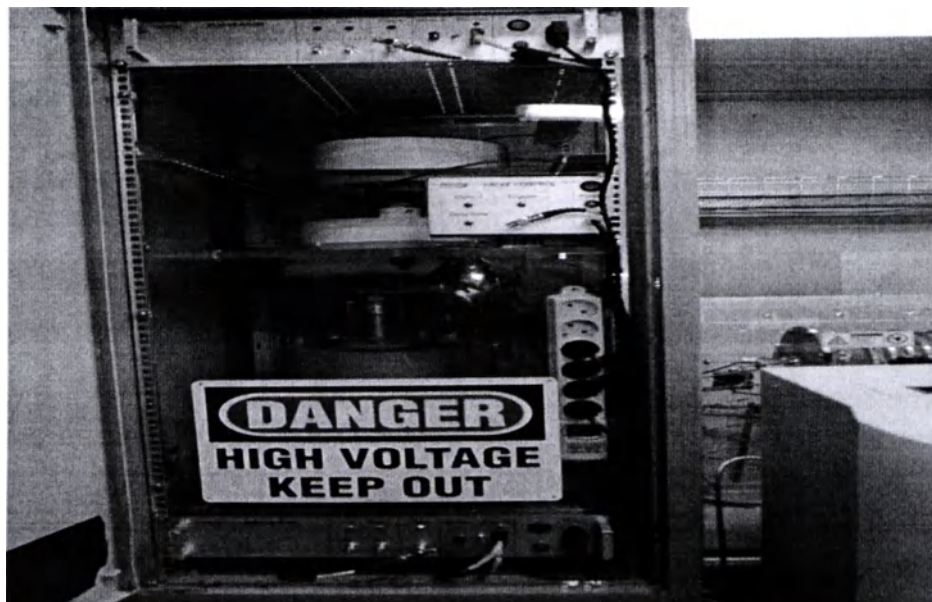


Рис. 3.12.5-2

3. Включите нижний модулятор 2, модуль контроля клапана и верхний модулятор 1 в стойке №5. Проверьте светодиоды триггера. Они мигают на каждом блоке после подачи сетевого напряжения (положение выключателей см. Рис. 3.12.5-3)

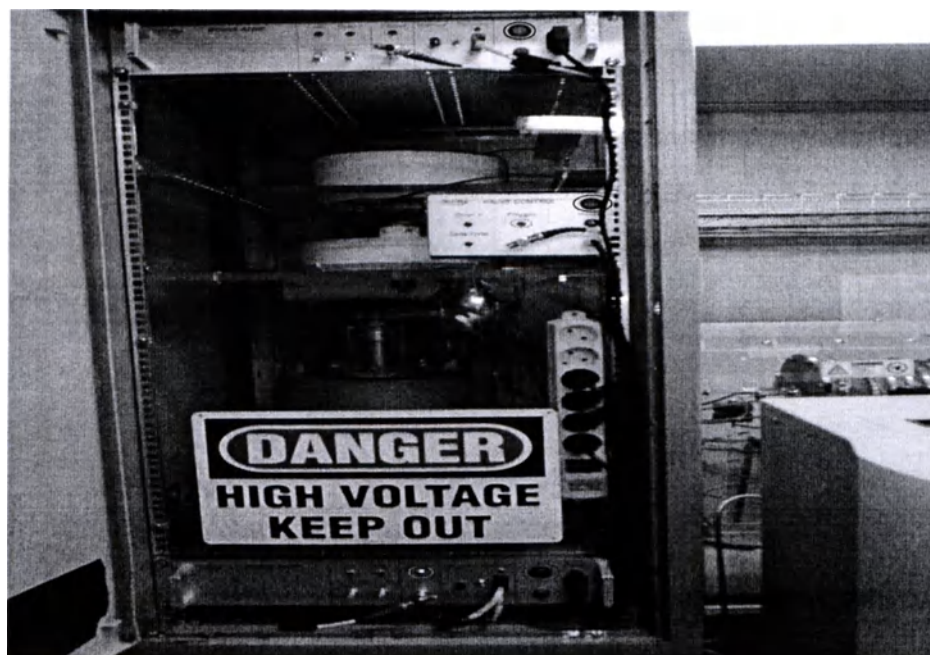


Рис. 3.12.5-3

4. В окне "Ion Source" консоли системы управления нажмите последовательно



стрелки вниз – вверх, чтобы обновить параметры модуляторов Mod. 1, Mod. 2 и Electrostatic – электростатических линз 1-4. (см. Рис. 3.12.5-4).

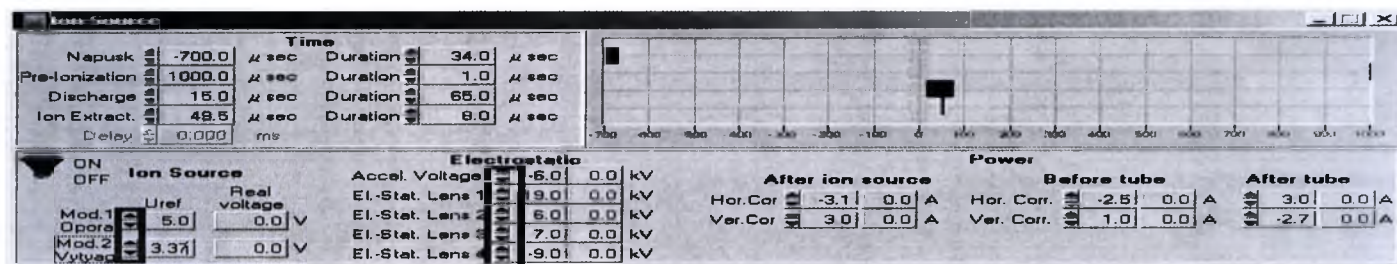


Рис. 3.12.5-4

5. При помощи осциллографа проверить наличие тока ионного источника по каналу №3 на колодке разъемов сигналов, поступающих от синхротрона. Этот ток должен увеличиваться по амплитуде с течением времени. Амплитуда сигнала тока составляет 750 мВ в начале включения и увеличивается до 1,4 В в течение нескольких минут (сигнал осциллографа показан на Рис. 3.12.5-5, фиолетовый сигнал соответствует ионному току).

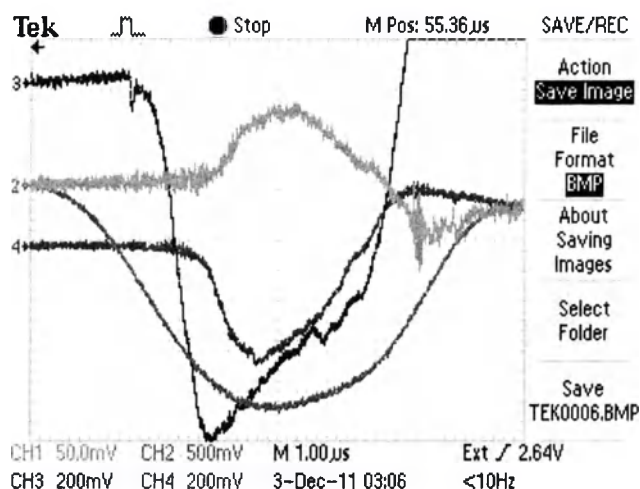


Рис. 3.12.5-5

6. Проверка ионного источника завершена. Теперь ионный источник должен быть выключен в рамках подготовки к высоковольтной тренировке трубки напряжением. Выключите многоканальный multi-channel BPS в стойке № 4. Выключите нижний модулятор 2, модуль управления клапаном и верхний модулятор 1, расположенные в стойке № 5.

Примечание: Если ионный источник не достиг тока 1,4 В, выполнить процедуру очистки и наполнения водородом водородной трассы ионного источника, как указано в приложении А.

3.12.6. Тренировка ускорительной трубки высоким напряжением



1. Убедитесь, что в тандеме перезарядная пленка удалена из ускоряющей трубки.

Примечание: Этот шаг важен для предотвращения повреждения пленки, что потребовало бы капитального ремонта. Пленка должна быть удалена из трубки по окончании работы ускорителя с пучком (См. Рис. 3.12.6-1).

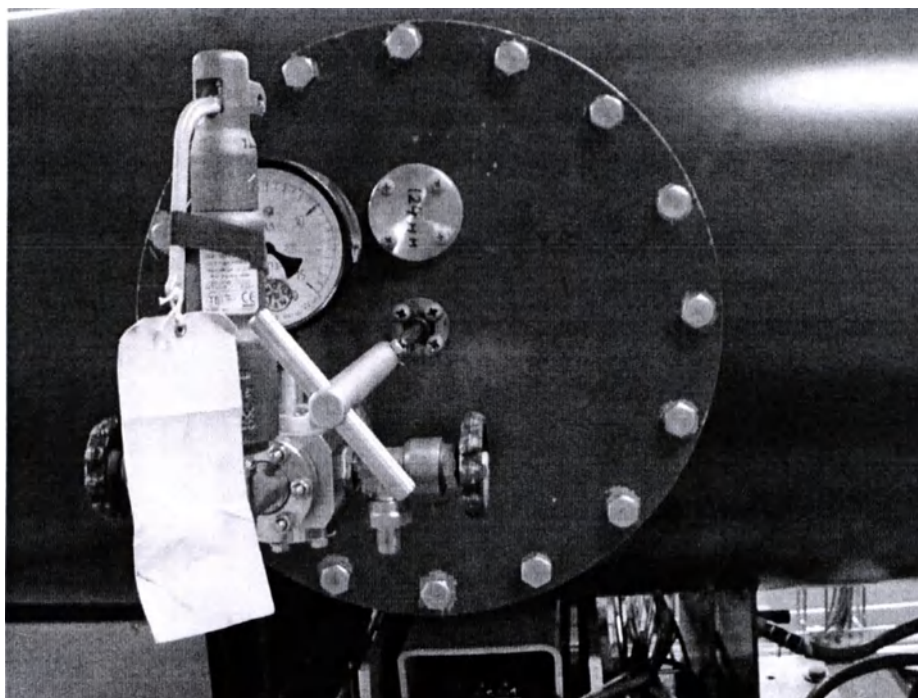


Рис. 3.12.6-1

2. Открыть электропневматический шибер, чтобы турбонасос, смонтированный над ионным источником, мог помочь с откачкой во время высоковольтной тренировки трубки (См. Рис. 3.12.6-2).

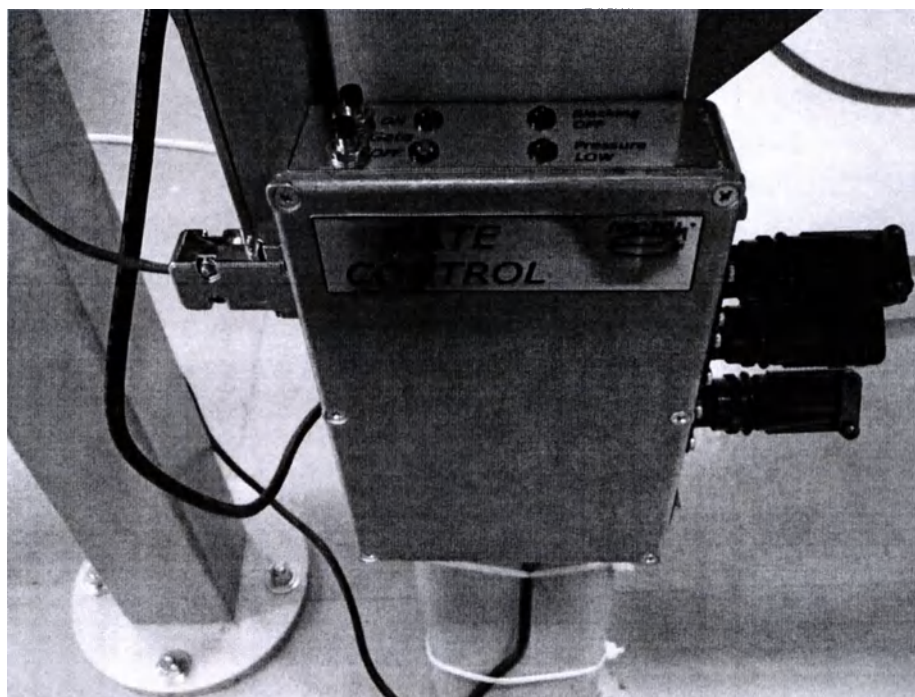


Рис. 3.12.6-2

3. Проверить помещение бункера на отсутствие людей.
4. Нажать кнопку “Lumin”. 2 иконки “Input Channel” на консоли управления системой (см. Рис. 3.12.6-3), чтобы задействовать люминофорный экран 2 для регистрации темнового тока.

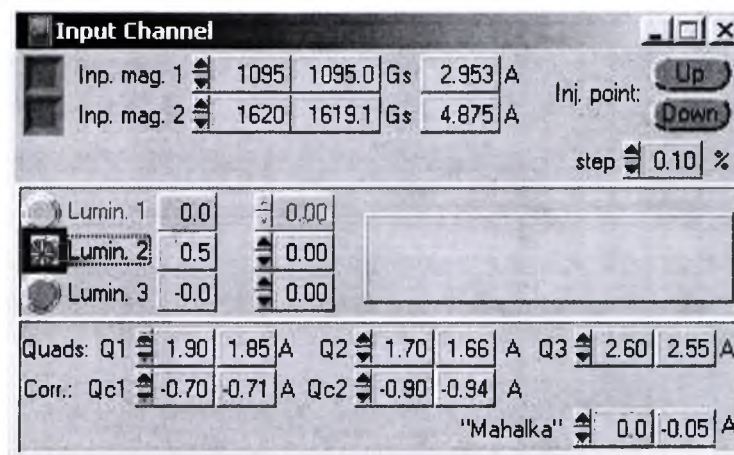


Рис. 3.12.6-3

5. Включить камеру № 1 в “Graph 1” окне на консоли управления видео. Переключите тумблер включения вверх. Это позволит оператору наблюдать присутствие темнового тока при высоковольтной тренировке ускоряющей трубки (см. Рис. 3.12.6-4).

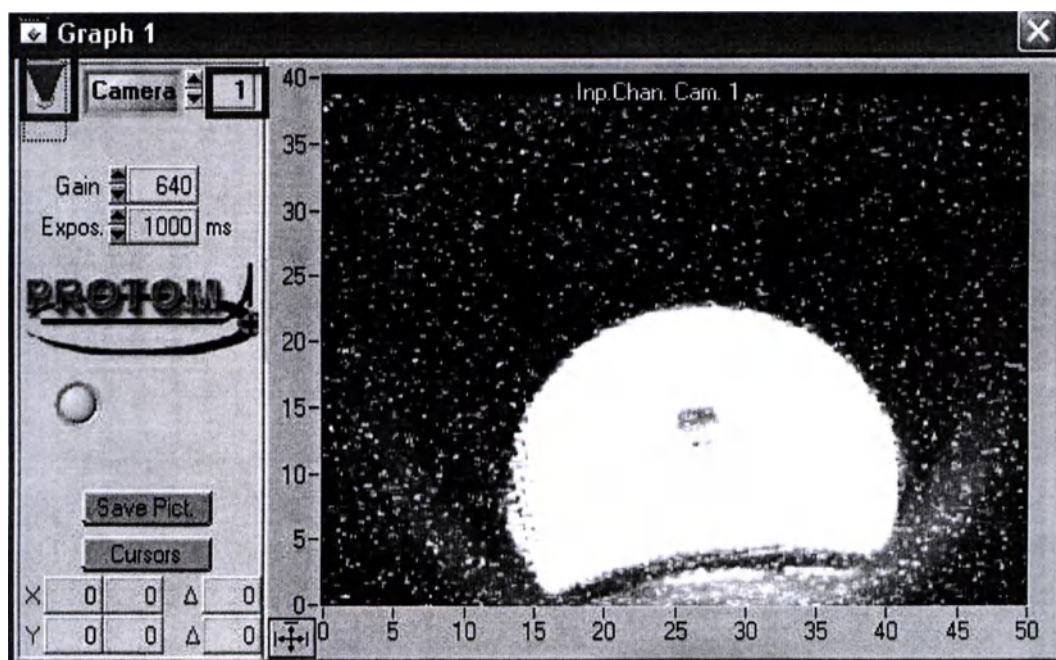


Рис. 3.12.6-4

Примечание: Следующие шаги по высоковольтной тренировке трубки выполняются, если синхротрон работал ежедневно с ежедневной высоковольтной тренировкой трубки. Явление темнового тока начнется на более низком уровне напряжения после продолжительных периодов бездействия. Оператор должен внимательно следить за Vacuum 1 и Vacuum 2 измерениями.

6. На консоли системы управления в окне **"High Voltage"** выполните следующие действия:

А) Установите значение напряжения "level" равное 200кВ. Переключите красный тумблер вверх, чтобы активировать программу и нажмите кнопку стабилизации напряжения "Stabilize".

Примечание: уровень вакуума должен контролироваться на протяжении всего процесса тренировки. Как только появится темновой ток, уровень вакуума начнет уменьшаться. Минимально допустимый уровень вакуума для Vacuum 1 и Vacuum 2 должен быть $2E^{-6}$. Эти значения должны поддерживаться во время высоковольтной тренировки трубки (см. Рис. 3.12.6-5).

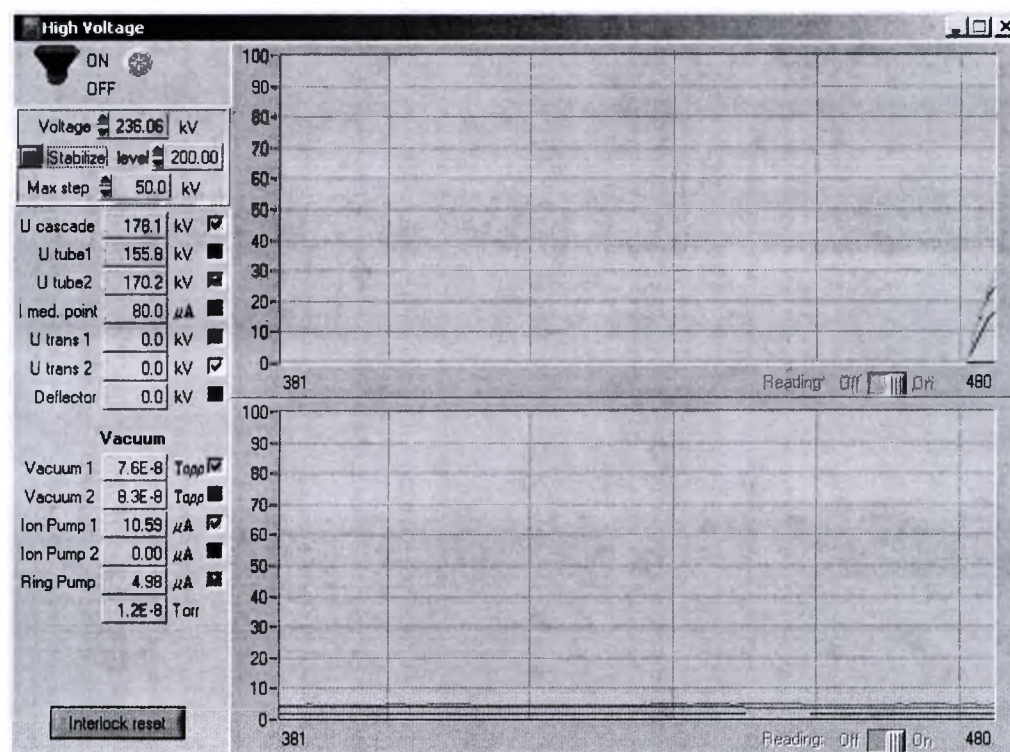


Рис. 3.12.6-5

Б) Наблюдая за темновым током и уровнем вакуума, повышение напряжения производить 50 кВ шагами, дважды щелкнув на поле “level”, чтобы покрасить его в черный цвет и ввести новое значение напряжения. Необходимо нажать кнопку ввода “Enter” на клавиатуре консоли системы управления, чтобы загрузить новое значение напряжения.

Примечание: Если это первая высоковольтная тренировка после длительного периода простоя, необходимо поднимать напряжение на трубке, начиная со 150 кВ 0,1-киловольтовыми шагами, покрасив в черный цвет окно “level” и использовать стрелку вверх на клавиатуре консоли. Темновой ток будет превалировать, поэтому уровень вакуума должен поддерживаться не хуже, чем 2E^{-6} . Подождите, пока вакуум восстановится до уровня 10^{-7} до следующего увеличения высокого напряжения. Эти действия производить до достижения максимального уровня в 630 кВ.

В) При ежедневной тренировке двигаемся шагами 50 кВ до 450 кВ, начиная с 200 кВ (см. Рис. 3.12.6-6).

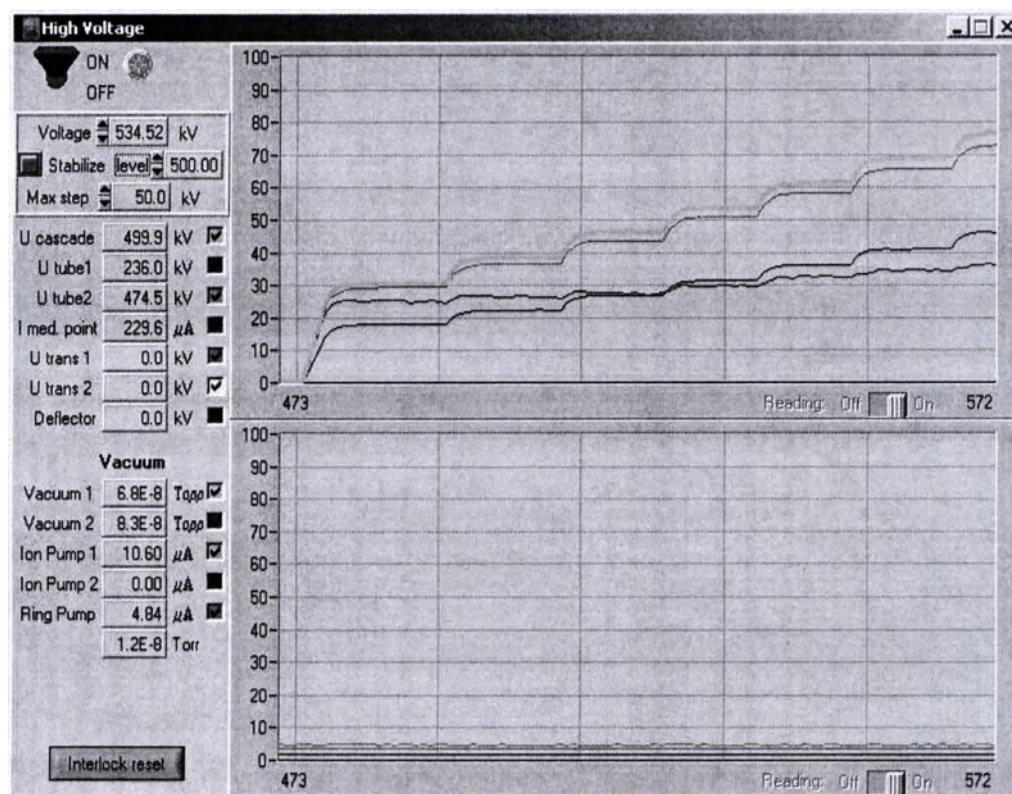


Рис. 3.12.6-6

Г) После достижения напряжения 450 кВ, высокое напряжение увеличивать шагами 0,1 кВ с помощью стрелки вверх на клавиатуре управления системой. Если синхротрон был в работе ежедневно, темновой ток и ухудшение вакуума, как правило, встречается примерно при напряжении 510 кВ. В этот момент оператор должен позволить Vacuum 1 и Vacuum 2 уровням восстановиться в пределах 10^{-7} до дальнейшего повышения высокого напряжения. “Показания Vacuum 1 и Vacuum 2 не должны превышать $2E-6$ (Рис. 3.12.6-7 показывает управление высоким напряжением и Рис. 3.12.6-4 показывает изображение темнового тока).

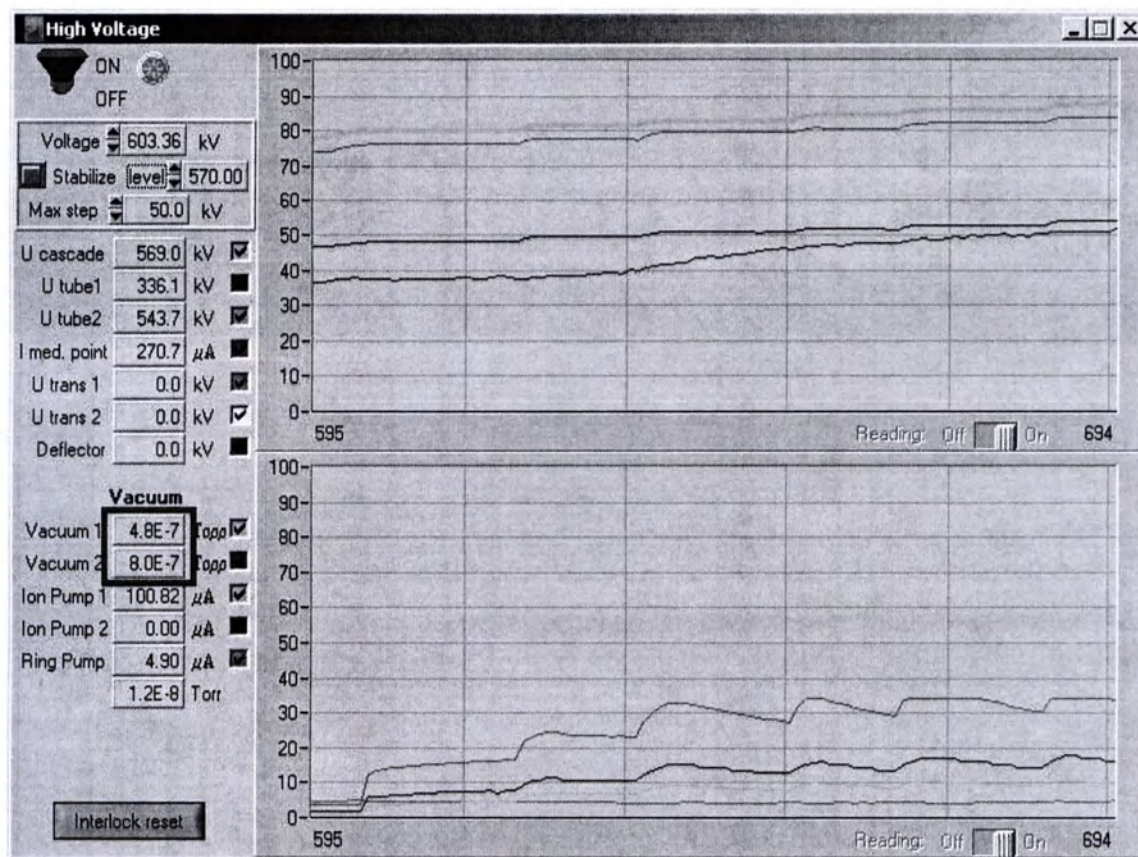


Рис. 3.12.6-7

Д) Продолжайте увеличение напряжения с помощью стрелки вверх на клавиатуре управления системой до максимального напряжения 630 кВ, одновременно постоянно контролируя уровень вакуума (см. Рис. 3.12.6-8).

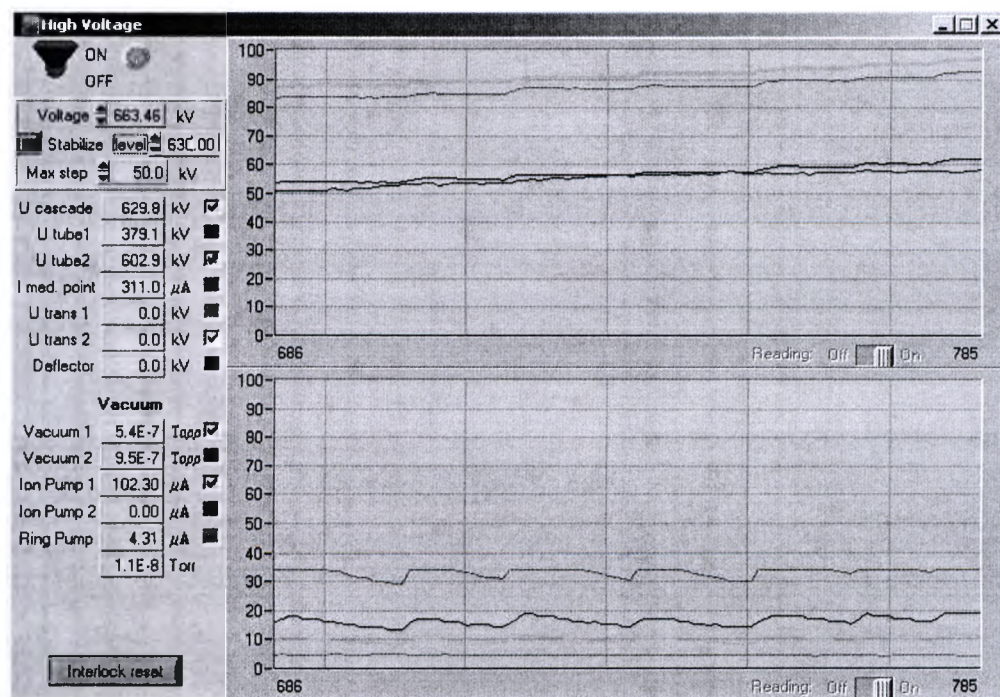


Рис. 3.12.6-8



Е) Выдержите высокое напряжение 630 кВ в течение десяти минут.

Ж) Через десять минут выдержки при максимальном напряжении 630 кВ оператор должен снизить (Рис. 3.12.6-9) высокое напряжение с помощью клавиши со стрелками на пульте управления. Напряжение опускается при постоянном контроле за темновым током. Как только темновой ток исчезнет, записать напряжение в журнале оператора. Теперь высокое напряжение может быть снижено до номинального уровня работы 464,5 кВ (для разных синхротронов напряжения могут несколько отличаться).

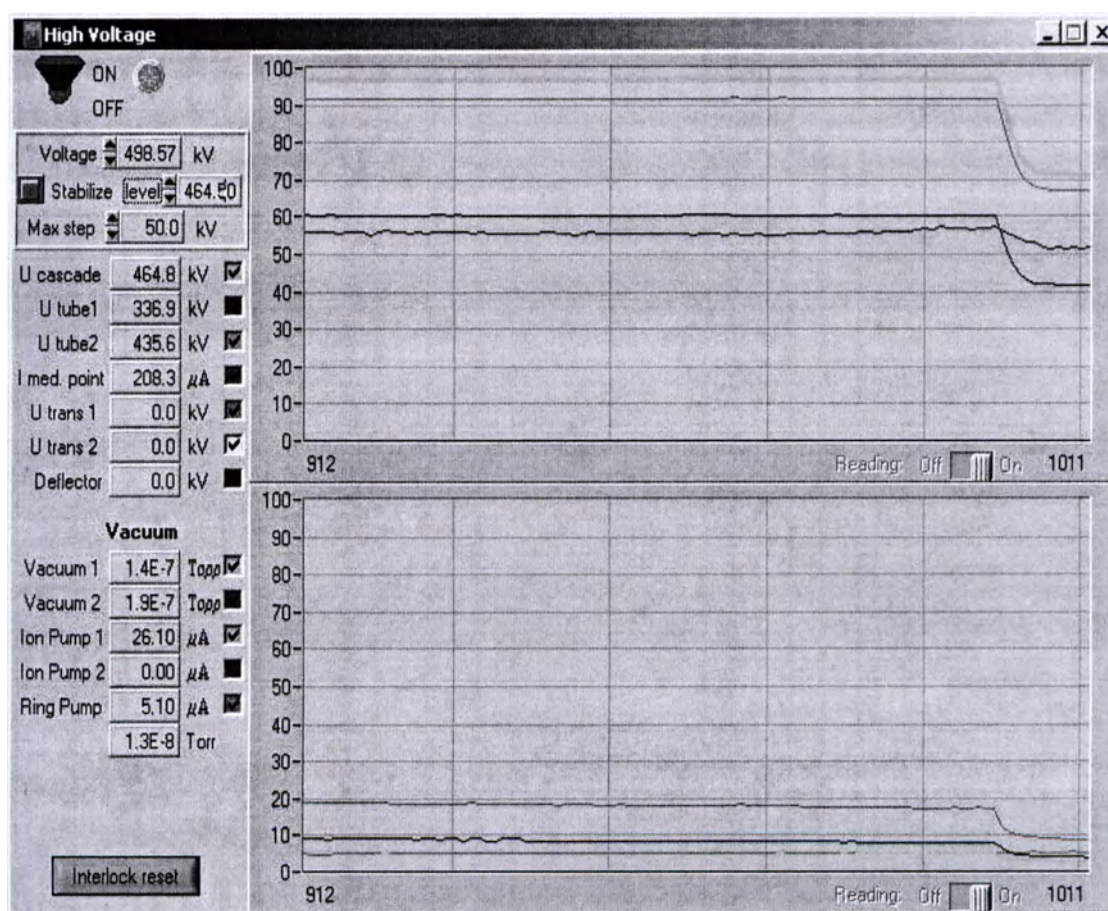


Рис. 3.12.6-9

З) Выключите красным тумблером высокое напряжение и выведите люминофор “lumen 2” до входа в ускорительный зал.

И) Закройте электропневматический шибер. Ионный источник теперь можно снова включить, следуя последовательной процедуре включения ионного источника для нормальной работы.



3.12.7. Введение перезарядной пленки в ускорительную трубку

Теперь в ускорительную трубку может быть введена пленка для преобразования ионов водорода в протоны инъекции, необходимые для нормальной работы синхротрона.

А) Ослабьте четыре винта крестообразных сальника блокировки в основании Т-образной ручки вала.

Б) Нажимая вперед, аккуратно двигая и покачивая вправо и влево, переместите ручку до зацепления с механизмом перемещения пленки.

В) Поверните ручку против часовой стрелки примерно на 6,5 оборота, пока механический предел не будет достигнут.

Г) Аккуратно двигая и покачивая вправо и влево, вытяните ручку назад.

Д) Когда ручка перестанет вытягиваться, с разумной силой затяните четыре винта блокировки у основания вала (см. Рис. 3.12.7-1).

Примечание: Введение пленки было описано выше. Вывод пленки осуществляется поворотом Т-образной ручки по часовой стрелке, в то время как введение производится поворотом ручки против часовой стрелки. Все остальные шаги остаются теми же.

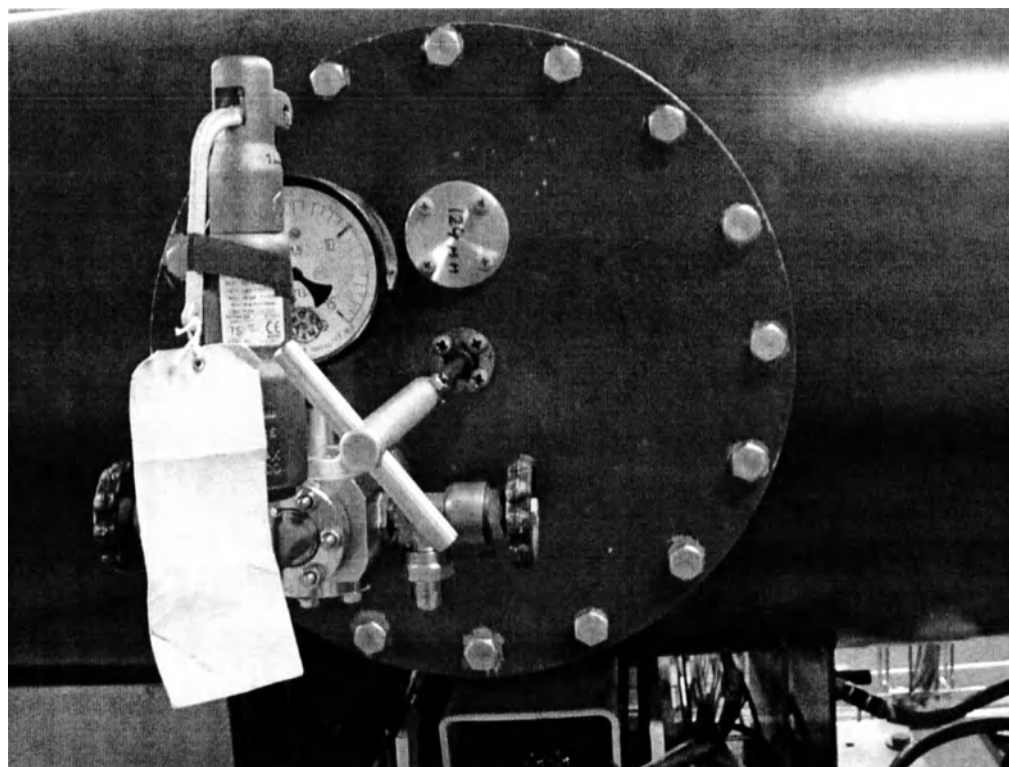


Рис. 3.12.7-1

Для обеспечения инъекции протонов в кольцо электропневматический клапан должен быть открыт (Рис. 3.12.7-2), ручной вакуумный клапан (Рис. 3.12.7-3) в районе инъекционного промежутка должен быть также открыт.



При возникновении аварийной ситуации на ускорителе, эти два шибера должны быть закрыты в первую очередь.

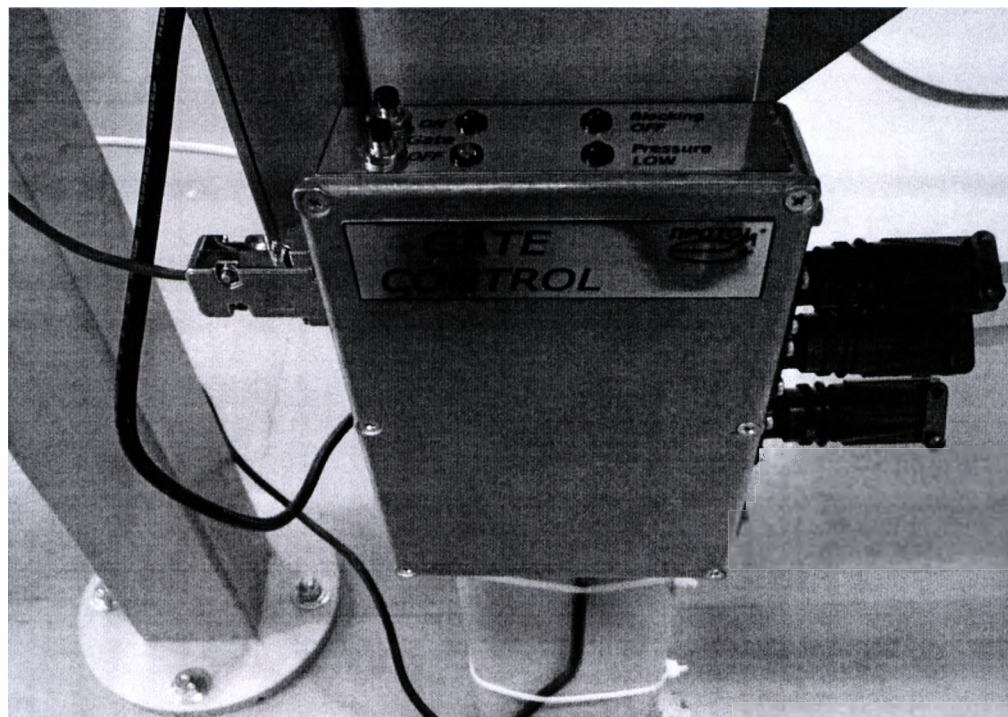


Рис. 3.12.7-2

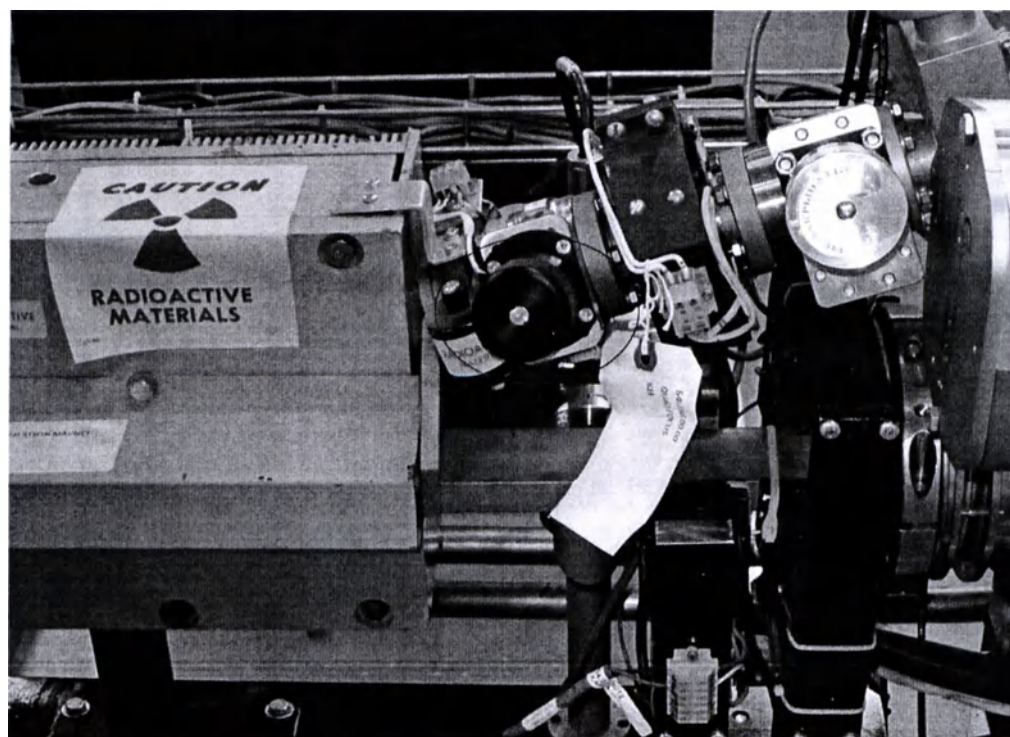


Рис. 3.12.7-3

После завершения вышеописанных процедур и закрытия дверей можно получать ускоренный пучок на установке.



3.12.8. Приложение А.

Очистка и наполнение водородом водородной трассы.

Примечание: Эта процедура выполняется по мере необходимости после аномально длительного периода простоя источника. Это будет также служить в качестве первого шага, если ток ионного источника ниже требуемых 1.5 В, согласно измерениям канала №3 осциллографа.

1) Закройте клапан подачи водорода (см. Рис. 3.12.8-1).

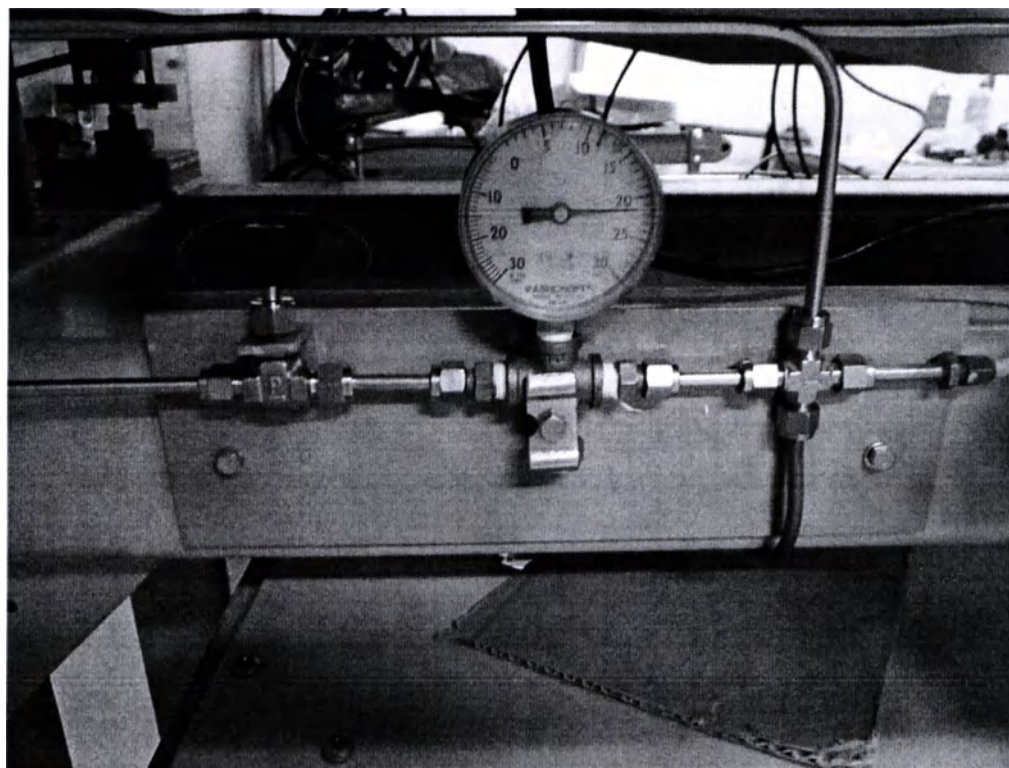


Рис. 3.12.8-1

2) Закройте электромеханический вакуумный клапан для изоляции объема ионного источника от форвакуумного насоса, нажав на кнопку выключения клапана в стойке № 6 на передней панели (см. расположение на Рис. 3.12.8-2).

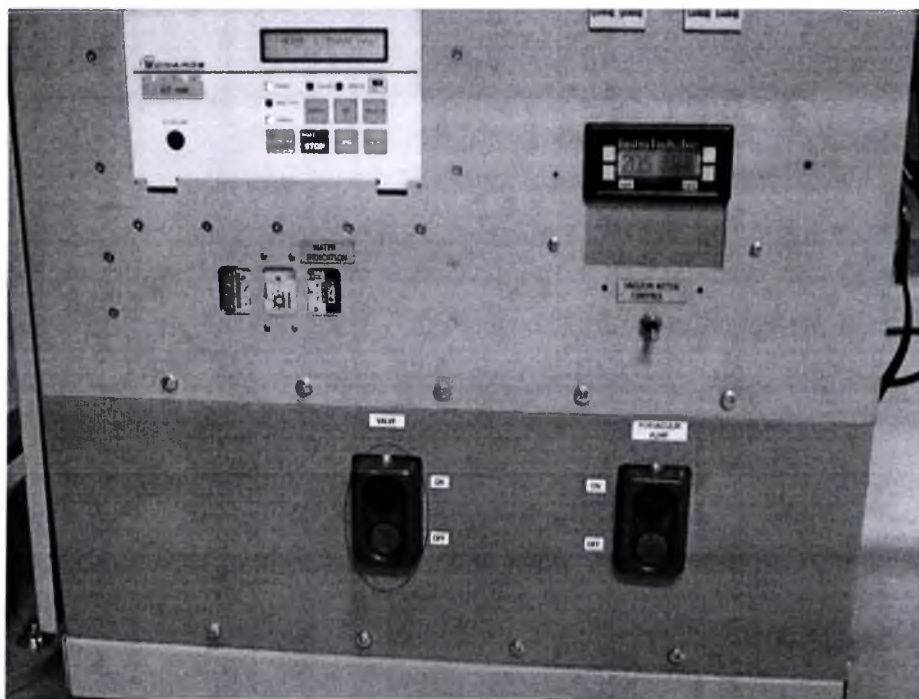


Рис. 3.12.8-2

3) Откройте ручной вакуумный клапан, расположенный выше форвакуумного насоса Edwards для откачки линий питания водорода (см. расположение на Рис. 3.12.8-3).

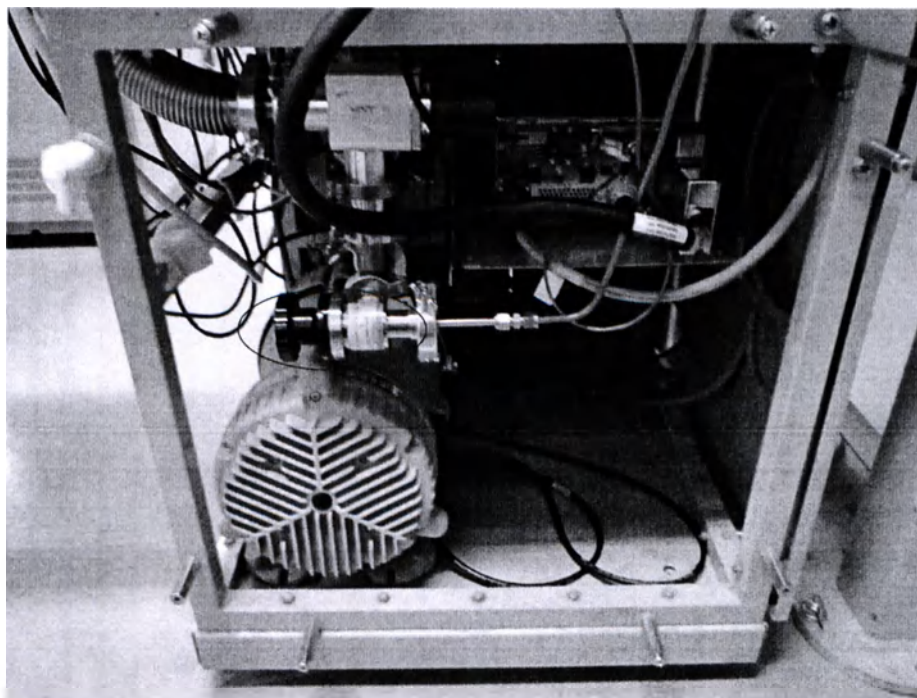


Рис. 3.12.8-3



4) Как только давление в водородной линии достигнет отрицательных значений 2 бара, закройте ручной вакуумный вентиль, расположенный выше форвакуумного насоса Edwards. Откачка завершена (см. Рис. 3.12.8-4).

5) Откройте электромеханический клапан на стойке № 6, нажав на кнопку открытия клапана.

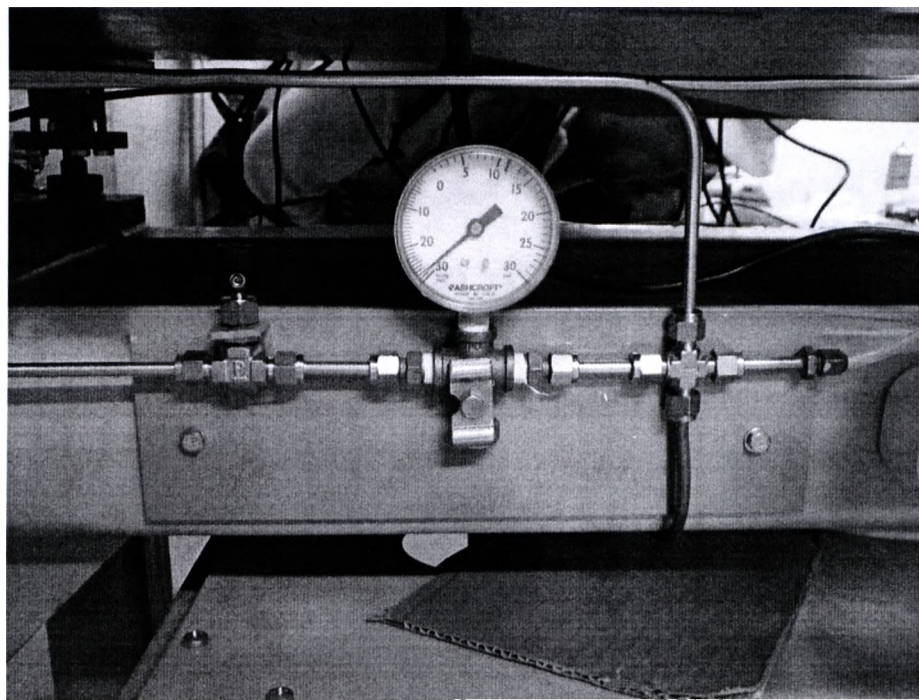


Рис. 3.12.8-4

6) Медленно дросселируя вентилем, открывая/закрывая поставку водорода от генератора водорода к клапану водорода, контролируем давление на выходе генератора водорода не ниже 0,7 бара (см. на Рис. 3.12.8-5 расположение вентиль и манометра).

7) Повторите дросселирование вентиль и установите положительное давление 0,7 бара (10 PSI) на выходе водородной линии питания. В это время вентиль линии водорода питания может быть открыт полностью.

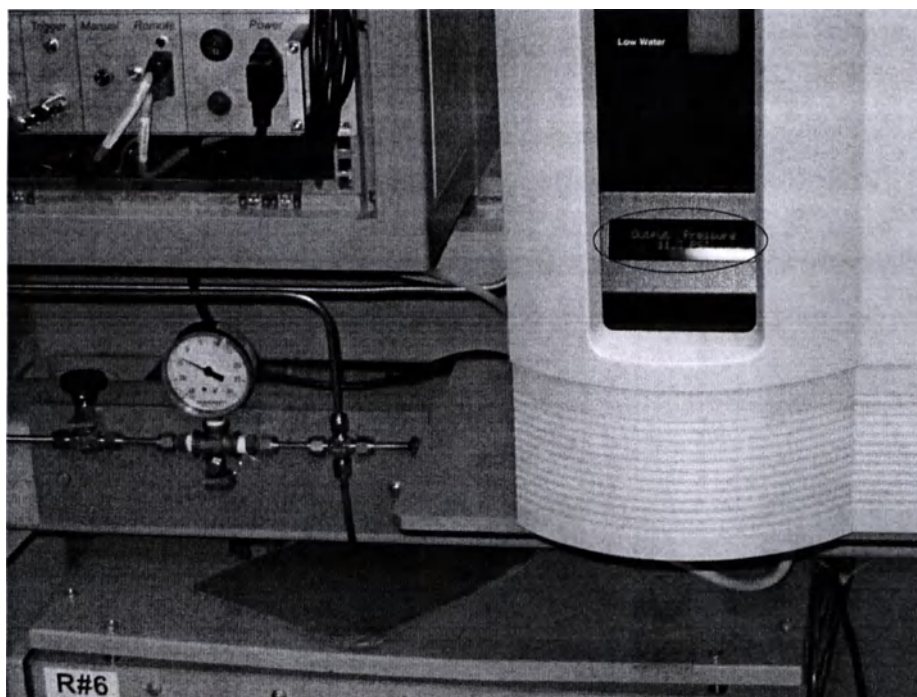


Рис. 3.12.8-5

8) Дождитесь пока давление выхода генератора водорода достигнет 1,5 бара (22 PSI), прежде чем продолжить нормальную последовательность включения. Это может занять несколько минут, чтобы достичь данного давления (см. Рис. 3.12.8-6).

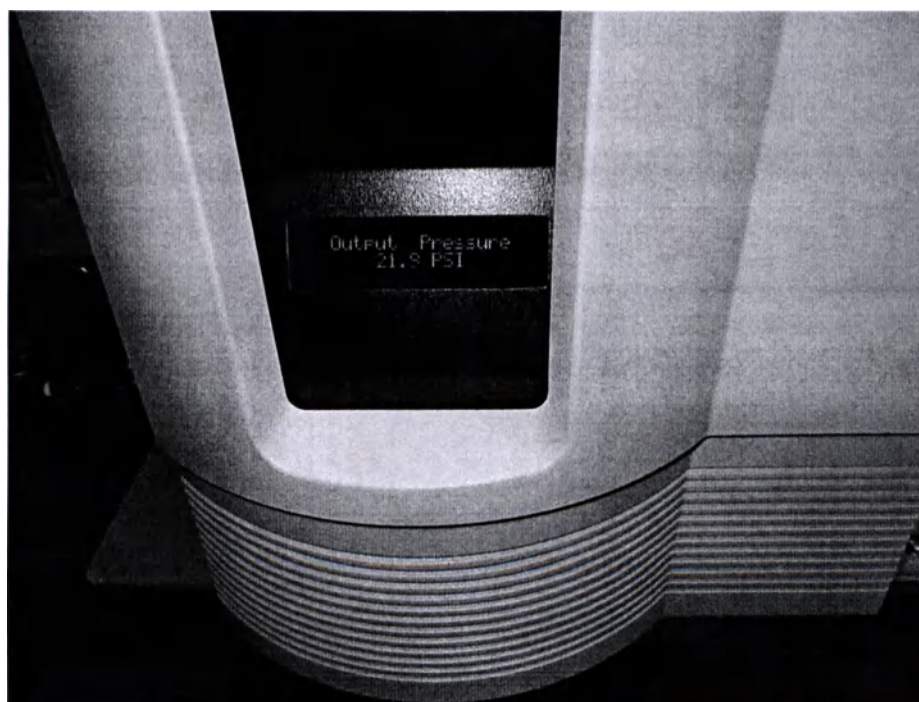


Рис. 3.12.8-6



3.13. Порядок включения и предварительной настройки ускорителя

Включить систему охлаждения (см. п. 3.10)

Включить вакуумную систему (см. п. 3.3). Шиберы остаются закрытыми.

Произвести напуск водорода ($P=0,5 \text{ кгс/см}^2$).

Включить ионный источник (см. п. 3.4.3). Наблюдать по осциллографу ток дуги горения плазмы и вытягивающий импульс. (см. Рис. 3.13-1).

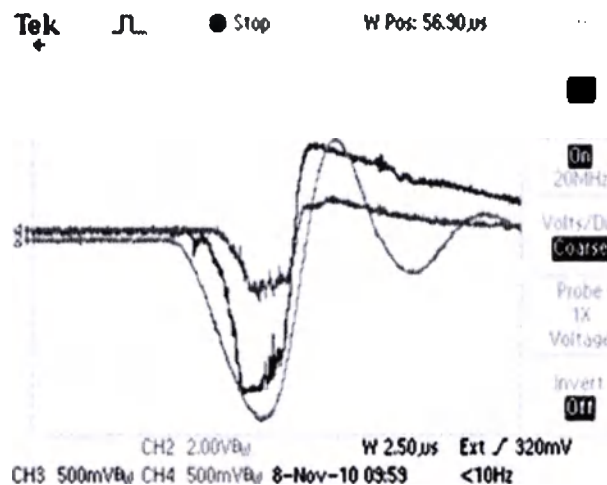


Рис. 3.13-1

Включить источники питания корректоров магнитов, линз, поворотных магнитов.

Включить источник питания основного поля (см. п. 3.4.3).

Включить RF станцию

Включить инфлектор

Открыть шиберы.

Закрыть дверь бункера. Ключ находится у оператора.

Включить высокое напряжение на каскадном генераторе ($U=344 \text{ кв.}$)

Окно “High Voltage Monitoring System”

Контролировать импульс тока источника по осциллографу.

Выставить ток инжекции $I=21,3 \text{ А}$

поле инжекции $H=830 \text{ Gs}$

Нажать кнопку “Smooth” в окне “Horiz correctors”. Произойдет подстройка корректоров под среднее значение поля.

Включить $I_{np \text{ mag}1}=966,2$ и $I_{np \text{ mag}2}=991,4$ в окне “Input Channel”

Контролировать положение импульса инфлектора относительно импульса тока

источника по осциллографу.



В окне **“Beam Position Monitors”** контролировать ток и положение пучка ($R=6\text{мм.}$).

Установить необходимую энергию пучка на выводе.

Включить режим ускорения. Кнопка **“Dynamic regime”** в окне **“Main Field”** и кнопка **“Dr Line Accel”** (Слежение частоты ВЧ за магнитным полем)

ВЫВОД ПУЧКА:

1. Окно **“Horiz Correctors”**, кнопка **“Table Control Correctors”** – искажение орбиты пучка под условия вывода пучка заданной энергии. Токи корректоров рассчитываются автоматически и вносятся в таблицу. Коррекцию можно производить либо в окне таблицы, либо с помощью движков в окошке **“In msec from injection”**.

2. Окно **“Beam Extraction Monitor”**

Кнопка **“Beam Excitation”** – раскачка бетатронных колебаний.

Кнопка **“Deflector”** (расчет уставок автоматический)

3. Окно **“Output Channel”** кнопки **“Output mag 1 и 2”**

3.14. Выключение ускорителя

Снять высокое напряжение в окне **«High Voltage»**

Выключить динамический режим (**“Dynamic regime”** в окне **«Main Field»**) и режим ускорения (**“OnLine Accel”**).

Выключить блокировку двери.

Закрыть шиберы.

Отключить питание ионного источника.

Отключить вакуумную систему.

Далее отключить источники питания всех остальных систем.

3.15. Процедура проверки энергии выпущенного пучка

Энергия выпущенного пучка проверяется по его пробегу в сцинтилляторе. Для проверки необходимо:

1. Установить подставку с сцинтиллятором и видеокамерой на нижний диск **«Стула»** (см. описание системы фиксации в п.3.17.).

2. **«Стул»** перевести в режим дистанционного управления.

3. Включить видеокамеру, подсоединив к ней USB-кабель и кабель синхронизации.

4. Чтобы активировать видеокамеру, необходимо на компьютере **“VideoConsole”** в

окне **“Video Server”** нажать клавиши **Ctrl+I**.



5. Получить ускоренный пучок. (Энергия не важна).
6. Через меню “Options -> Special Params” вызвать окно специальных параметров, и выбрать вкладку “Extr. Energy” (Рис. 3.15-1).

Убедиться что правильно заполнены необходимые для процедуры проверки поля:

- “Camera” – серийный номер видеокамеры;
- “Hor.Scale” – масштабирующий коэффициент;
- “Pat.Pos.Syst.” – высота «Стула» при калибровке.

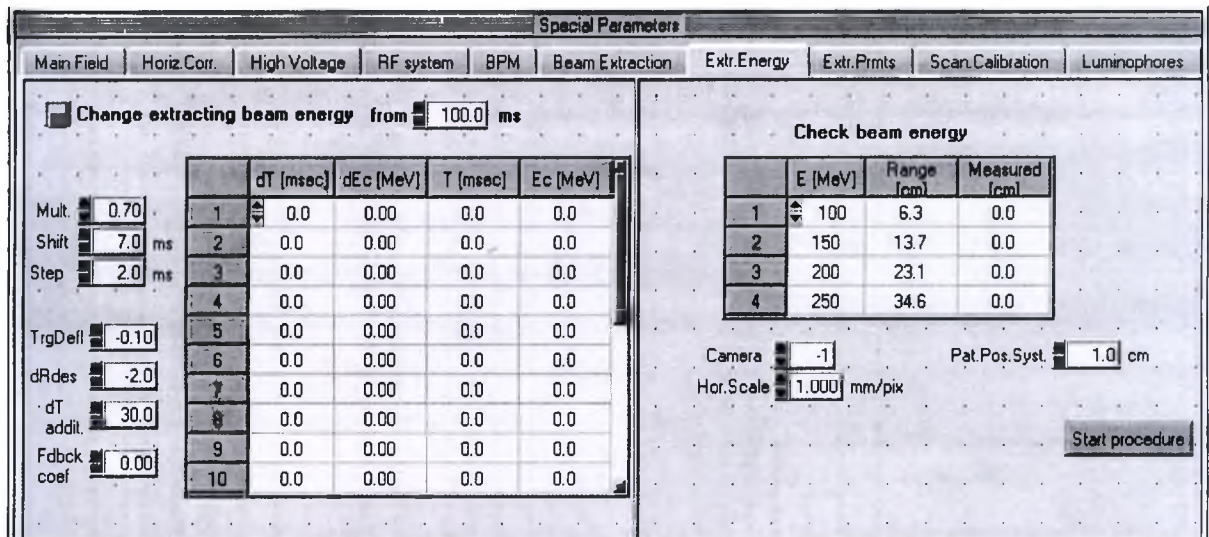


Рис.3.15-1

7. Запустить процедуру кнопкой “Start Procedure”. При этом «Стул» автоматически встанет в нужное положение.

8. Для визуального контроля на видеоконсоли можно открыть окно “Scintillator” и включить изображение с камеры №10. При этом на экране должен быть виден выпущенный на разных энергиях пучок. Во время исполнения процедуры калибровки нельзя менять параметры этой камеры (Gain, Exposition и т.д.)!

9. По мере исполнения процедуры в окне “Extr. Energy” будет заполняться таблица с результатами измерения пробега пучка в сцинтилляторе при различных энергиях. Первая колонка – энергия, вторая – значение пробега пучка, которое должно быть при данной энергии, третья – измеренное значение пробега.

Если измеренное значение отличается от необходимого не больше чем на миллиметр, значение отображается синим цветом. В противном случае – красным.

10. При необходимости процедуру можно прервать, отжав кнопку “Start Procedure”.

11. При завершении процедуры проверки кнопка “Start Procedure” отождется автоматически.

12. Просмотреть таблицу с результатами измерений и убедиться, что нет явных сбоев.



3.16. Система контроля дозных полей

Проверку относительной погрешности непрерывного подсчета интегральной накопленной дозы в точке облучения проводят с помощью анализатора дозного поля. Он предназначен для непосредственного измерения дозы в определенной точке.

Анализатор выполнен на основе дозиметрической плёнки GAFCHROMIC® EBT2, которая специально разработана для применения медицинскими физиками и лучевыми терапевтами в помещениях с обычным освещением, и позволяет получать карту двумерного распределения абсолютной поглощённой дозы. Степень потемнения плёнки зависит от величины поглощённой дозы. После облучения плёнки она сканируется для получения 48-битного RGB цифрового изображения. Величина значения пикселя переводится в дозное значение на основе калибровочной кривой. Абсолютная калибровка регулярно перепроверяется с помощью откалиброванного клинического дозиметра, созданного на основе алмазного детектора для радиотерапевтических установок ДКДа-01 - "ИФТП" УЛКА. 412111.001 ТУ.

К техническим достоинствам использования дозиметрической плёнки GAFCHROMIC® EBT2 относятся: широкий диапазон измерения дозы; высокая точность измерения дозы; высокое пространственное разрешение; возможность работы при дневном свете; возможность работы в различных однородных, неоднородных средах и в водяном фантоме.

На Рис.3.16-1 представлено отсканированное изображение пленки:

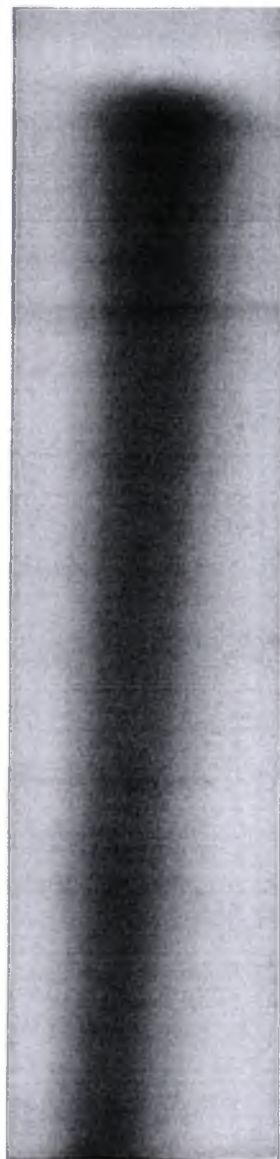


Рис. 3.16-1

На Рис. 3.16-2 – 3.16-5 представлены различные виды распределения дозного поля, полученные в результате программного перевода степени затемнения пленки в дозное значение.



Isodose field of P_n0_300dpi001.tif in cGy

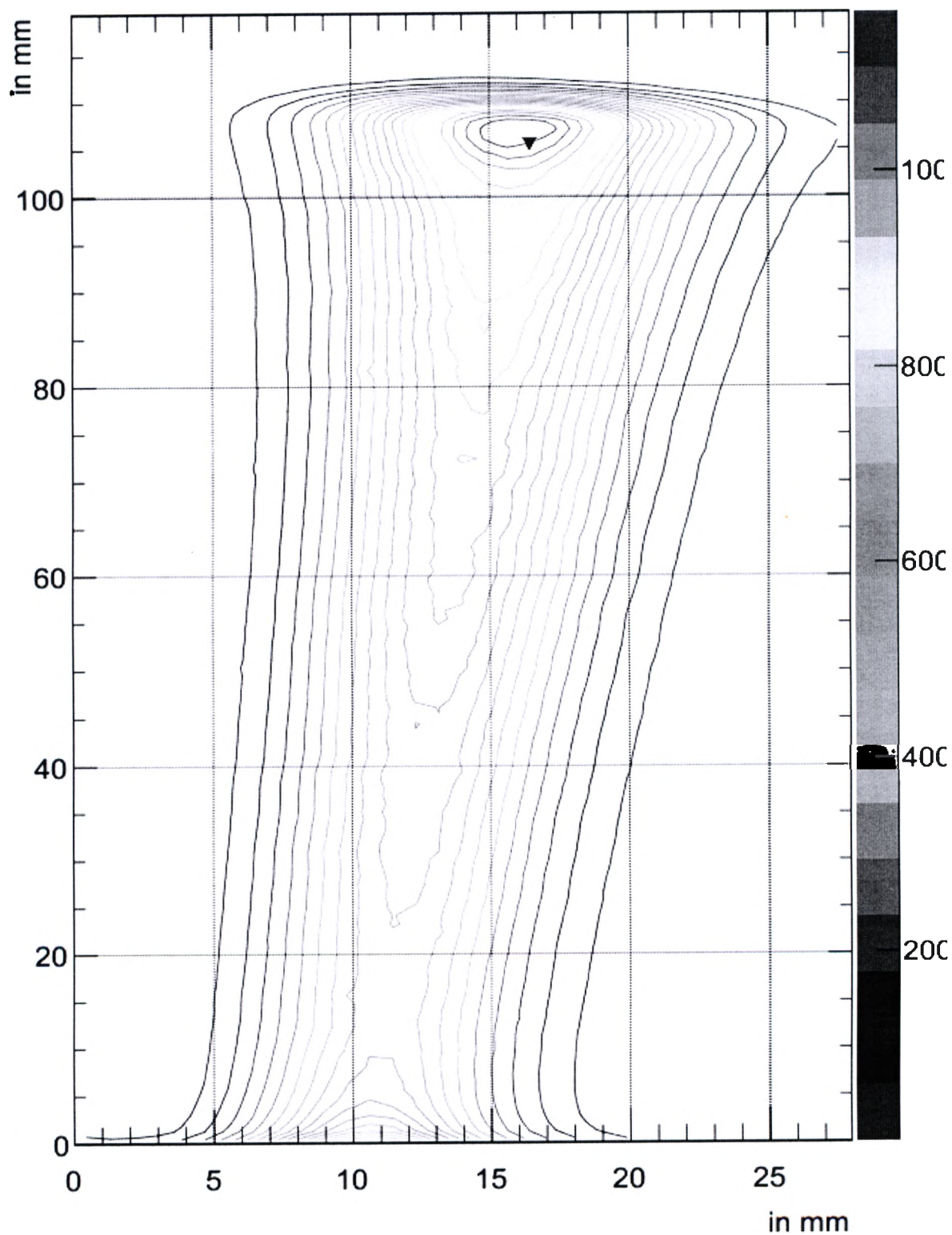


Рис. 3.16-2. Распределение дозного поля (изодозы в единицах санти-Грей)



Dose distribution of P_n0_300dpi001.tif in Gy



Рис. 3.16-3. Распределение дозного поля в виде цветовой двухмерной гистограммы

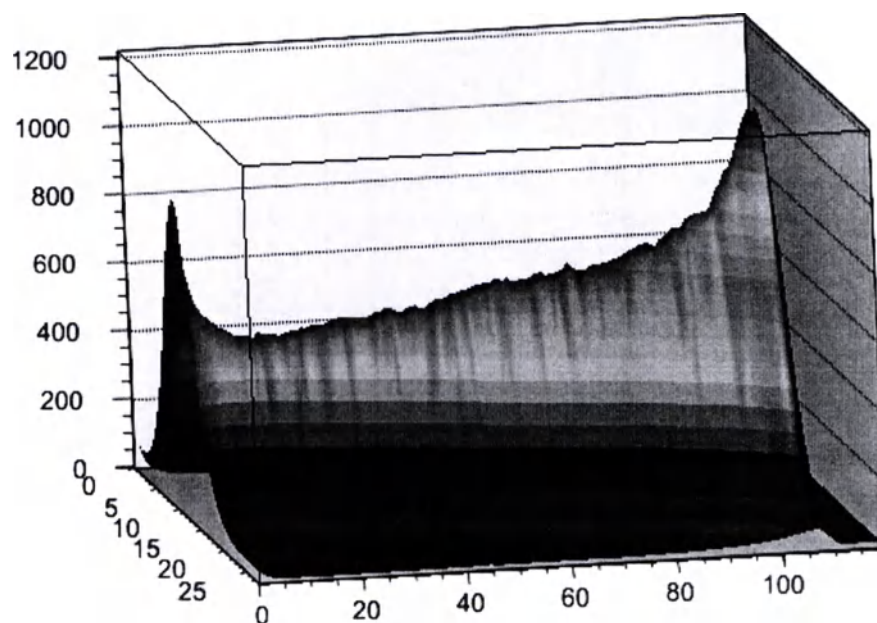


Рис. 3.16-4. Распределение дозного поля в виде цветовой трёхмерной гистограммы

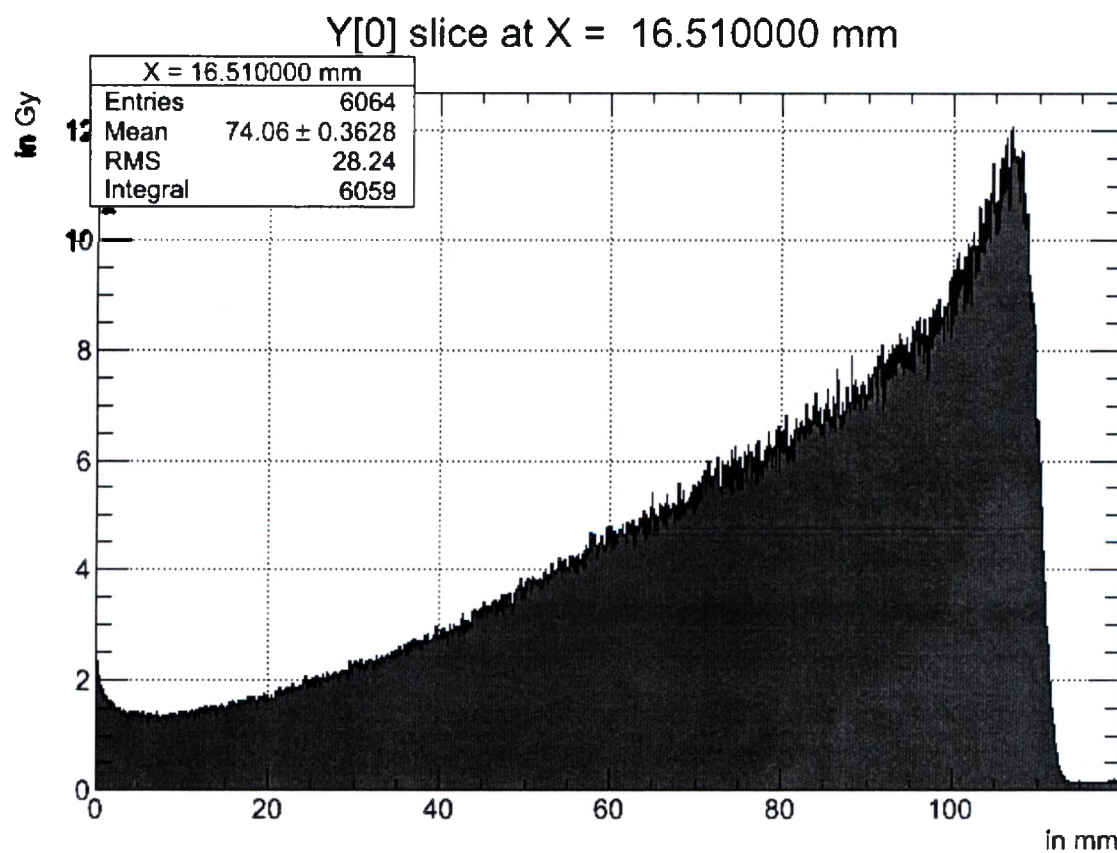


Рис. 3.16-5. Распределение дозного поля вдоль среза



3.17. Система фиксации и перемещения пациента

3.17.1. Назначение системы

Система предназначена для фиксации пациента и перемещения его в зону облучения.

3.17.2. Описание системы фиксации и перемещения пациента для положений со стулом терапевтическим

Блок-схема системы фиксации и перемещения представлена на Рис. 3.17.2-1

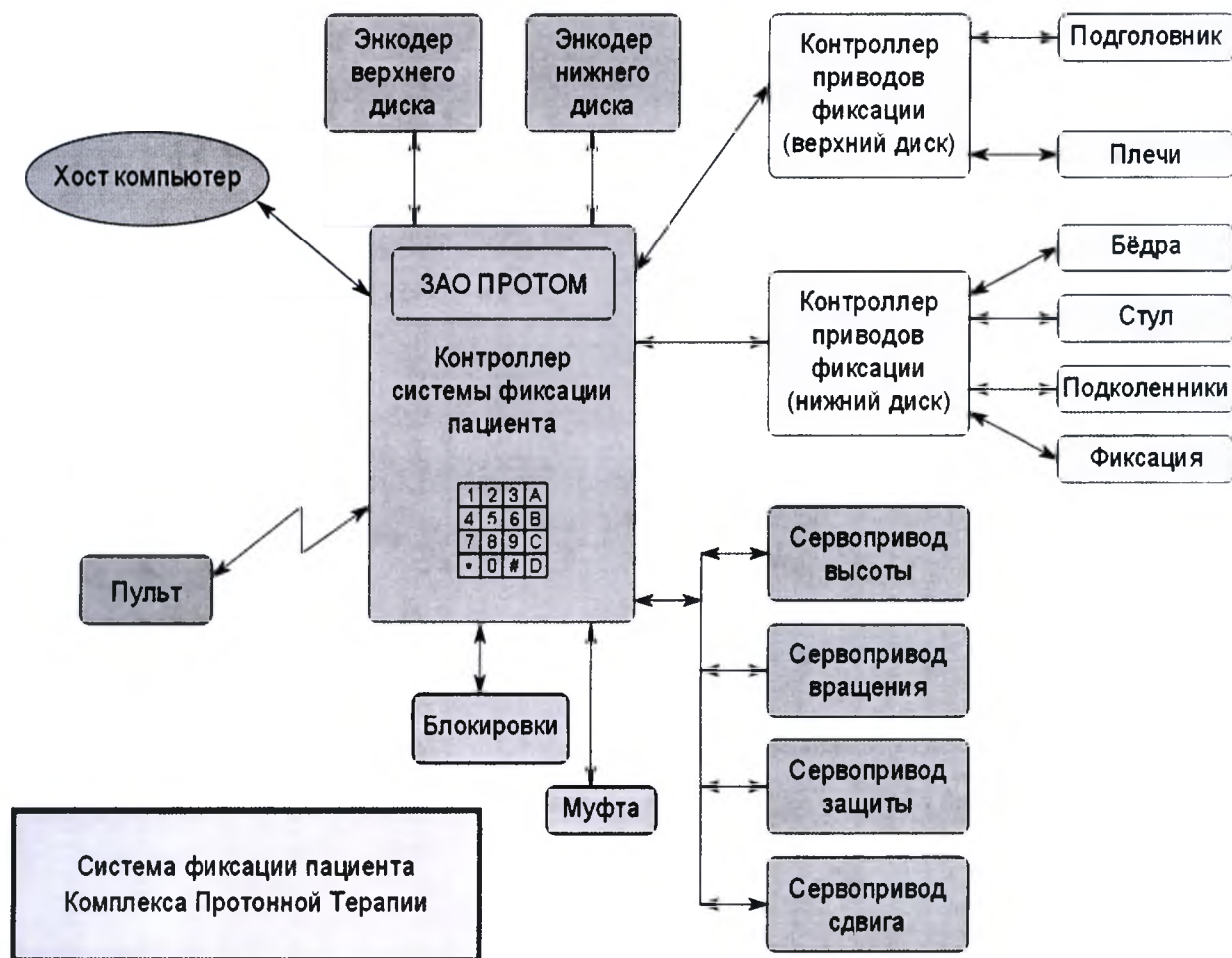


Рис. 3.17.2-1

Система состоит из основного контроллера с программой управления сервоприводами:

- высоты;
- вращения;
- защитного экрана детектора;
- поперечного перемещения.

Коммуникация осуществляется по кабелям с использованием интерфейса RS-485.

Фотографическое изображение контроллера представлено на рис. 3.17.2-2.



Рис. 3.17.2-2

На нижнем и верхнем дисках (Рис. 3.17.2-3) установлены приводы фиксации и контроллеры управления, которые также соединены с основным контроллером системы фиксации кабелями с интерфейсом RS-485.



На нижнем диске находятся 4 привода:

- привод фиксации бёдер;
- привод изменения высоты стула;
- привод изменения высоты упоров подколенников;
- привод фиксации коленей пациента.

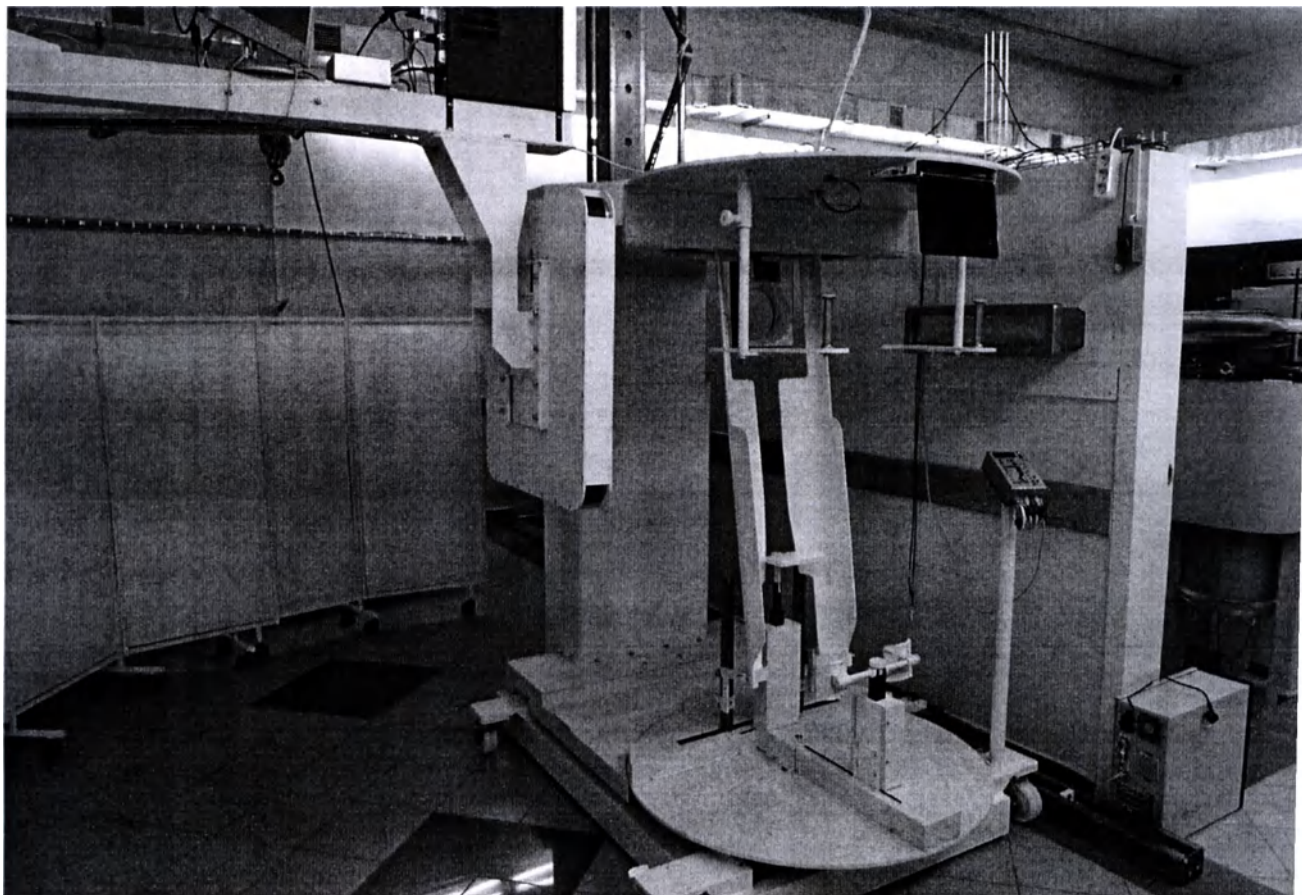


Рис. 3.17.2-3

На верхнем диске находятся 2 привода:

- привод упора головы пациента;
- привод фиксации плеч.

Конструкция системы организована следующим образом. По вертикальной направляющей осуществляется перемещение синхронно вращающихся дисков, на которых расположены механизмы фиксации пациента. Каждый диск имеет систему приводов, дающую возможность совершать вращательные движения, движения параллельно и перпендикулярно оси пучка протонов. Вращение осуществляется на 360 градусов, что позволяет облучать злокачественные образования в любой точке организма равномерно, требуемой биологической дозой, при этом минимально



воздействуя на все здоровые ткани. Вращения и перемещения осуществляются с точностью до долей миллиметра. Взаимное положение дисков варьируется в зависимости от роста пациента. Возможность таких манипуляций с пациентом позволяет упростить систему выпуска пучка. На дисках предусмотрены механизмы фиксации пациента.

Фиксация колен. Механизм фиксации колен имеет возможность перемещаться в двух горизонтальных направлениях, как синхронно, так и независимо друг от друга, что дает возможность наиболее оптимально выставить положение нижних конечностей.

Фиксация туловища. Представляет собой совокупность механизмов, позволяющих осуществлять фиксацию тазобедренного и плечевого пояса пациента. Механизм фиксации плечевого пояса – это конструкция в виде ложемент, состоящего из нескольких частей. Взаимное перемещение частей ложемент как по вертикали, так и по горизонтали позволяет фиксировать пациента с любыми физическими данными. Фиксацию тазобедренного сустава осуществляет механизм заднего упора. Наличие вертикального и горизонтального движения также позволяет оптимизировать позицию тела пациента в стоячем положении.

Фиксация рук. Данный механизм предназначен для пространственного ориентирования верхних конечностей. Наличие вертикального движения и горизонтального перемещения в двух направлениях предоставляет возможность зафиксировать руку абсолютно в любом положении.

Фиксация головы. Данный механизм фиксирует голову пациента в строго вертикальном положении. Весь механизм иммобилизации и позиционирования, как единая конструкция, имеет возможность свободного перемещения по помещению, тем самым значительно облегчает процесс транспортировки, сборки и настройки. Все механизмы можно монтировать и вне процедурной комнаты.

Наличие горизонтальных направляющих и приводов дает возможность в автоматическом режиме осуществлять перемещение всей конструкции перпендикулярно оси пучка в пределах 2 м.



Рис. 3.17.2-5 – Система позиционирования пациента сидя

Наличие механизмов фиксации головы, плечевого пояса, таза, верхних и нижних конечностей позволяет позиционировать пациента аналогично предыдущему варианту с той же точностью.

Управление сервоприводами и приводами фиксации ведётся с беспроводного пульта (интерфейс Bluetooth) через основной контроллер системы фиксации и контроллеры



приводов фиксации, установленные на нижнем и верхнем дисках. При помощи кнопок, расположенных на основном контроллере системы фиксации, также можно управлять всеми приводами и настройками системы посредством меню.

На беспроводном пульте управления (Рис. 3.17.2-6) все кнопки подписаны согласно их назначению.

Кнопка «Рост +» вызывает увеличение расстояния между нижним и верхним дисками, а «Рост –» соответственно уменьшение. Для вращения пациента кнопками «Вращение +» и «Вращение –» стул должен быть приподнят над упором на 10...20 см нажатием на кнопку «Высота +». В нижнем положении стул находится на упоре и вращение заблокировано. Кнопка «Голова +» придвигает подголовник к голове пациента, а кнопка «Голова –» - отодвигает его от головы. Кнопка «Плечи +» увеличивает расстояние между упорами, а «Плечи –» - уменьшает. Кнопка «Бёдра +» увеличивает расстояние между упорами, а «Бёдра –» - уменьшает. Кнопка «Высота +» увеличивает высоту подъёма пациента, а кнопка «Высота –» - уменьшает. Кнопками «Колени +» и «Колени –», расположенными вертикально, изменяют высоту упоров подколенников.



Рис. 3.17.2-6

Кнопками «Колени +» и «Колени –», расположенными горизонтально, осуществляется разблокирование и фиксация пациента соответственно.

Беспроводной пульт управления системой фиксации имеет 3 индикатора (в правом верхнем углу).

Расположенный справа индикатор зелёного цвета показывает активность пульта.

Индикатор жёлтого цвета, расположенный по центру, указывает на необходимость зарядить аккумуляторную батарею.

Индикатор синего цвета, расположенный слева, указывает на установление связи по интерфейсу Bluetooth с основным контроллером системы фиксации.

При нажатии кнопки «Сохранить» происходит запись установленных параметров системы фиксации в базу данных. При последующем посещении пациента по команде оператора стул приводится в положение, соответствующее запомненным параметрам.

3.17.3. Описание системы фиксации и перемещения пациента со столом терапевтическим

Блок-схема системы фиксации и перемещения представлена на Рис. 3.17.3-1

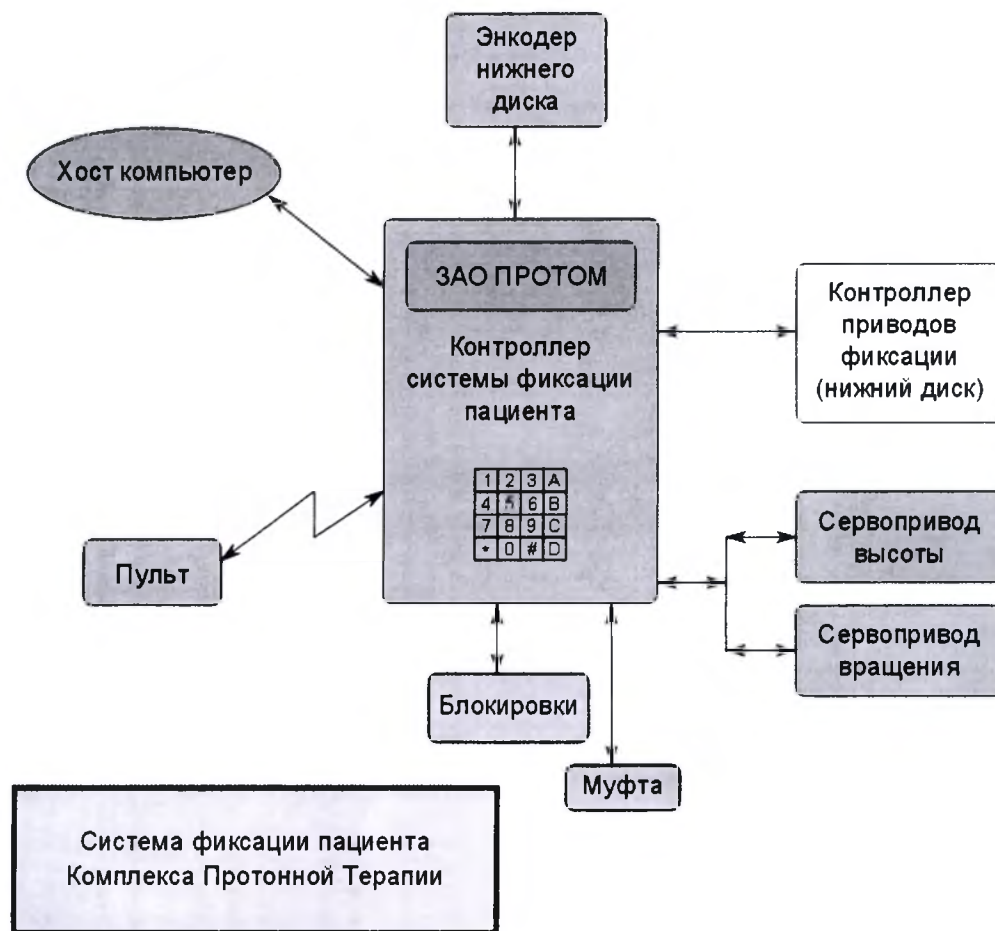


Рис. 3.17.3-1

Система состоит из основного контроллера (Рис. 3.17.2-2) с программой управления сервоприводами:

- высоты;
- вращения в горизонтальной плоскости.

Коммуникация осуществляется по кабелям с использованием интерфейса RS-485.

На нижнем диске (Рис. 3.17.2-3) установлены ложемент и контроллеры управления, которые также соединены с основным контроллером системы фиксации кабелями с интерфейсом RS-485.

На нижнем диске находятся два привода:

- привод изменения высоты стола;
- привод поворота стола вокруг вертикальной оси.

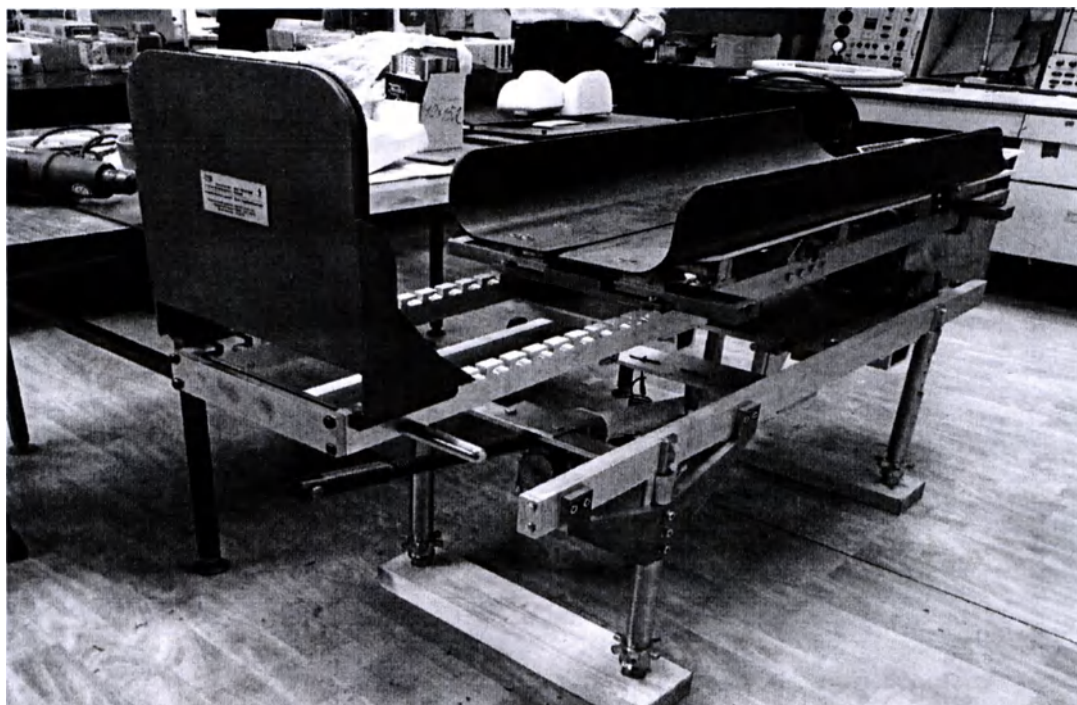


Рис. 3.17.3-2

Управление сервоприводами ведётся с беспроводного пульта (интерфейс Bluetooth) через основной контроллер системы фиксации и контроллеры приводов, установленные на нижнем диске. При помощи кнопок, расположенных на основном контроллере системы фиксации, также можно управлять всеми приводами и настройками системы посредством меню.

На беспроводном пульте управления (Рис. 3.17.2-5) все кнопки подписаны согласно их назначению.

Беспроводной пульт управления системой фиксации имеет 3 индикатора (в правом верхнем углу).

Расположенный справа индикатор зелёного цвета показывает активность пульта.

Индикатор жёлтого цвета, расположенный по центру, указывает на необходимость зарядить аккумуляторную батарею.

Индикатор синего цвета, расположенный слева, указывает на установление связи по интерфейсу Bluetooth с основным контроллером системы фиксации.

При нажатии кнопки «Сохранить» происходит запись установленных параметров системы фиксации в базу данных. При последующем посещении пациента по команде оператора стул приводится в положение, соответствующее запомненным параметрам.



3.18. Система визуализации облучения пациента

3.18.1. Общее описание

Система визуализации пациента обеспечивает правильный выбор режима облучения пациента. Эта система многофункциональна и включает в себя следующие компоненты:

- малодозная рентгеновская трубка для рентгенографии пациента;
- экран и высокочувствительная цифровая видеокамера для контроля координат пучка, облучающего пациента;
- пакет программ для работы с изображениями, полученными в результате рентгенографии больного органа, с целью обрисовки областей, представляющих интерес с точки зрения процесса лечения;
- пакет программ, осуществляющих физическое моделирование геометрических параметров радиационного поля комплекса для правильного выбора режима облучения пациента.

Порядок работы с ПО системы визуализации облучения пациента описан в п. 4.4.

3.18.2. Работа с рентгеновской установкой

3.18.2.1. Описание рентгеновской установки

Рентгеновская установка облучения пациента представлена малодозной рентгеновской трубкой и цифровой рентгеновской панелью (детектором). С их помощью производится съёмка рентгенограмм с последующим процессом их восстановления в объемное изображение для последующего планирования облучения. Реализован режим снятия отдельных рентгенограмм, что может быть использовано для проведения верификации положения пациента перед началом лечения. Возможно снятие набора рентгенограмм в режиме «Дыхание», для анализа движения органов пациента при дыхании.

3.18.2.2. Порядок включения малодозной рентгеновской трубки

Для работы рентгеновской трубки необходимо в стойке питания трубки:

- включить блок ультразвукового генератора (УЗГ) Рис. 3.18.2.2-1 (позиция 1);
- включить блок питания линз Рис. 3.18.2.2-1 (позиция 2);
- включить питание блока управляющей электроники Рис. 3.18.2.2-1 (позиция 3);
- проверить, что блок УЗГ и блок питания линз (Рис. 3.18.2.2-1, позиции 4–5) включены в режим дистанционного управления;
- включить блок питания цифровой рентгеновской панели (Рис. 3.18.2.2-2, позиция 1);

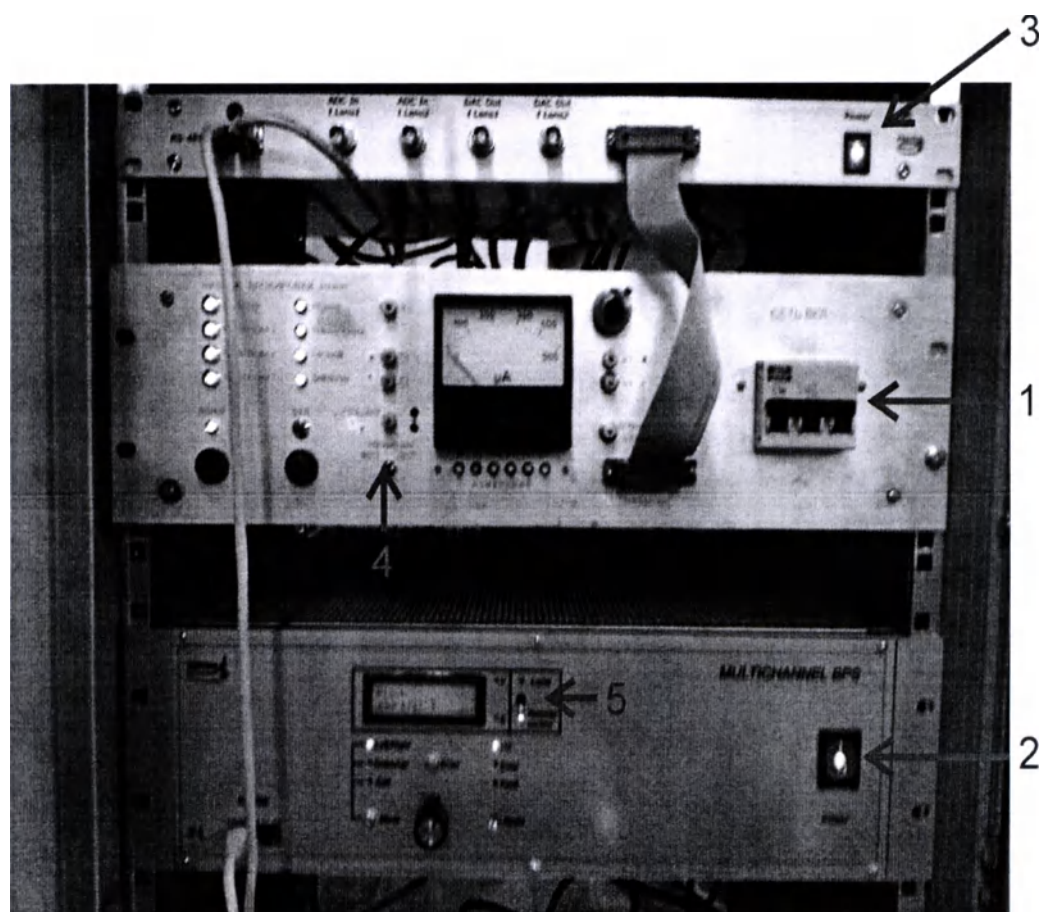


Рис. 3.18.2.2-1. Стойка питания малодозной рентгеновской трубки



Рис. 3.18.2.2-2. Блок питания цифровой рентгеновской панели



– проверить, что давление изолирующего газа в баке рентгеновской трубки не менее 3 атмосфер (Рис. 3.18.2.2-3)

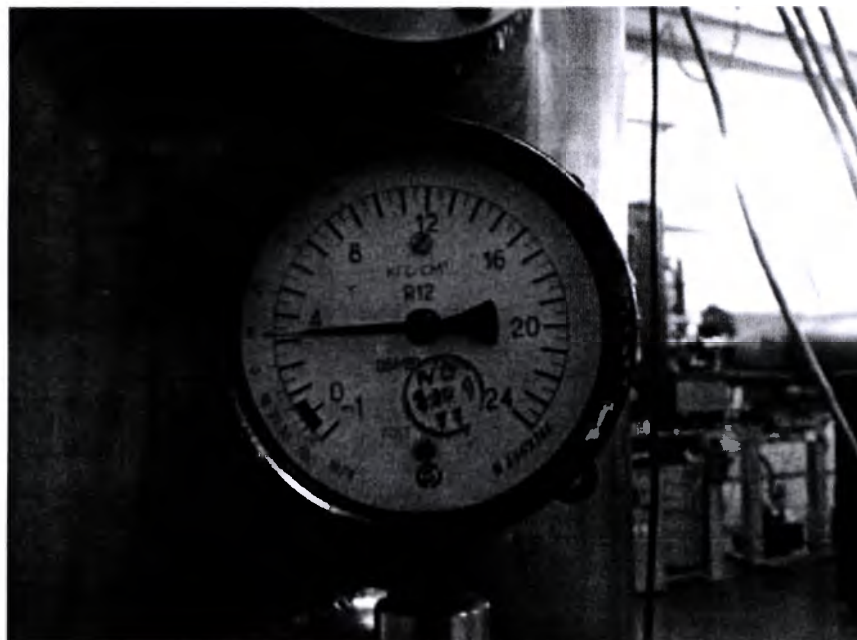


Рис. 3.18.2.2-3. Манометр на баке рентгеновской трубки

– проверить, что на компьютере видеосервера (в зале, Рис. 3.18.2.2-4) запущена серверная программа управления рентгеновской трубкой (Рис. 3.18.2.2-5).

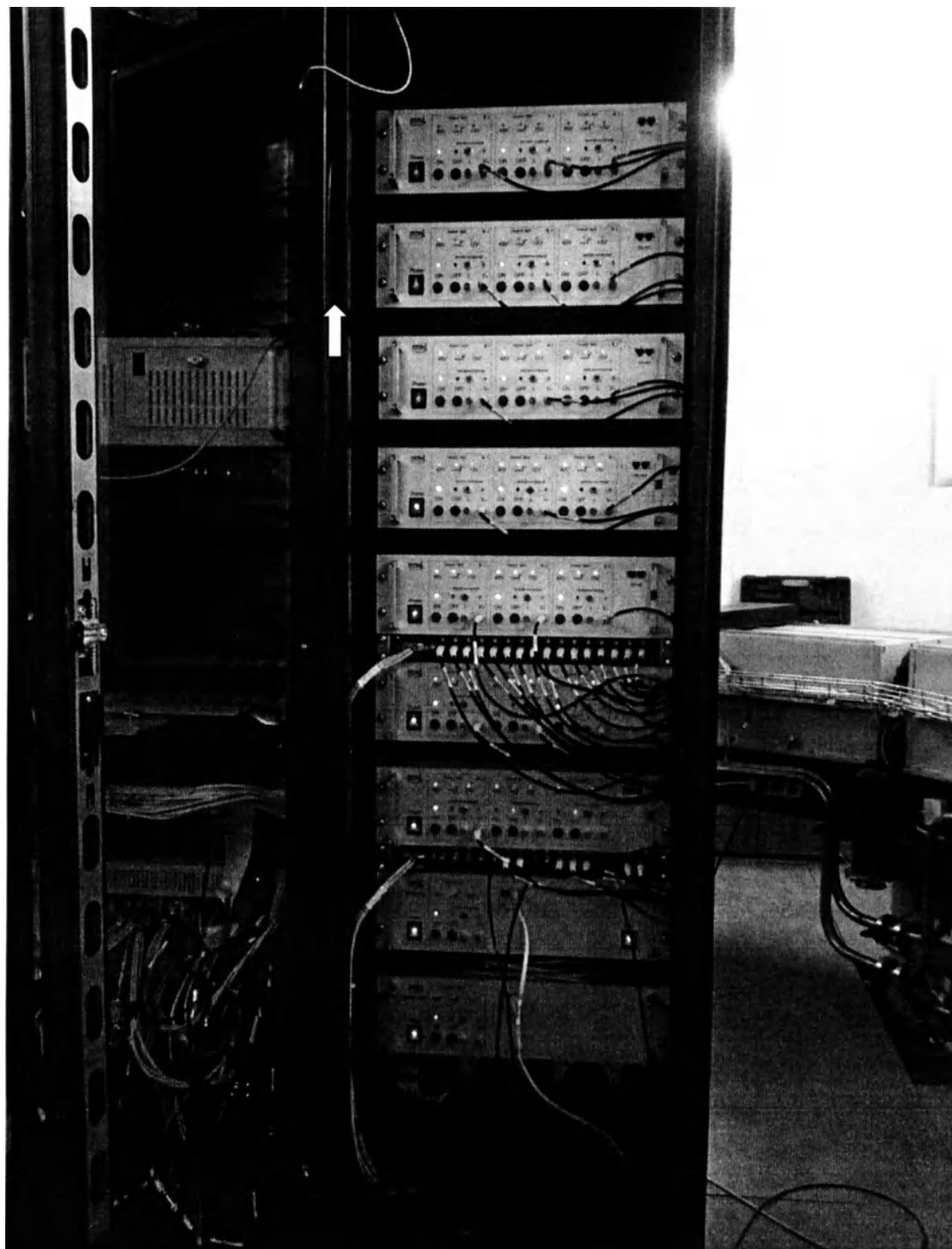


Рис. 3.18.2.2-4 Центральная стойка с компьютером видеосервера



XRay Srv

Blocking

- Hardware Error
- Hardware block
- Client block
- Дверь (по HV)
- Проток воды

Lense Device

- power stage driver OFF
- t normal
- Error present

E Device STS

- Start Strobe Mode
- On State Device
- Start Strobe Present
- Synchro Mode ADC
- Error Present

E Device DI

- Давление
- I_hv
- Перегрузка 3
- Перегрузка 2
- Перегрузка 1
- устройство выкл
- AUX1
- AUX2
- AUX3
- Проток воды
- Внешнее управление
- Перегрев
- ДВЕРЬ
- Пробой

ADC

CH	Value	Label
CH0	0.00	U_hv
CH1	0.00	U_heat
CH2	0.00	U_grid
CH3	0.00	I_hv
CH4	0.00	I_heat
CH5	0.00	I_grid
CH6	0.00	I_tube
CH7	0.00	U_tube
CH8	2.08	I_vac
CH9	4.89	I_lens_2
CH10	0.00	I_lens_1

DAC

CH	Value	Label
CH11	0	U1_tube
CH12	0	U2_heat
CH13	0	U3_grid
CH14	0	F1_tube
CH15	0	F2_heat
CH16	0	F3_grid
CH17	0	I_lens2
CH18	0	I_lens1

Shot Mode

- Вкл.
- Прогрев
- Готов
- Старт подсветки
- Подсветка
- Подсветка (шадающий режим)
- Дежурный
- Выключен

Connected Clients

устройство отключено
TCPServer started
LDevice config: MASTER-D-2_07.08 + MASTER_V3
LDevice info: BPS3A8 v2.0 Nov 5 2010
EDevice config: PCB: SOPRIAG_RENTGEN_09.09 + MASTER_V3, DAC8560
EDevice info: XRAYC v1.1 Jan 4 2011

Trace (Off)

Рис. 3.18.2.2-5. Окно серверной программы управления рентгеновской трубкой

3.18.2.3. Программа управления малодозной рентгеновской трубкой

На АРМе «СФПП + Рентген» (см п. 3.11) должна быть запущена консольная программа управления рентгеновской трубкой (Рис. 3.18.2.3-1).

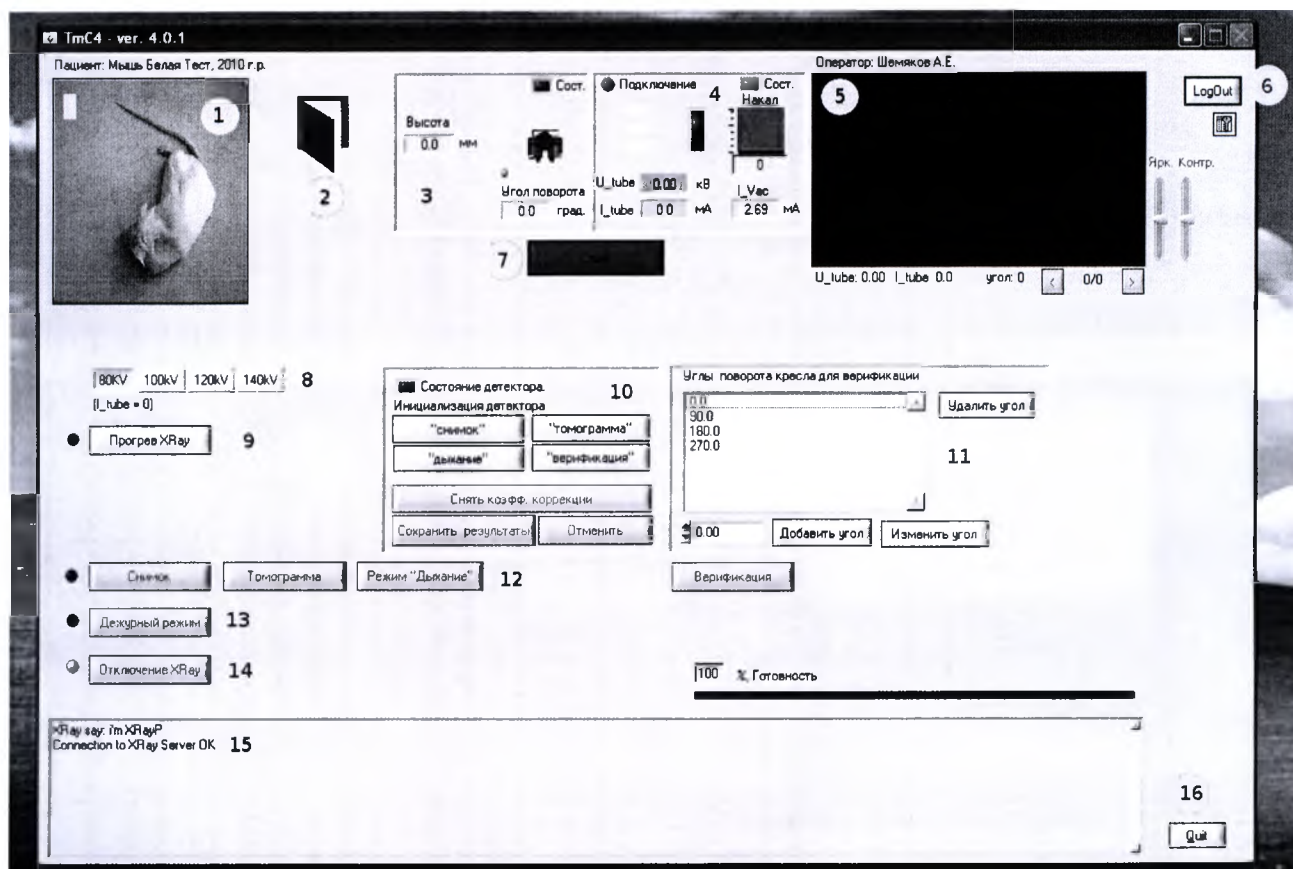


Рис. 3.18.2.3-1. Окно консольной программы управления рентгеновской трубкой

При запуске программа запросит имя оператора (Рис. 3.18.2.3-2). В выпадающем меню пользователь выбирает себя и подтверждает выбор известным только ему паролем.

После правильного входа программа будет готова к работе с возможностями, разрешенными этому оператору. Для смены оператора необходимо нажать кнопку “Logout” (Рис. 3.18.2.3-1, поле 6).

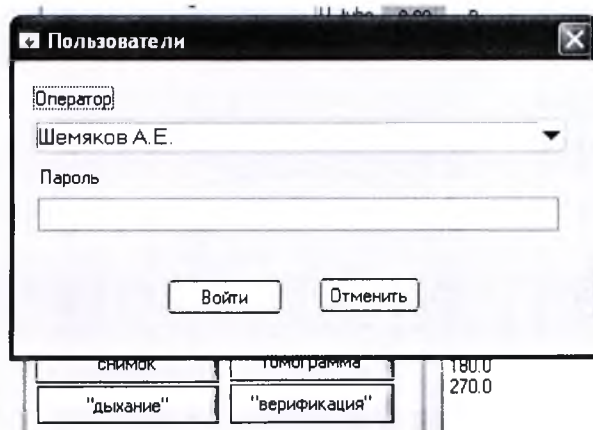


Рис. 3.18.2.3-2



пациента (Рис. 3.18.2.3-1, поле 3) и системы сервера управления рентгеновской трубки (Рис. 3.18.2.3-1, поле 4). Также не должно быть текстовых диагностических сообщений, выделенных красным цветом, как например, на Рис. 3.18.2.3-3. При дальнейшей работе необходимо ВСЕГДА обращать внимание на сообщения, появляющиеся в этом поле. Также все диагностические сообщения выводятся в текстовое окно (Рис. 3.18.2.3-1, поле 15). Все эти сообщения записываются программой в отдельный файл.

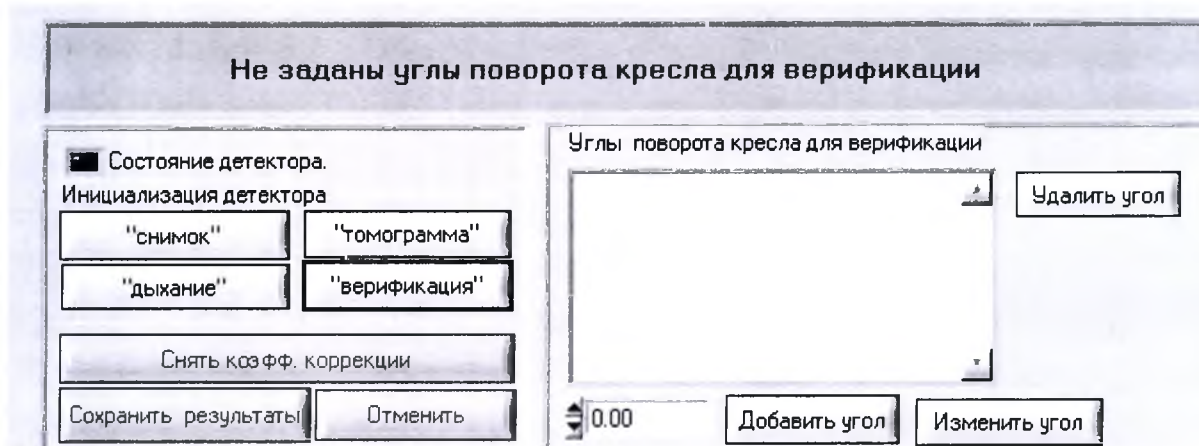


Рис. 3.18.2.3-3

ВНИМАНИЕ. При работе с рентгеновской трубкой во всех режимах для **немедленного** отключения рентгеновского излучения и **остановки** движения системы фиксации пациента необходимо нажать кнопку «Стоп» (Рис. 3.18.2.3-1, поле 7).

Далее необходимо выбрать один из четырёх фиксированных режимов работы рентгеновской трубки (анодное напряжение 80кВ, 100кВ, 120кВ или 140кВ), (Рис. 3.18.2.3-1, поле 8) и затем включить прогрев (Рис. 3.18.2.3-1, поле 9). Процесс прогрева отражается миганием индикатора в этом поле и индикатором в поле 4, по окончании прогрева индикатор станет зелёным. После окончания прогрева трубка готова к работе.

Если в ближайшее время не планируется производить включение рентгеновского излучения, то для увеличения срока службы трубки, необходимо перевести питание в дежурный режим (Рис. 3.18.2.3-1, поле 13). За несколько минут до начала работы с рентгеновским излучением необходимо повторно включить прогрев.

Выключение питания рентгеновской трубки производится нажатием кнопки «Отключение XRay» (Рис. 3.18.2.3-1, поле 14).

Для выключения консольной программы управления рентгеновской трубкой необходимо нажать кнопку «Quit» (Рис. 3.18.2.3-1, поле 16).



3.19. Информационная система. Взаимосвязь программных модулей

Отдельные программные модули, реализующие конкретные стадии лечебно-диагностического процесса, объединены в единый аппаратно-программный комплекс, позволяющий специалистам на своих рабочих местах иметь доступ к необходимой информации и возможность управлять процессом лечения.

Основой Автоматизированной Системы Управления комплексом является единое информационное пространство, где вся нужная информация накапливается в единой базе данных и доступна через автоматизированные рабочие места (АРМы).

Связующим звеном для всех АРМов является общая база данных (Рис 3.19-1).

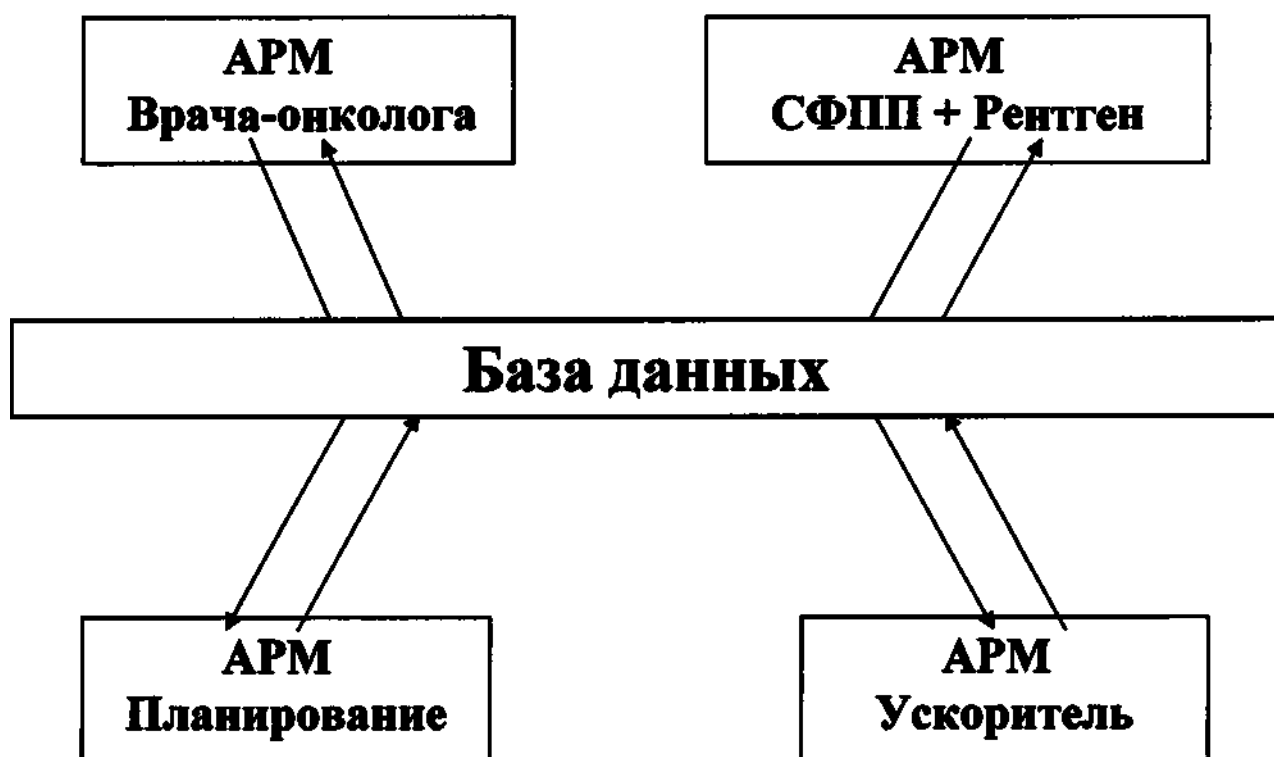


Рис 3.19-1

Передача данных между программными модулями ведется по протоколу TCP (*Transmission Control Protocol*). Он обеспечивает надежную транспортировку данных между прикладными процессами.



4. Лечение пациента

4.1. Регистрация пациента

Первичная регистрация пациентов и дальнейшее ведение электронной истории болезни пациентов осуществляется в программном модуле «Автоматизированная история болезни» (описание всех возможностей программы – в руководстве оператора). Главное окно программы представлено на Рис. 4.1-1.

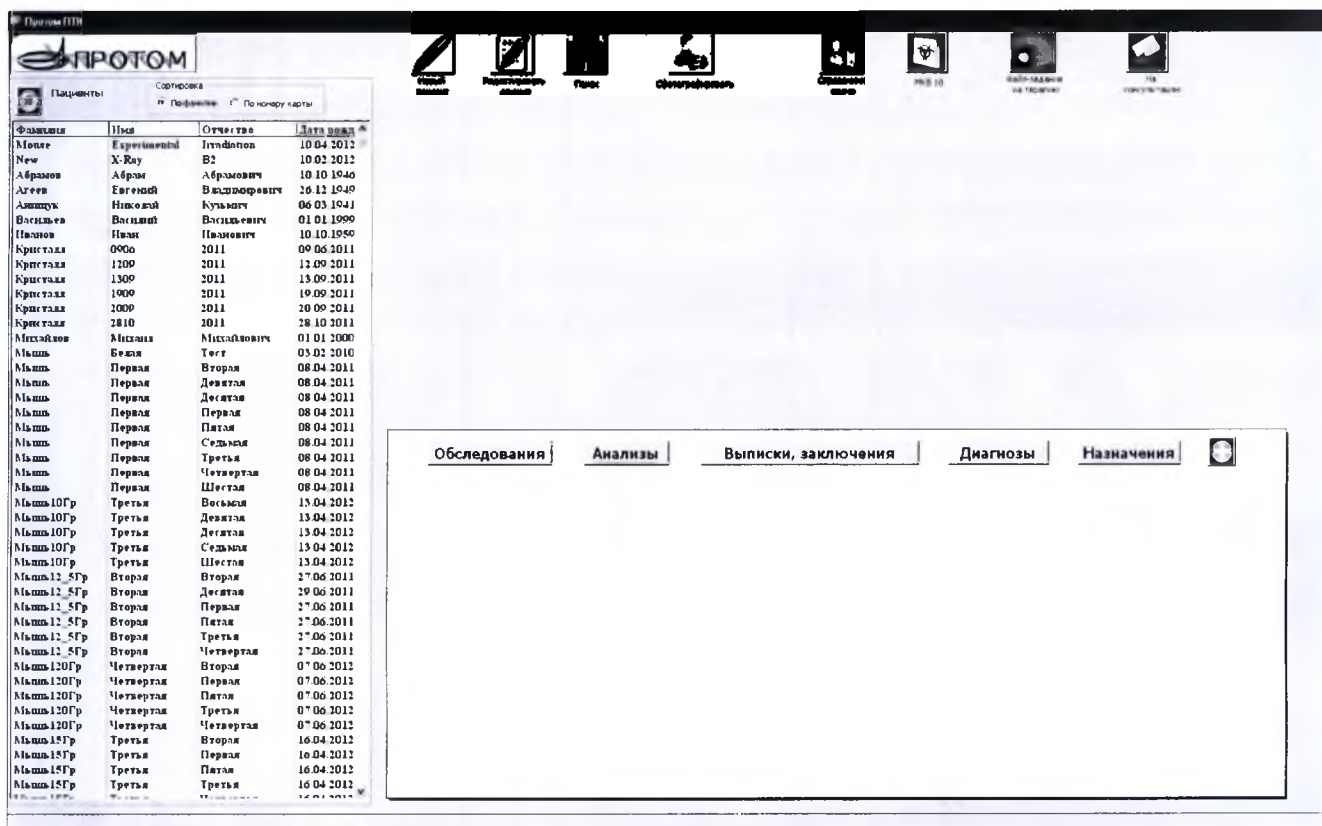


Рис. 4.1-1

Основные режимы работы программы отображены на ярлычках с подписями, расположенных в верхней части экрана (Рис. 4.1-2):

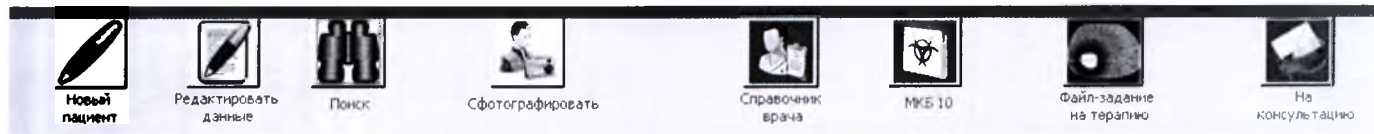


Рис. 4.1-2

Кроме режима регистрации нового пациента, реализованы режимы корректировки данных о пациенте, быстрого поиска, фотографирования пациента для однозначной его идентификации, просмотра Справочника врача и Медицинского классификатора болезней, отправки информации по электронной почте для консультации с другими врачами, а также режим утверждения плана облучения.



В левой части экрана расположен список зарегистрированных пациентов.

В нижней части экрана расположено окно для отображения занесенных в базу данных результатов предыдущих диагностических исследований (анализов, рентгенограмм, томограмм, выписка из истории болезни)

Вся информация о пациенте становится доступна после выбора его фамилии из списка (Рис. 4.1-3)

ПРОТОМ

Пациенты Сортировка По фамилии По номеру карты

Фамилия	Имя	Отчество	Дата рожд.
Mouse	Experimental	Итадийон	10.04.2012
New	X-Ray	B2	10.02.2012
Абрамов	Абрам	Абрамович	10.10.1946
Агеев	Евгений	Владимирович	26.12.1949
Аншук	Николай	Кузьмич	06.03.1941
Васильев	Василий	Васильевич	01.01.1900

Иванов Иван Иванович

Номер карты

Дата регистрации

Дата рождения Лет Пол

Страховой полис

Телефоны

Адрес

Исследования **Анализы** **Выписки, заключения** **Диагнозы** **Назначения**

Наименование исследования	Дата исследования	Имя файла	Комментарий
МРТ	11.01.2010	Mozg.dcm	Магнитно-резонансная томография мозга
Рентген	19.01.2010	1110.dcm	Рентген легких
КТ	21.02.2010	Ivanov.bino	Компьютерная томография мозга
Томограмма из Обшина	17.08.2010	Ivanov.Tomo.ramca	Компьютерная томография легких

Рис. 4.1-3

4.2 Проведение сеансов лечения опухолей головы и шеи

4.2.1. Система контроля положения пациента

Система контроля положения пациента представляет собой аппаратно-программный комплекс для фиксации головы-шеи пациента перед рентгенографией, перед сеансом облучения, и контроля положения пациента во время облучения. Она также служит для двухсторонней видео- и аудиокommunikации между пациентом и лечащим врачом.

Система состоит из портативного ПК со встроенной видеокамерой и микрофоном (см. Рис. 4.2.1-1), который располагается напротив лица пациента непосредственно на стуле пациента. Видеоизображения и аудиосигналы с портативного ПК с помощью программы



PatientDisplay передаются по сети на АРМ «СФПП + Рентген» и отображаются в окне программы **DoctorDisplay**.

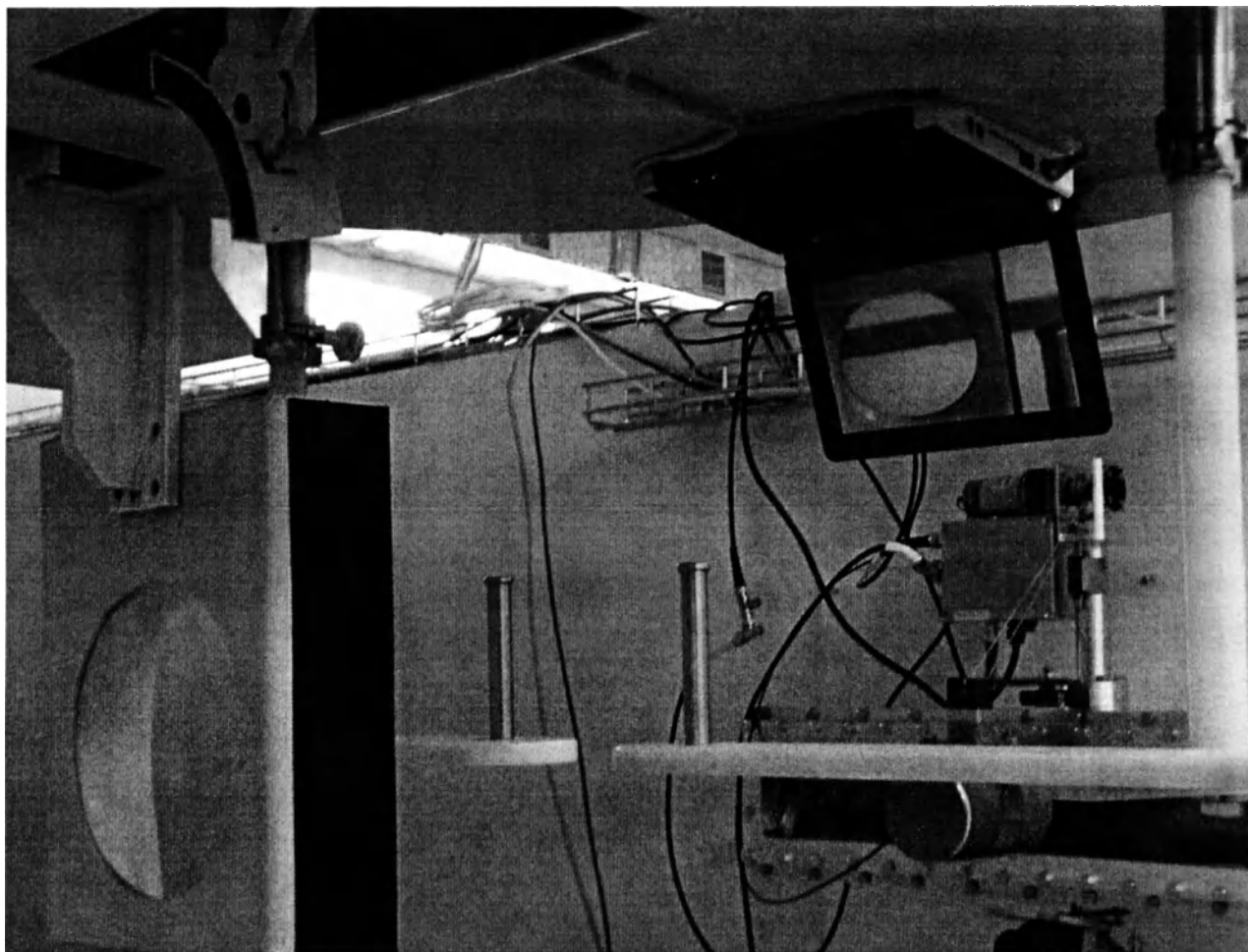


Рис. 4.2.1-1. Расположение портативного ПК на стуле пациента

Перед началом рентгенографии положение головы пациента запоминается в виде реперного изображения, которое сохраняется в базе данных. В интерфейсе программы **DoctorDisplay** для снятия реперного изображения необходимо нажать кнопку "Фиксировать" (см. Рис. 4.2-2). При любом нажатии этой кнопки создается новый реперный снимок, который заменяет старый. Для сохранения реперного изображения в базе данных необходимо нажать кнопку "Сохранить". При этом появляется диалог, который позволяет выбрать директорию и имя сохраняемого файла.

Перед сеансом облучения это изображение загружается из базы данных (кнопка "Загрузить изображение") и сравнивается с текущим видеопотоком, разница отображается красным цветом на экране портативного ПК и на консоли оператора АРМа «СФПП + Рентген» (см. Рис. 4.2.1-2). Необходимо так поправить положение пациента, чтобы



количество красного цвета на видеоизображении было минимально. Таким образом, система позволяет гарантировать идентичность положения пациента при планировании и во время облучения.



Рис. 4.2.1-2. Отображение разницы между реперным изображением и видеокадрами



4.2.2. Первичная фиксация пациента в стуле терапевтическом

Пациент усаживается в стул терапевтический (Рис. 4.2.2-1).

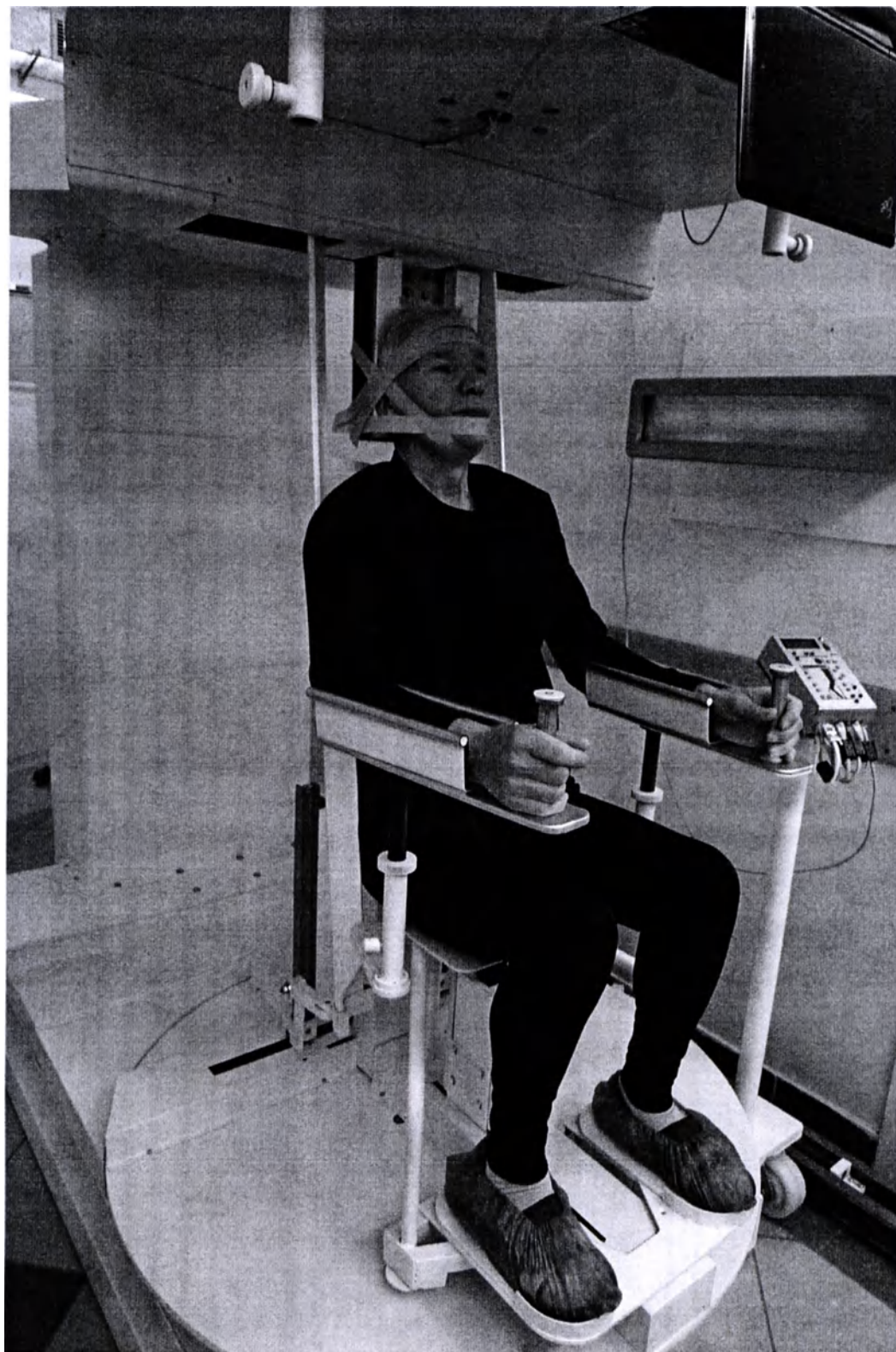


Рис. 4.2.2-1



С помощью пульта управления, описанного в п. 3.17.2, все системы стула приводятся в положение, необходимое для жесткой фиксации пациента. При нажатии на пульте кнопки «Сохранить» параметры данного положения стула записываются в базу данных. Напротив головы пациента расположены видеокамера и монитор, на котором пациент видит свое изображение в интерфейсе программы контроля положения пациента **PatientDisplay**. С помощью этой программы оператор делает снимок головы пациента в зафиксированном положении и сохраняет этот снимок в базе данных (описание программы см. в п. 4.2.).

Далее работает оператор рентгенографической системы (см. п. 4.4.1.), и полученное изображение опухоли передается в систему планирования облучения (п. 4.4.2., п. 4.4.3.).

4.2.3. Фиксация пациента при втором посещении и процедура верификации положения пациента

Принимая во внимание тот факт, что процесс облучения злокачественного образования составляет, как правило, несколько сеансов, предусмотрена функция запоминания положения пациента.

Положение тела запоминается в виде реперного изображения, которое сохраняется в базе данных. В интерфейсе программы DoctorDisplay для снятия реперного изображения необходимо нажать кнопку "Фиксировать". Все действия по точному позиционированию тела пациента аналогичны п. 1.2. Перед началом каждого следующего сеанса система выставляет все механизмы в предыдущее положение, анализирует положение опухоли относительно оси пучка протонов, а на мониторе перед пациентом появляется контур тела, соответствующий положению пациента при первом посещении, и текущее изображение тела пациента. (см. п. 1.2., описание программы контроля положения пациента). Незначительными смещениями пациент добивается полного совпадения текущего изображения с предыдущим контуром.

Далее выполняется процедура верификации положения пациента. Следует выбрать углы поворота системы фиксации пациента (п. 3.18.2.3, Рис. 3.18.2.3-1, поле 11), при которых необходимо сделать контрольные рентгеновские снимки, например, $0^{\circ} - 90^{\circ}$. Эти снимки сравниваются с рентгеновскими снимками предыдущего посещения, сделанными под такими же углами. Не сравнились – выполнять действия, описанные в п. 4.2.1.

4.3. Проведение сеансов лечения опухолей в остальных частях тела



4.3.1. Позиционирование пациента лежа

В случае если необходимо проведение сеанса протонотерапии при положении пациента лежа, используется стол терапевтический: на нижний диск устанавливается ложемент из легкого прочного материала. С помощью подъемных и вращательных механизмов пациент позиционируется под пучок протонов, находясь в горизонтальном положении.

Наличие механизма горизонтального перемещения всей системы как единой конструкции дает возможность найти оптимальное положение для облучения, тем самым, нет необходимости осуществлять вращение диска на 360 градусов. Также присутствуют системы фиксации головы, плечевого пояса, верхних и нижних конечностей.

Все механизмы иммобилизации и позиционирования пациента полностью автоматизированы, управление системой осуществляется с помощью компьютера одним оператором, что дает возможность одному человеку осуществлять процесс позиционирования нескольких пациентов.

4.4. Визуализация облучения пациента

4.4.1. Получение рентгенограмм и объемного изображения больного органа

Перед началом работы с системой визуализации пациента необходимо включить рентгеновскую трубку согласно описанию, изложенному в п. 3.18.2.2.

Далее необходимо:

- подготовить к работе цифровую рентгеновскую панель (детектор), в зависимости от необходимой дальнейшей работы выбрать режим «снимок», «томограмма», «дыхание», «верификация» Рис. 3.18.2.3-1 (поле 10). При готовности детектора индикатор состояния детектора станет зеленым;
- нажав на место для фотографии пациента Рис. 3.18.2.3-1 (поле 1) выбрать из появившегося списка необходимого пациента;
- нажать кнопку «Снять коэффициенты коррекции» Рис. 3.18.2.3-1 (поле 10), затем кнопку «Сохранить результаты». По окончании сохранения коэффициентов коррекции снова выбрать режим работы детектора;
- если выбран режим «верификация», то также необходимо выбрать углы поворота системы фиксации пациента Рис. 3.18.2.3-1 (поле 11), при которых необходимо сделать контрольные рентгеновские снимки;

– после размещения пациента в системе фиксации, убедиться, что двери закрыты и



есть разрешение на работу с излучением, Рис. 3.18.2.3-1 (поле 2), значок показывает закрытые двери;

– включить на выполнение заранее выбранный режим Рис. 3.18.2.3-1 (поле 12), выполнение режима будет отражаться индикатором. После окончания выполнения режима нажать кнопку «Сохранить результаты», и полученные данные для выбранного режима будут сохранены. Выполнение сохранения данных также будет отражаться индикатором.

4.4.2. Создание контуров зоны облучаемой опухоли, охранной зоны

4.4.2.1. Запуск программы оконтуривания

Для работы с полученными объемными изображениями опухоли – выявления областей, представляющих интерес с точки зрения процесса лечения и выделения их методом оконтуривания – предназначена программа **3ДТОМ**. Запуск программы осуществляется на АРМе «Планирование» из программного модуля “Планирование облучения”. Необходимо выбрать пациента из списка в левой верхней части экрана и нажать кнопку “Обрисовка контуров” (Рис. 4.4.2.1.-1).



Рис. 4.4.2.1-1



Далее в появившемся списке объемных изображений опухоли нужно выбрать то, с которым хотим работать (Рис. 4.4.2.1-2) и нажать кнопку “Первичная обрисовка”. Имеется также возможность загрузить ранее обрисованный контур для этого изображения и корректировать его (выбрать контур в предлагаемом списке и нажать кнопку “Обрисовка на основе ранее сформированного контура”).

301	Агеев	Степани	Владимирович	06.03.1941
233	Анищук	Николай	Кузьмич	06.03.1941
2	Васильев	Василий	Васильевич	01.01.1999
1	Иванов	Иван	Иванович	10.10.1959
232	Кристалл	2009	2011	20.09.2011
231	Кристалл	1909	2011	19.09.2011
230	Кристалл	1309	2011	13.09.2011
229	Кристалл	1209	2011	12.09.2011
235	Кристалл	2810	2011	28.10.2011
208	Кристалл	0906	2011	09.06.2011
4	Михайлов	Михаил	Михайлович	01.01.2000
206	Мышь	Первая	Четвертая	08.04.2011
207	Мышь	Первая	Шестая	08.04.2011
205	Мышь	Первая	Седьмая	08.04.2011
204	Мышь	Первая	Первая	08.04.2011
203	Мышь	Первая	Третья	08.04.2011
202	Мышь	Первая	Пятая	08.04.2011
201	Мышь	Первая	Десятая	08.04.2011
200	Мышь	Первая	Вторая	08.04.2011

Анищук Николай Кузьмич

06.03.1941 г.р

Диагноз: опухоль легкого

Первичная обрисовка

Выберите файл объемного изображения опухоли

Имя файла	Дата	Время	Комментарий
Anischuk.dat	13.09.2012	15:59:59	

Обрисовка на основе сформированного контура

Выберите файл контура для AnischukTom.dat

Имя файла	Дата	Время
cont02112011110445.cntr	02.11.2011	11:04:45
cont02112011110857.cntr	02.11.2011	11:08:57
cont13092012104859.cntr	13.09.2012	10:48:59

Рис. 4.4.2.1-2

Откроется главное окно программы оконтуривания.

4.4.2.2. Описание главного окна программы оконтуривания

Главное окно программы оконтуривания представлено на Рис. 4.4.2.2-1

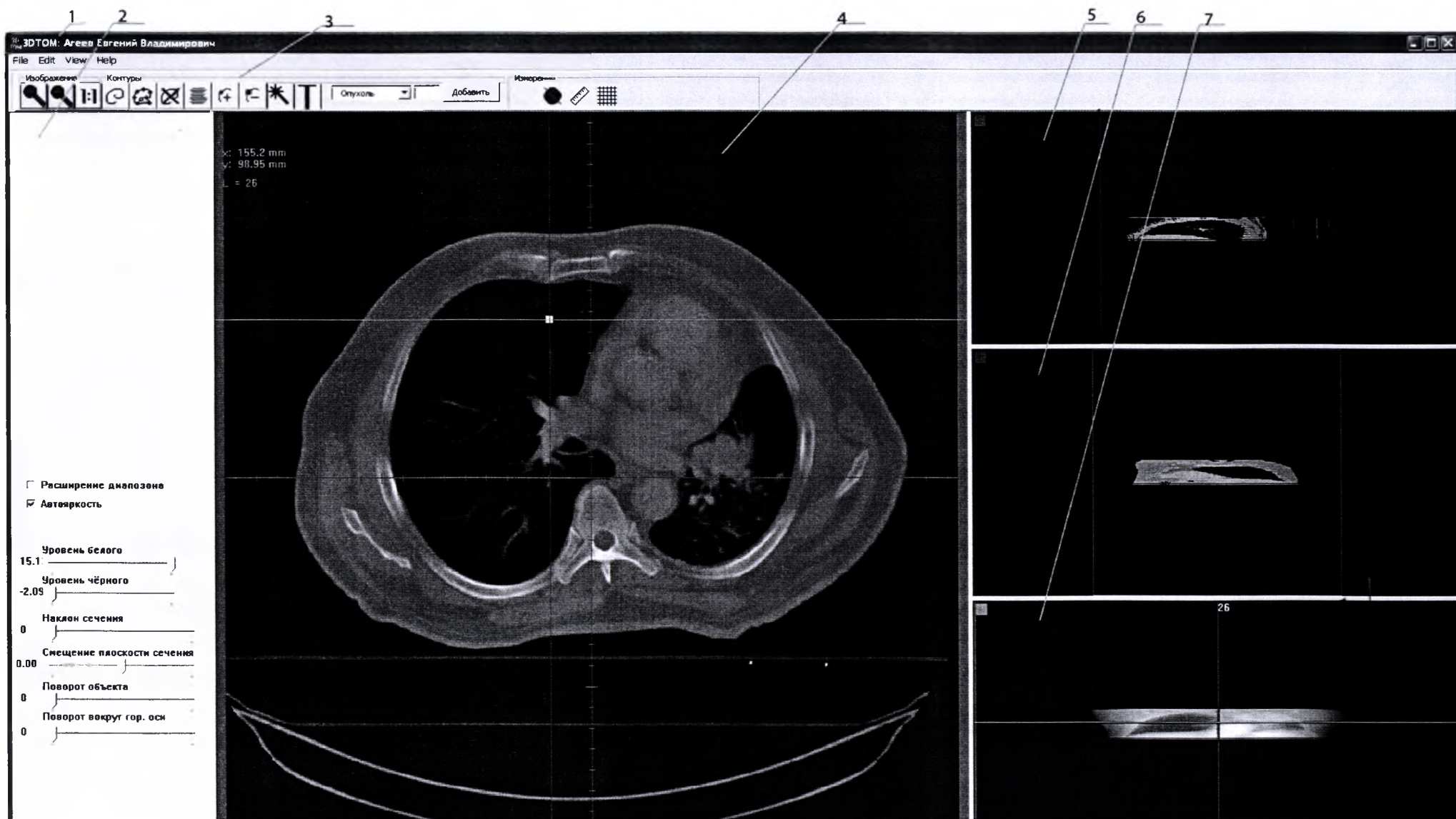


Рис. 4.4.2.2-1



Здесь цифрами показаны следующие интерфейсные компоненты:

1. Заголовок основного окна, содержащий название программы и фамилию, имя, отчество пациента, к которому относится загруженный файл изображения опухоли.
2. Рабочая область, отвечающая за манипуляции с плоскостью сечения изображения, а также содержащая настройки контрастности изображения.
3. Панель инструментов. Здесь расположены кнопки, задающие функциональные режимы работы с программой: масштабирование изображений, рисование контуров, их редактирование и т. п.

Подробное описание элементов панели инструментов приведено в п. 4.4.2.3.

4. В этом окне отображен срез объемного изображения опухоли, соответствующий местоположению плоскости сечения. В левом верхнем углу оранжевым цветом выведена информация о положении точки пересечения ортогональных линий сечения изображения (красная и зелёная линии) в миллиметрах относительно верхнего левого угла изображения. Фиолетовым цветом показан номер текущего среза относительно низа изображения.

5 и 6. В этих окнах отображаются срезы объемного изображения опухоли в плоскостях, ортогональных плоскостям сечения, показанным в окне основного среза «4» соответственно красной и зелёной линиями.

7. В этом окне отображаются проекции объекта, расположение плоскости сечения и проекции контуров.

4.4.2.3. Описание элементов и функций программы оконтуривания

1. Элементы панели инструментов

Панель инструментов (ПИ) программы имеет вид, представленный на Рис.4.4.2.3-1:



Рис.4.4.2.3-1

Элементы    обеспечивают масштабирование изображения (увеличение, уменьшение и возврат к исходному масштабу соответственно).

Нажатие кнопки  включает режим рисования контуров в окне изображения среза «4» (Рис. 4.4.2.2-1). Повторный щелчок отключает режим рисования. Также режим рисования контуров автоматически отключается после включения режима редактирования или режима удаления контуров.



Кнопка  включает и отключает (повторный щелчок) функцию редактирования контуров. Режим редактирования контуров автоматически отключается после включения режима рисования или режима удаления контуров.

Кнопка  включает и отключает функцию удаления контуров. Отключение данного режима происходит либо по повторному щелчку мыши либо автоматически после включения режима рисования или режима редактирования.

После щелчка левой кнопкой мыши по элементу  происходит автоматическое заполнение контурами слоёв-срезов изображения опухоли, находящихся между двумя ближайшими слоями, содержащими нарисованные контуры, в полном соответствии с типами этих нарисованных контуров. Повторный щелчок мышью убирает «автоконтур».

Кнопки  и  отвечают соответственно за возможности добавления и удаления точек разбиения контура в процессе редактирования. Следует подчеркнуть, что работать с этими элементами ПИ необходимо только при «нажатой» кнопке .

Кнопка  активизирует режим автоматического оконтуривания области, границы которой задаются диапазоном яркости точки, выбранной кликом левой кнопкой мыши по изображению среза.

Щелчок левой кнопки мыши по элементу  обеспечивает обработку оконтуренных областей изображения в соответствии с заданной пользователем плотностью для этих областей.

Часть панели инструментов  служит для выбора из раскрывающегося списка типовых областей для оконтуривания, таких как область опухоли, критической зоны, областей различных органов. А также для добавления в список пользовательских областей, которым необходимо задать определённую плотность.

Измерения    – измерительные функции. Включение первой кнопки реализует возможность просмотра графика плотности по отрезку на текущем слое-срезе изображения. Вторая кнопка активирует режим «линейки». Клик мышью по последней кнопке создаёт на изображении среза сетку с шагом 1 см (при 8-кратном увеличении с шагом 1 мм).



2. Основные функции программы оконтуривания изображений

А) Задание областей интереса с помощью контуров.

Процесс обрисовки контурами областей изображения опухоли, представляющих интерес с точки зрения планирования лечения пациента, происходит на изображении среза «4» (Рис. 4.4.2.2-1) после включения режима рисования контуров в соответствии с выбором типа области в меню выбора областей на панели инструментов. Держа левую кнопку мыши нажатой, необходимо вести курсор до замыкания контура. При приблизительном совпадении концов контур автоматически замыкается. Контур также можно рисовать с помощью последовательных отрезков (звеньев), задавая щелчком левой кнопки мыши точки соединения звеньев контура.



Рис. 4.4.2.3-2. Созданные контуры опухоли и охранных областей

Б) Редактирование областей интереса.

Редактирование контуров, задающих координатное расположение областей интереса, начинается с включения режима редактирования. Щелчком правой кнопки мыши внутри контура, который необходимо отредактировать, данный контур разбивается на так называемые точки редактирования (Рис. 4.4.2.3-3):

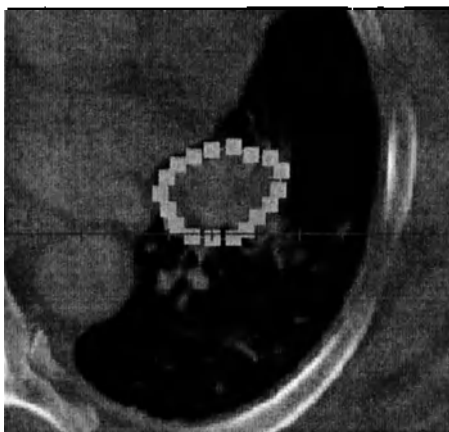


Рис. 4.4.2.3-3

Далее, нажимая левой кнопкой мыши по точкам редактирования и перемещая их, создаём новую конфигурацию контура (Рис. 4.4.2.3-4):

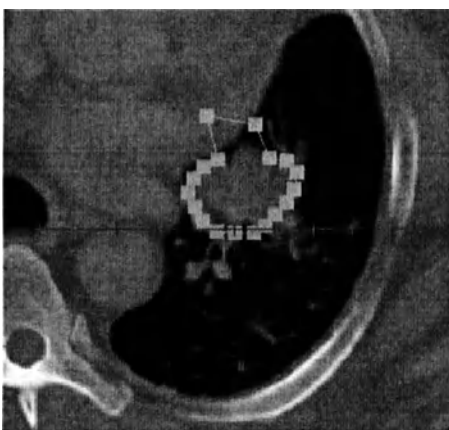


Рис. 4.4.2.3-4

Отключая режим редактора на панели инструментов, получаем отредактированный контур (Рис. 4.4.2.3-5):



Рис. 4.4.2.3-5

В) Удаление контуров.

Удаление контура происходит в режиме удаления контуров щелчком правой кнопкой мыши в область контура.



Г) Автоматическое заполнение областей контурами.

Автоматическое заполнение контурами слоёв, находящихся между слоями на которых есть контуры, проводится просто включением режима заполнения контуров. Проиллюстрируем это на изображении проекции «7» Рис. 4.4.2.2-1. Результат представлен на Рис. 4.4.2.3-6.

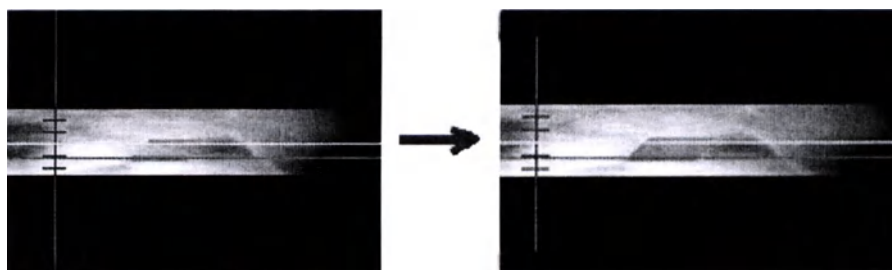


Рис. 4.4.2.3-6

Д) Добавление точек редактирования в контур и удаление их из контура.

Чтобы добавить точку редактирования в процессе отладки контура нужно произвести клик левой кнопкой мыши в место контура, куда хотите добавить новую точку. На Рис. 4.4.2.3-7 это место показано красным кружком:

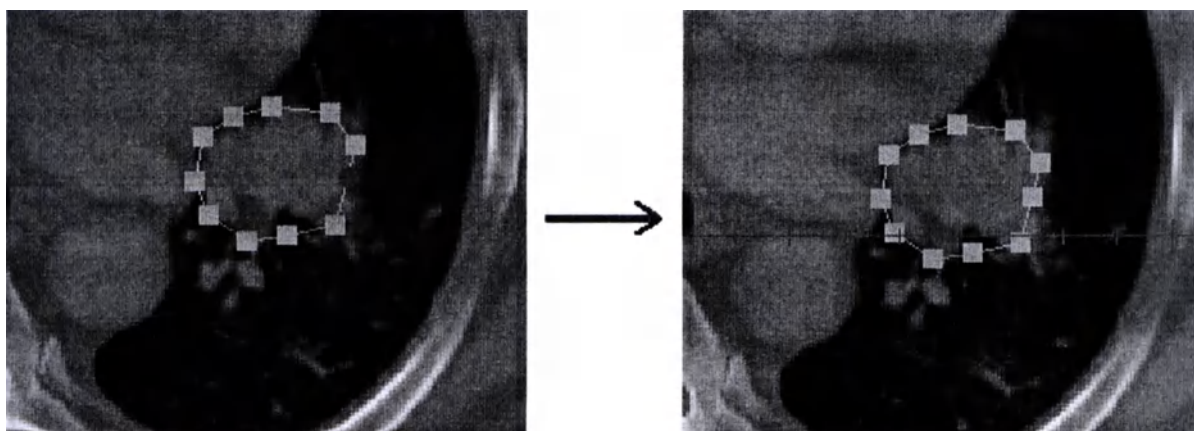


Рис. 4.4.2.3-7

После этого на контуре появится новая точка редактирования.

Удаление точек редактирования происходит аналогично с той лишь разницей, что теперь нужно щёлкнуть левой кнопкой мыши по удаляемой точке. В результате она исчезнет из контура.

Е) Автоматическое оконтуривание

В режиме автоматического оконтуривания установить курсор мыши в точку области (красный крестик на Рис. 4.4.2.3-8) с определённым диапазоном плотности. Щелчок левой кнопкой мыши в данной точке позволяет произвести автоматическое создание контура области (см. Рис. 4.4.2.3-8).

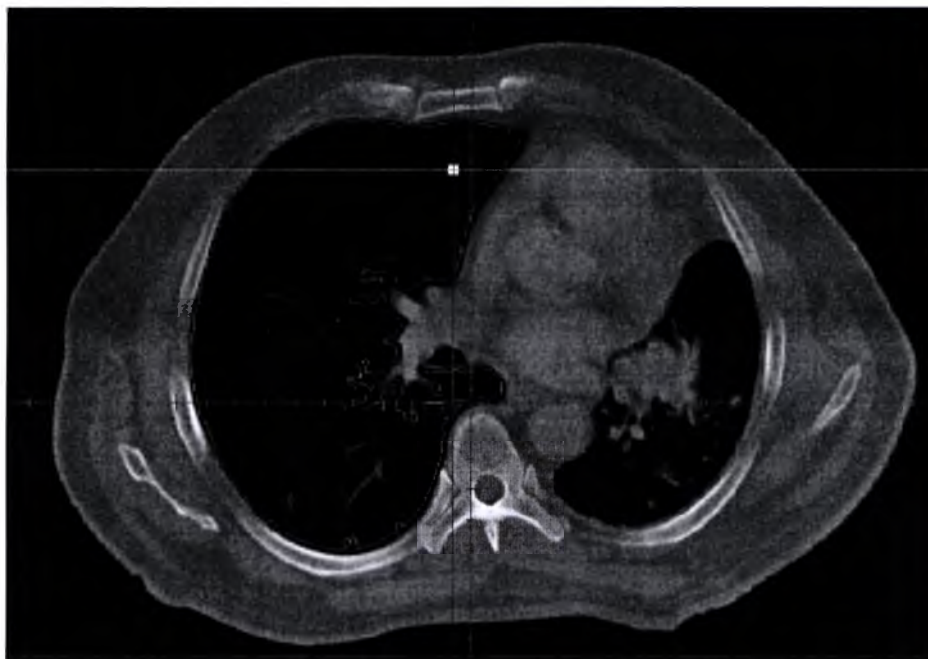


Рис. 4.4.2.3-8

! В процессе работы с контурами текущую информацию о контурах можно сохранить в базу данных с помощью меню «Файлы -> Сохранить в БД -> Контур».

Ж) Измерительные функции.

- *График распределения плотности по вектору между двумя точками.*

Программа даёт возможность посмотреть как распределяется плотность опухоли между двумя точками на текущем срезе. При нажатой кнопке , щёлкая последовательно левой кнопкой мыши в две точки на изображении (при этом на срезе отображается зелёная линия), получаем график распределения плотности по вектору (Рис. 4.4.2.3-9)

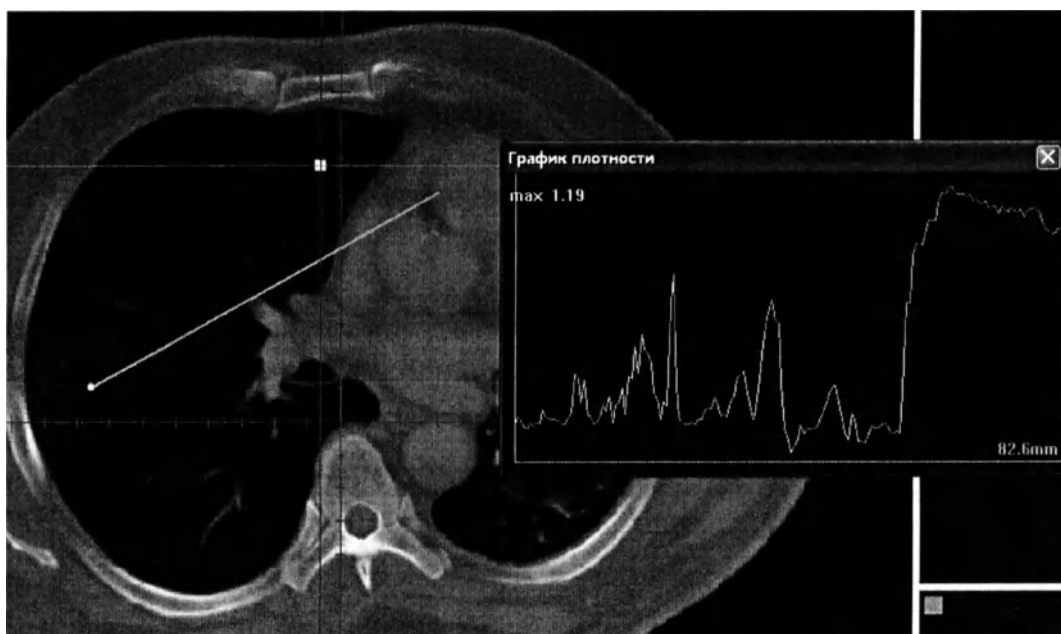


Рис. 4.4.2.3-9

Красная линия в окне графика показывает максимальное значение плотности по вектору (в данном случае оно равно 1.19), нижняя линия – «нуль», и в нижнем правом углу отображается длина «зелёного» вектора в миллиметрах.

- **«Линейка».**

Инструмент «линейка» позволяет измерить расстояние между точками на срезе в миллиметрах применительно к реальному предмету, отображённому на изображении опухоли. Отмечая с помощью нажатия левой кнопкой мыши две точки на срезе, расстояние между которыми нужно измерить, получаем, аналогичный предыдущему случаю, «зелёный» отрезок и его длину в мм. (Рис. 4.4.2.3-10).



Рис. 4.4.2.3-10



3) Наложение изображений.

В программе имеется возможность накладывать изображение среза сторонней томограммы на срез текущего изображения опухоли для их совмещения. Загрузка накладываемой томограммы осуществляется в меню по схеме: Файлы -> Открыть DICOM -> С наложением. В появившемся окне открывается файл сторонней томограммы. Чтобы визуализировать накладываемое изображение, на экране необходимо в меню программы выбрать: Правка -> Наложенное изображение. В появившемся окне (Рис. 4.4.2.3-11)

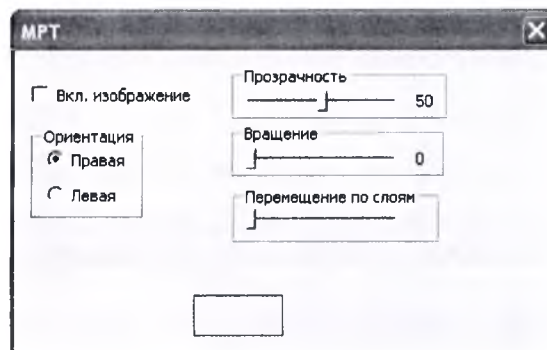


Рис. 4.4.2.3-11

поставить галочку в элемент управления «Вкл. изображение». Остальные элементы окна в соответствии со своим названием служат для управления данным изображением.

Операция «включения» показана на Рис. 4.4.2.3-12. Наложенное изображение среза выделено красной пунктирной линией. Изменение его размера проводится перемещением мыши в области изображения при нажатой правой кнопке, перемещение самого изображения по экрану – перемещением мыши при нажатой левой кнопке.

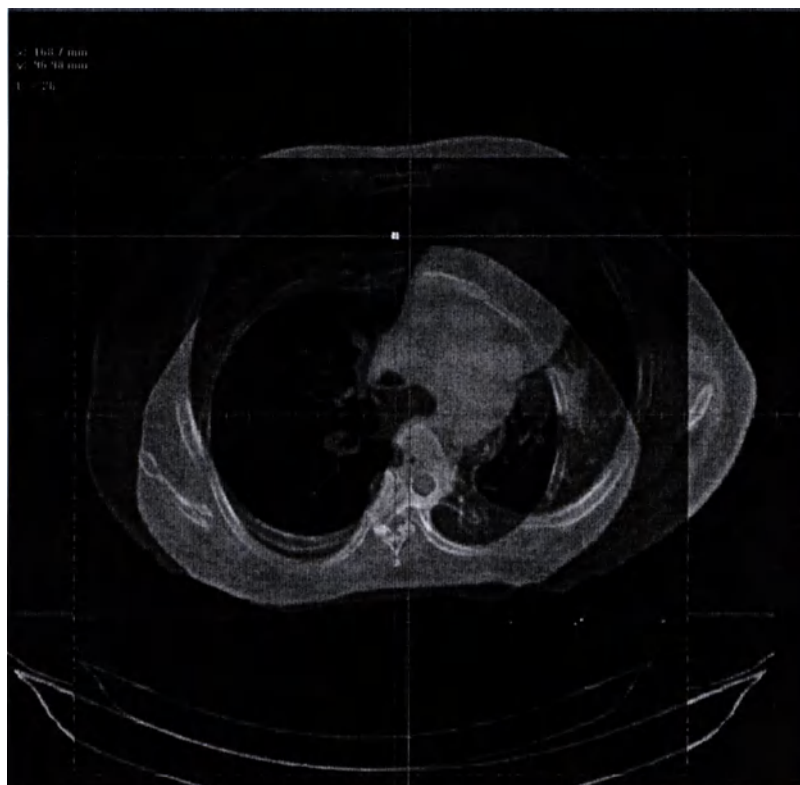


Рис. 4.4.2.3-12

4.4.2.4. Задание доз для областей оконтуривания

Дозы облучения после окончательного завершения оконтуривания областей интереса (зоны опухоли, охранные и критические зоны и так далее) задаются в окне, представленном справа на Рис. 4.4.2.4-1, которое открывается в программе с помощью меню «Правка -> Таблица доз», посредством указания в соответствующих оконтуренным областям (зонам) полях ввода значения доз в сантиГрэях и клика по кнопке «Ок». Здесь нужно заметить, что однотипные зоны имеют свой порядковый номер, соответствующий порядку их оконтуривания в процессе работы с программой. Посмотреть эти номера на экране позволяет кнопка «№ Региона» (Рис. 4.4.2.4-1). Также на экран можно вывести информацию об объемах оконтуренных областей, помеченных как зоны основной мишени (опухоли) с помощью кнопки «Объём», это отображается в левом нижнем углу в окне изображения среза «4» Рис. 4.4.2.2-1.

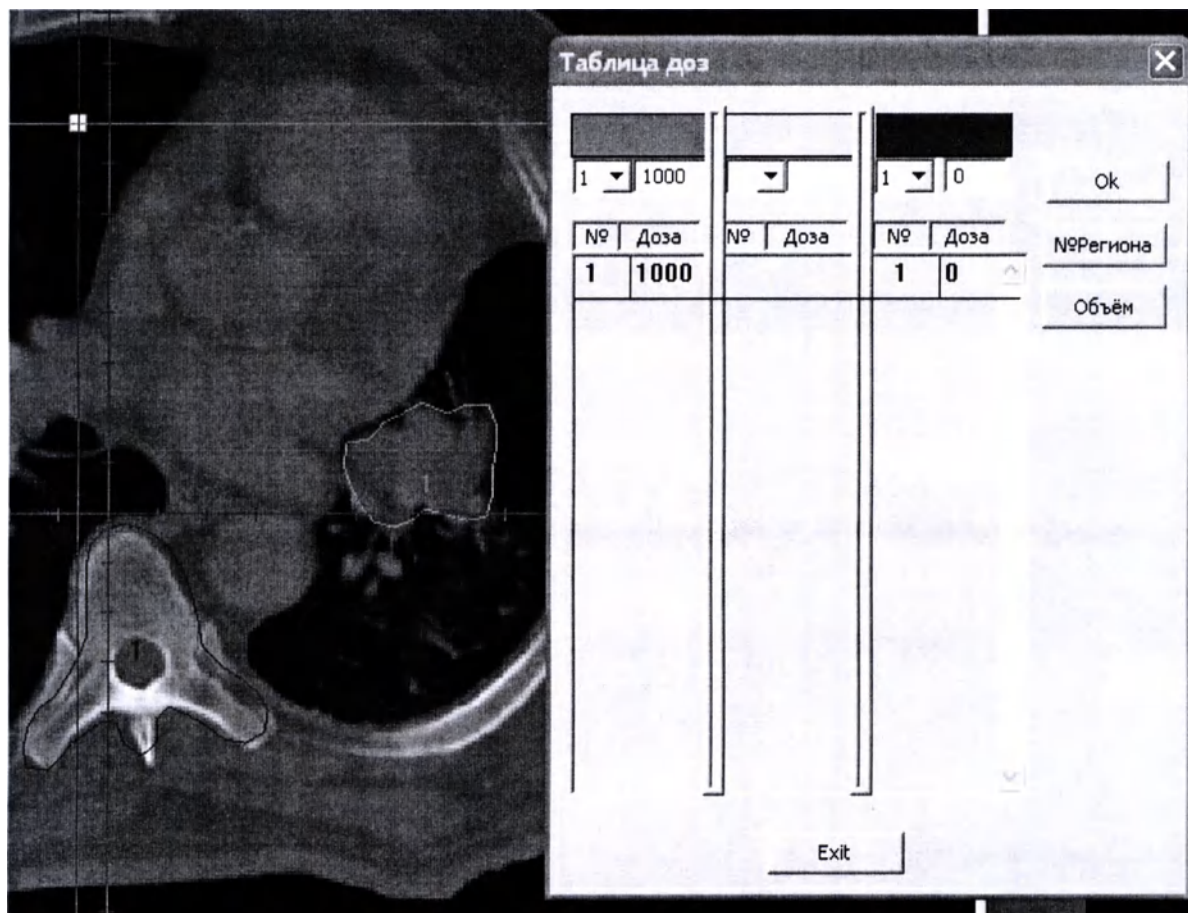


Рис. 4.4.2.4-1

4.4.2.5. Сохранение данных для программы планирования облучения

В результате работы программы обрисовки создаются контуры, представляющие собой координатные данные о локализации областей интереса в опухоли с точки зрения процесса планирования облучения, и задаются необходимые для соответствующих зон дозы облучения. Отправка выходной информации в базу данных для дальнейшей работы осуществляется с помощью меню по схеме: Файлы -> Сохранение в БД -> Для планирования. После этого можно завершить работу с программой через меню «Файлы -> Выход» или щёлкнув красный крест в верхнем правом углу основного окна программы.



4.4.3. Планирование лучевой терапии

4.4.3.1. Запуск программы планирования

Для расчета дозного поля и формирования файла-задания (исполняемого файла) на облучение предназначена программа **Optimization_Irradiation**.

Запуск программы осуществляется на АРМе «Планирование» из программного модуля «Планирование облучения». Необходимо выбрать пациента из списка в левой верхней части экрана и нажать кнопку «Планирование» (Рис. 4.4.2.1.-1).

При входе в программу сразу загружается результат работы программы «Обрисовка контуров» (главный срез облучаемого объекта с контурами) для текущего пациента, фамилия которого отображается в заголовке главного окна.

4.4.3.2. Описание главного окна программы планирования

Главное окно программы планирования представлено на Рис. 4.4.3.2-1

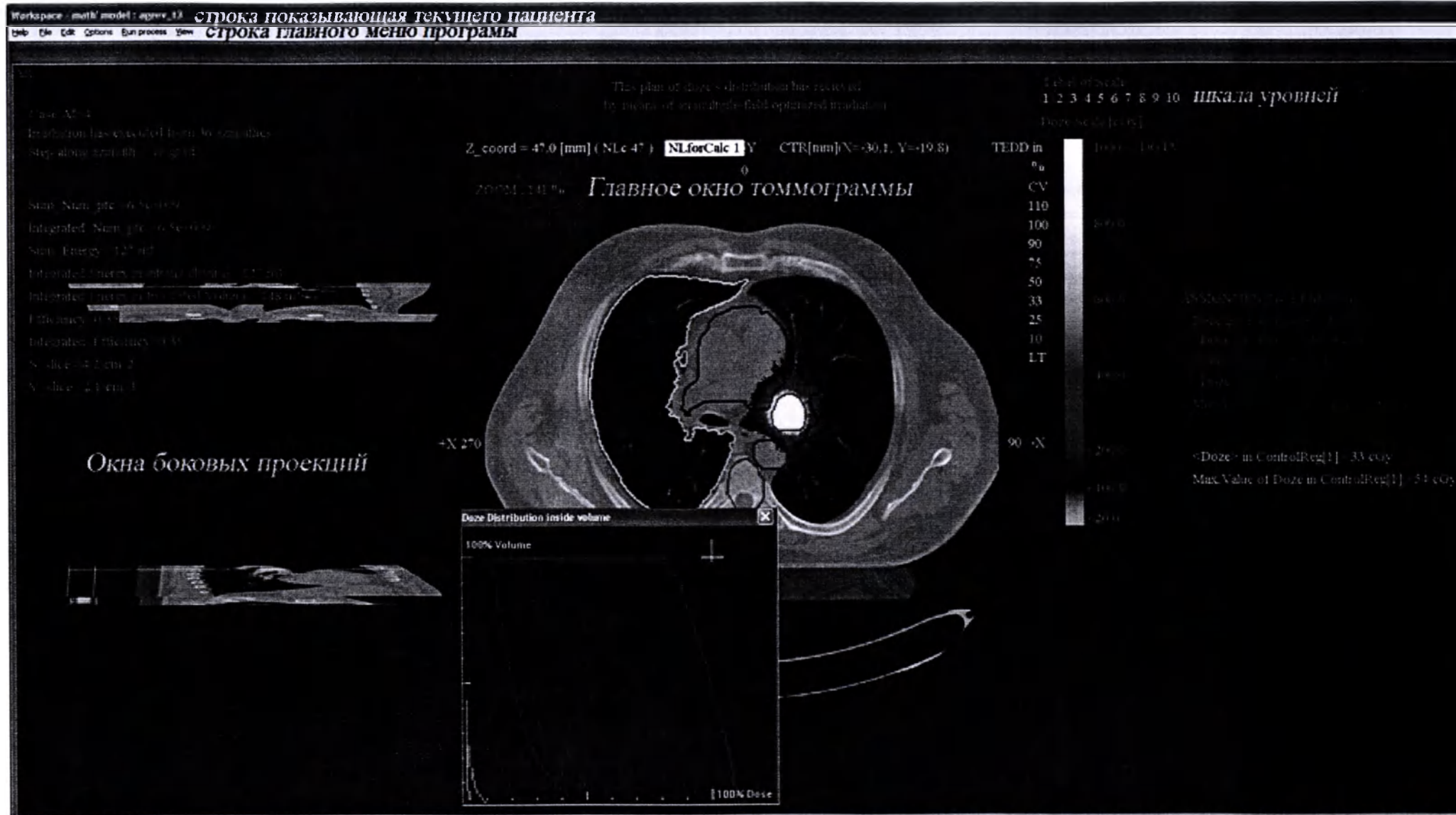


Рис.4.4.3.2-1. Главное окно программы планирования облучения



На верхней панели рабочего окна имеется стандартная строка меню со всеми доступными опциями программы.

По центру рабочего окна программы расположено главное окно, в котором отображен главный срез изображения облучаемого объекта с обрисованными контурами зон интереса. Слева расположены окна боковых проекций. Дозные поля отображаются поверх картинок. Имеется полупрозрачный режим вывода дозного распределения поверх изображений (опция: “Options->Flag_Transparency”)

Справа от окна с главным срезом представлена следующая информация:

а) цветовая, градуированная дозная шкала в cGy

DGTV (Doze Given in Tumor Volume)– указывает на заданное значение дозы в CTV в цветовой градуировке, это же значение в численном виде дано в пункте “ASSIGNMENT & RESULTS” цветом контура CTV (Clinical Target Volume, облучаемый объем).

б) сверху – шкала переключения диапазонов дозной шкалы (шкала уровней)

в) на правой границе – шкала переключения уровней отсечения выводимых на экран доз (Threshold of Elimination of Doze Distribution - TEDD), заданная в процентах от DGTV. Текущее значение заданного уровня отображается на шкале зеленым цветом. Это означает, что значения доз, лежащих ниже этого значения, при визуализации распределения дозного поля на экран не выводятся.

г) еще правее находится колонка “ASSIGNMENT & RESULTS”, где приведены значения заданных, полученных (средних) и максимальных значений доз в имеющихся (заданных) областях цветом, соответствующим цвету контура области.

Слева от окна с главным срезом даны боковые проекции и общая информация о числе ракурсов, с которых было произведено облучение, шаге с которым менялся угол ракурса, а также другая общая информация.

Сверху окна с главным срезом приведена следующая информация: номер текущего слоя (который использовался для счета) и его текущая координата по вертикали.

Для переключения между слоями, которые были использованы для расчета дозного поля, предназначены клавиши “N”(Next) и “P”(Previous), при этом будут отображаться дозные поля, рассчитанные для соответствующего слоя.

4.4.3.3. Краткое описание опций программы

1) Опция “Edit -> Define Num directions of Irradiation -> Parametric” задает сектор облучения и величину изменения шага по углу, например: если задан init_angel, fin angel и



step_of_angle_1, то облучение опухоли будет происходить в заданном секторе от начального угла (init_angle) до конечного (fin_angle) с шагом по углу (step_of_angle_1).

Можно задать несколько секторов облучения, но не более четырёх.

2) Следующий шаг – запуск расчёта дозных полей опцией “Run process -> Optimization doze distribution”.

После того, как расчёт произведён, пользователю доступна информация, описанная в п. 4.4.3.2.

3) Опция “View -> View Doze Distribution in Volume” предоставляет информацию о распределении дозы в объёме: опухоли, запретных и критических областях, областях интереса и в общем облученном объёме.

4) Опция “Options -> Define_TEDD” позволяет задавать уровень TEDD. Желаемые значения вводятся в сGu (это сделано для удобства), но отображаются на шкале TEDD в процентах (Рис.4.4.3.3-1).



Рис.4.4.3.3-1

5) Опция “View -> View Doze Distribution in projections -> in Any place” позволяет просматривать распределение дозы вдоль заданной линии (в любом месте). Функционал опции следующий: после активации пункта меню устанавливаете курсор “мыши” на точку, которую вы считаете первой точкой прямой, щелкаете левую кнопку “мыши”, затем устанавливаете курсор в точку, которую считаете второй точкой ожидаемой прямой; щелчок левой кнопкой “мыши” определяет таким образом прямую линию, вдоль которой вы хотите посмотреть распределение дозы (Рис. 4.4.3.3-2)

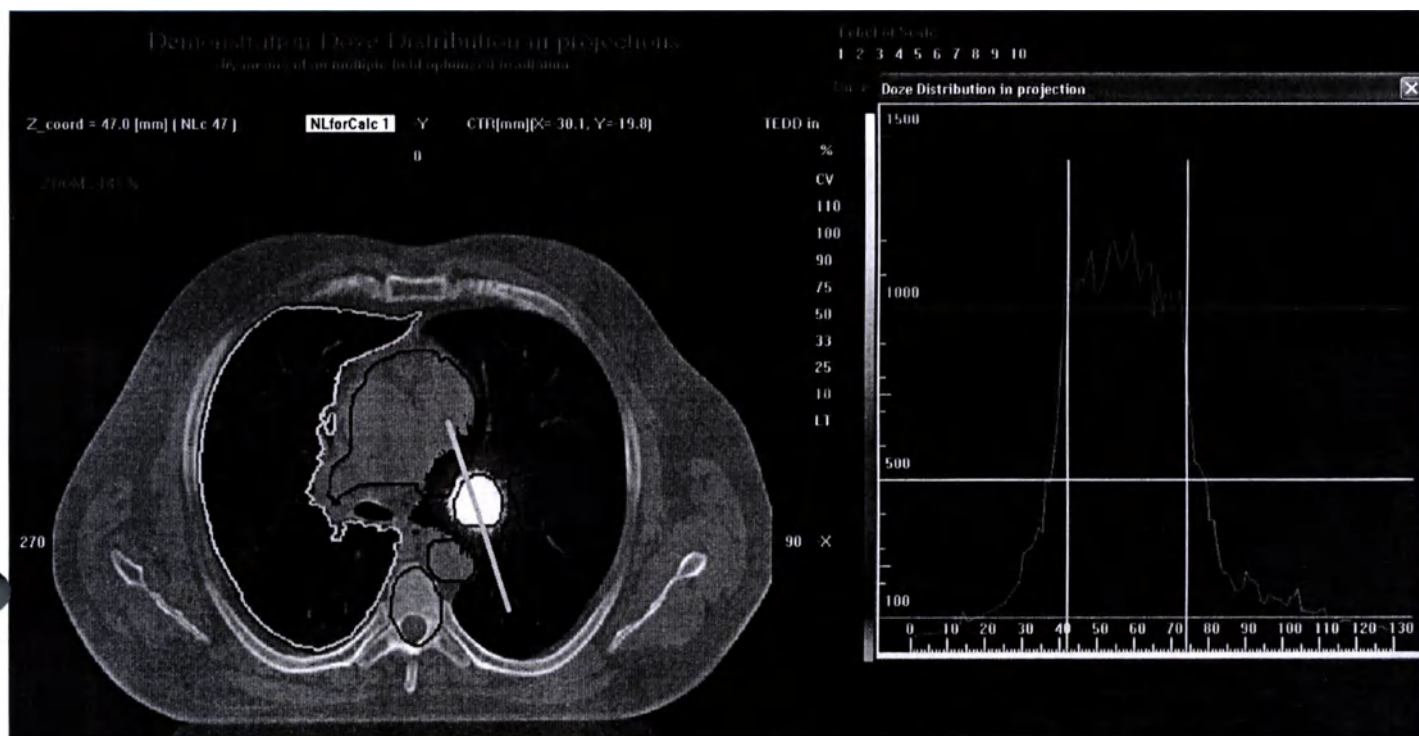


Рис. 4.4.3.3-2

В данном примере белые линии на графике распределения дозы соответствуют точкам пересечения заданной прямой с контуром CTV. Выход из данной опции по “Esc”. До тех пор, пока не использовалась клавиша “Esc” можно строить любые распределения вдоль линий в любом месте изображения опухоли.

6) Опция “Run process -> Demo Bragg’s peak -> method Monte-Carlo” позволяет рассматривать процесс прохождения одиночного луча через облучаемый объем (Рис. 4.4.3.3-3). Её функционал такой же, как и у предыдущей опции.

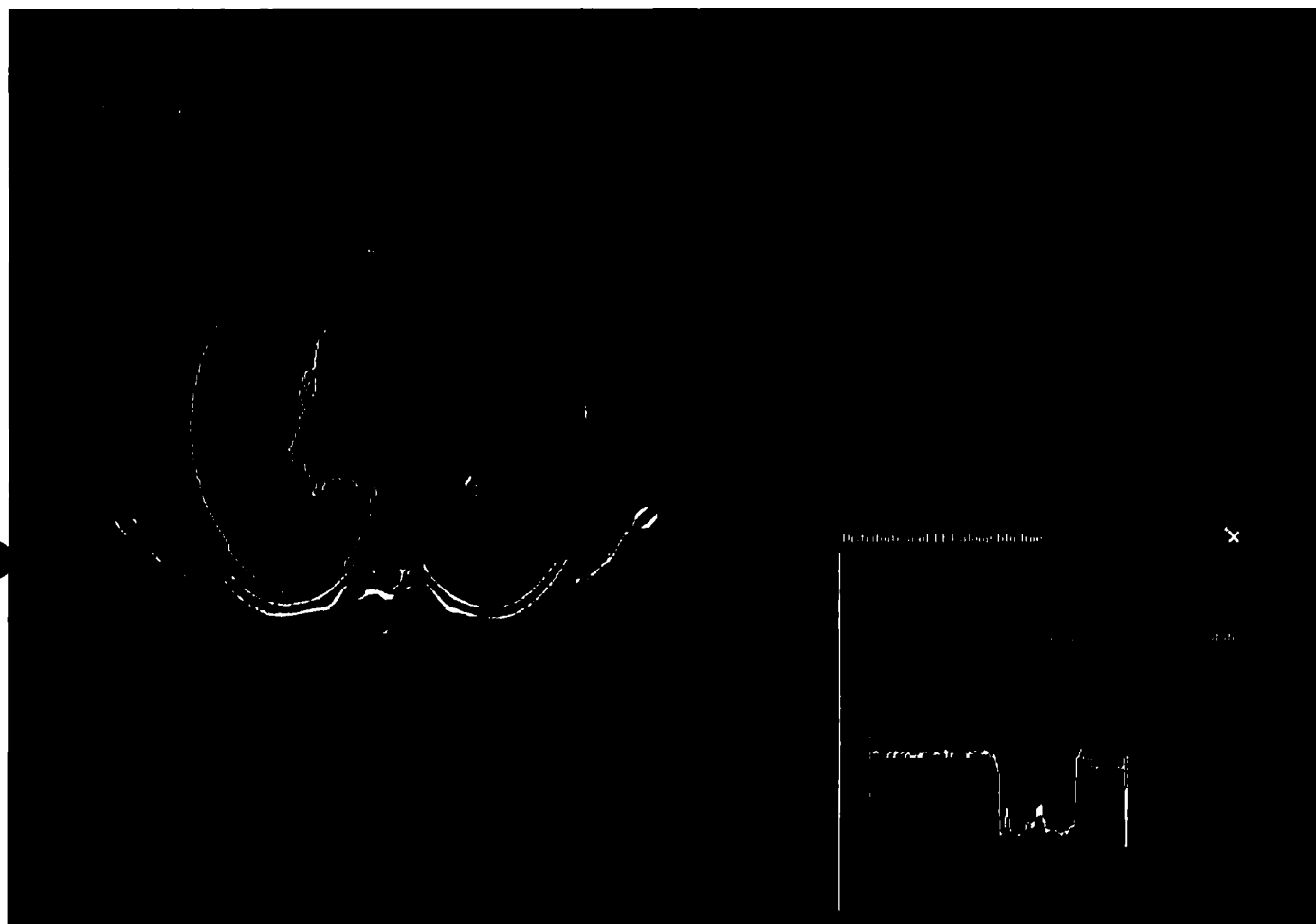


Рис. 4.4.3.3-3

Пояснения к Рис. 4.4.3.3-3: В окне главного среза показано распределение дозы для одного луча. Справа даны данные о текущем ракурсе, глубине проникновения, необходимой для этого энергии пучка, а также приведен график распределения энергетических потерь вдоль траектории пучка (по центральной линии) и распределение плотности вдоль этой линии (голубая линия – уровень воды)

7) Имеется возможность нормировки рассчитанного дозного поля на другой (определяемый врачом) уровень дозы в CTV. Для этого курсор “мыши” помещается внутрь контура CTV и нажатием правой кнопки “мыши” вызывается диалоговое окно функции нормировки. В поле “Value” задаётся интересующее значение дозы [в cGy] в CTV и после этого происходит перенормировка всех функциональных значений: дозы по всему объему и интенсивностей лучей (Рис. 4.4.3.3-4).

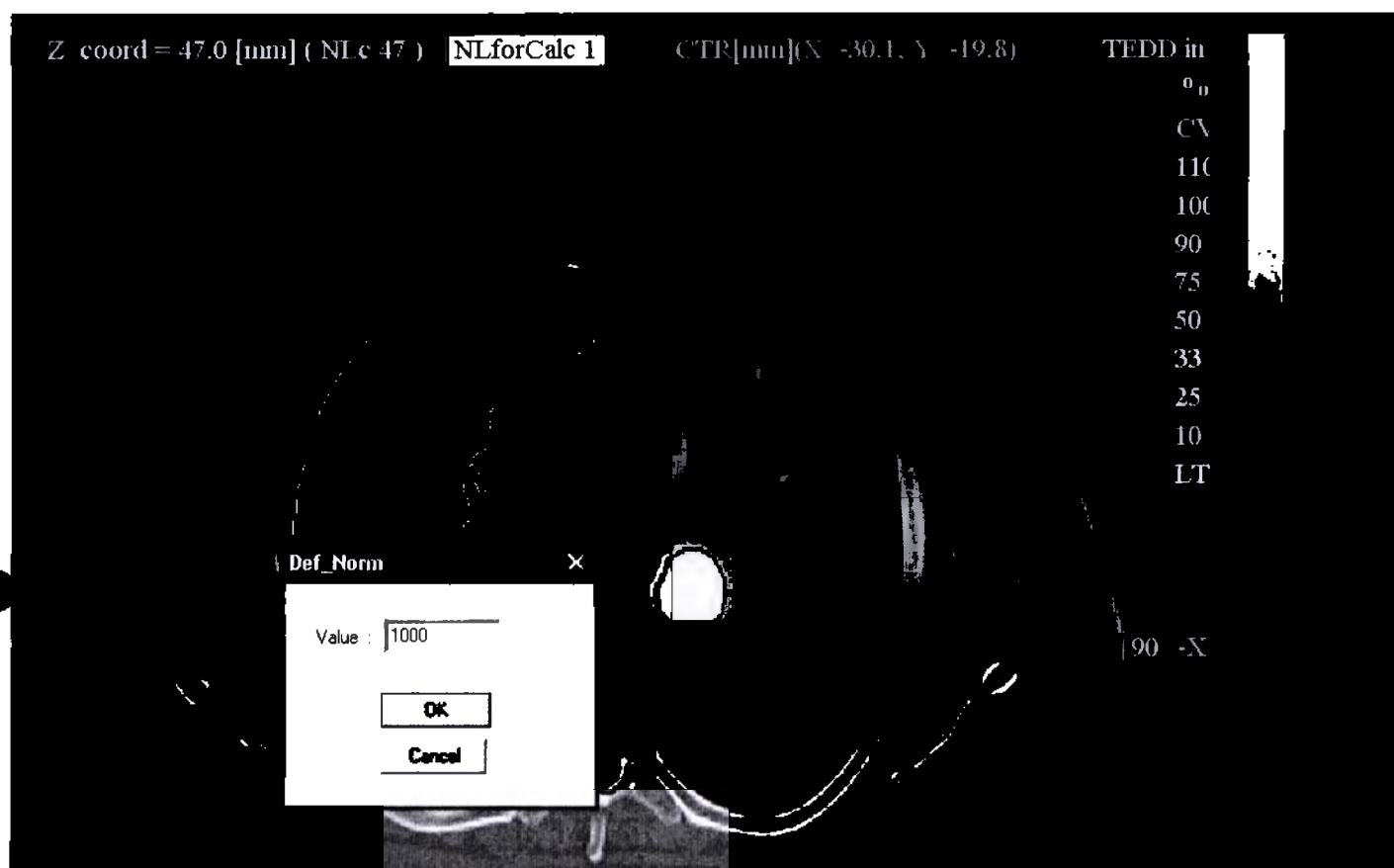


Рис. 4.4.3.3-4

8) Опция “File->Load Results” позволяет загрузить сохраненные расчётные данные для данного пациента, но только в режиме просмотра результатов счёта.

9) Выход из программы осуществляется по соответствующей опции меню – “File->Close” и затем “Program->Exit”.

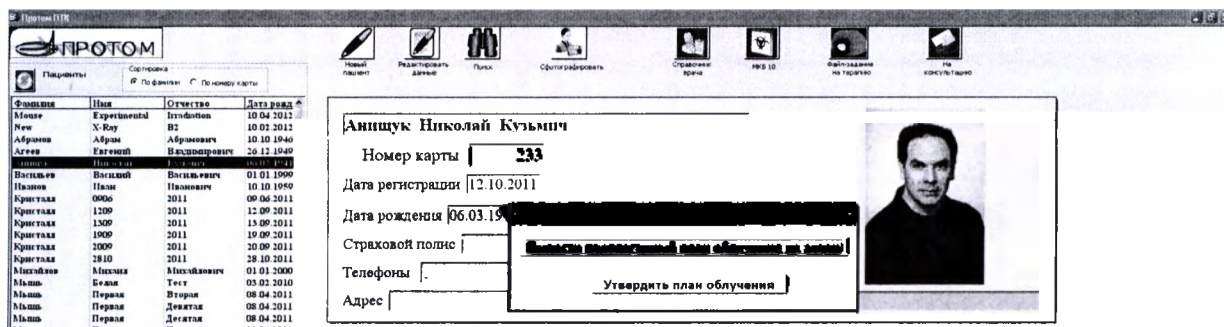
4.4.3.4. Сохранение результатов планирования

После просмотра результатов расчёта их можно сохранить в базе данных в виде файла-задания для процесса облучения и в виде послойного изображения для дальнейшего просмотра в специальные директории. Сохранение результатов происходит при нажатии кнопки “Esc” с последующим обновлением рабочего окна, что означает готовность программы для нового расчёта. В файл-задание пишется следующая информация: общее число частиц, необходимых для получения дозы, заданной врачом в CTV; объём CTV; число слоев, на которые был разбит объём CTV для расчета дозного поля; затем пишется количество ракурсов облучения, число лучей с каждого ракурса, энергия для каждого луча и интенсивность выпущенного пучка.

Утверждение плана облучения происходит на рабочем месте врача, в программе «Автоматизированная история болезни» (см. п. 4.1.).



Значок  панели инструментов (Рис.4.1-2) предназначен для просмотра врачом предлагаемого к терапии плана облучения, его анализа и процедуры утверждения плана с печатью необходимых протоколов или отклонения его с рекомендациями по дальнейшей доработке. После того, как пациент выбран в списке и нажат этот значок (Рис. 4.5-1),



откроется окно:

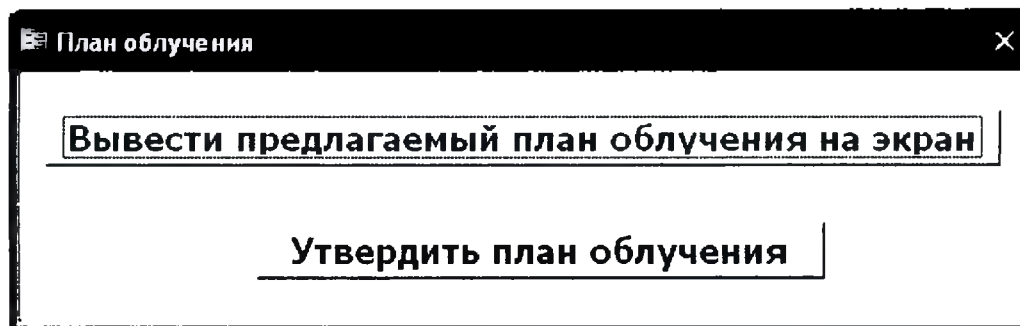


Рис. 4.5-2

Посмотреть предлагаемый план врач может, нажав соответствующую кнопку. План будет представлен в виде, показанном на Рис. 4.5-3.



Рис. 4.5-3

Если план соответствует рекомендованной врачом лечебной тактике, врач приступает к процедуре утверждения плана. После нажатия кнопки “Утвердить план облучения” необходимо сначала в появившемся окне (Рис. 4.5-4) выбрать кнопку “Печатать протокол плана облучения”. Только после подписи протоколов врачом и медицинскими физиками можно нажать кнопку “Разрешить облучение”.

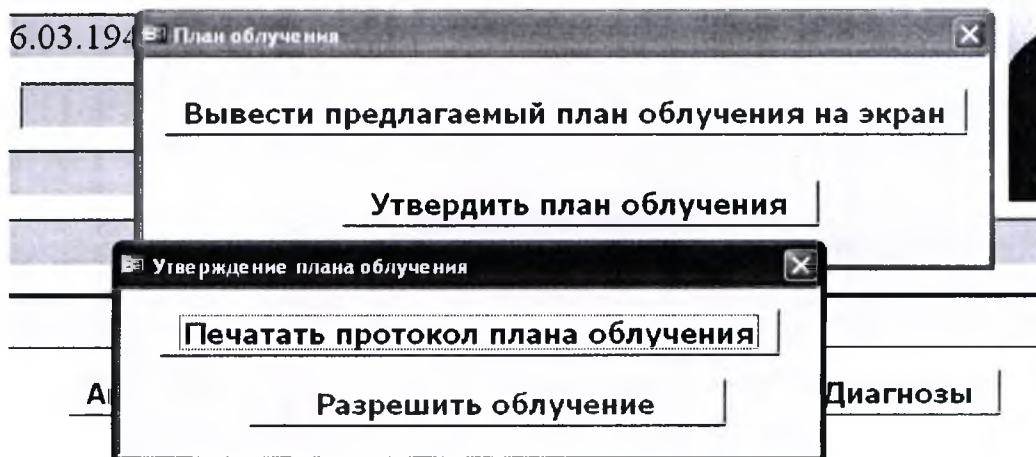


Рис. 4.5-4

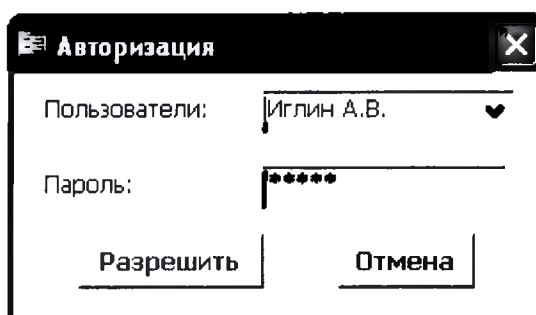


Рис. 4.5-5

После выбора врачом себя из списка, введения пароля и нажатия кнопки “Разрешить” появится сообщение (Рис. 4.5-6)



Рис. 4.5-6

Только после этого файлу-заданию на облучение присвоен статус “Исполняемый”, и он может быть запущен на ускорителе.

4.6. Фиксация пациента при втором посещении и процедура верификации положения пациента

После создания и утверждения плана облучения пациент приходит непосредственно на сеанс. На АРМе «СФПП + Рентген» оператор выбирает данного пациента из списка и нажимает кнопку “Загрузить параметры стула с предыдущего посещения”. Стул автоматически приводится в соответствующее положение, а также на мониторе перед пациентом появляется контур головы, соответствующий положению пациента при первом посещении, и текущее изображение головы пациента. (см. п. 4.3., описание программы контроля положения пациента). Незначительными движениями головы пациент добивается полного совпадения текущего изображения с предыдущим контуром.

Далее выполняется процедура верификации положения пациента. Следует выбрать углы поворота системы фиксации пациента (п. 3.18.2.3, Рис. 3.18.2.3-1, поле 11), при которых необходимо сделать контрольные рентгеновские снимки, например, $0^\circ - 90^\circ$. Эти снимки сравниваются с рентгеновскими снимками предыдущего посещения, сделанными



под такими же углами. Не сравнились – выполнять действия, описанные в пп. 4.2. – 4.4.

4.7. Облучение

В случае, если верификация прошла успешно, оператор ускорителя после обязательной авторизации выбирает пациента из списка и нажимает кнопку “Терапия” (Рис. 4.7-1). Файл утвержденного плана облучения запускается на исполнение.

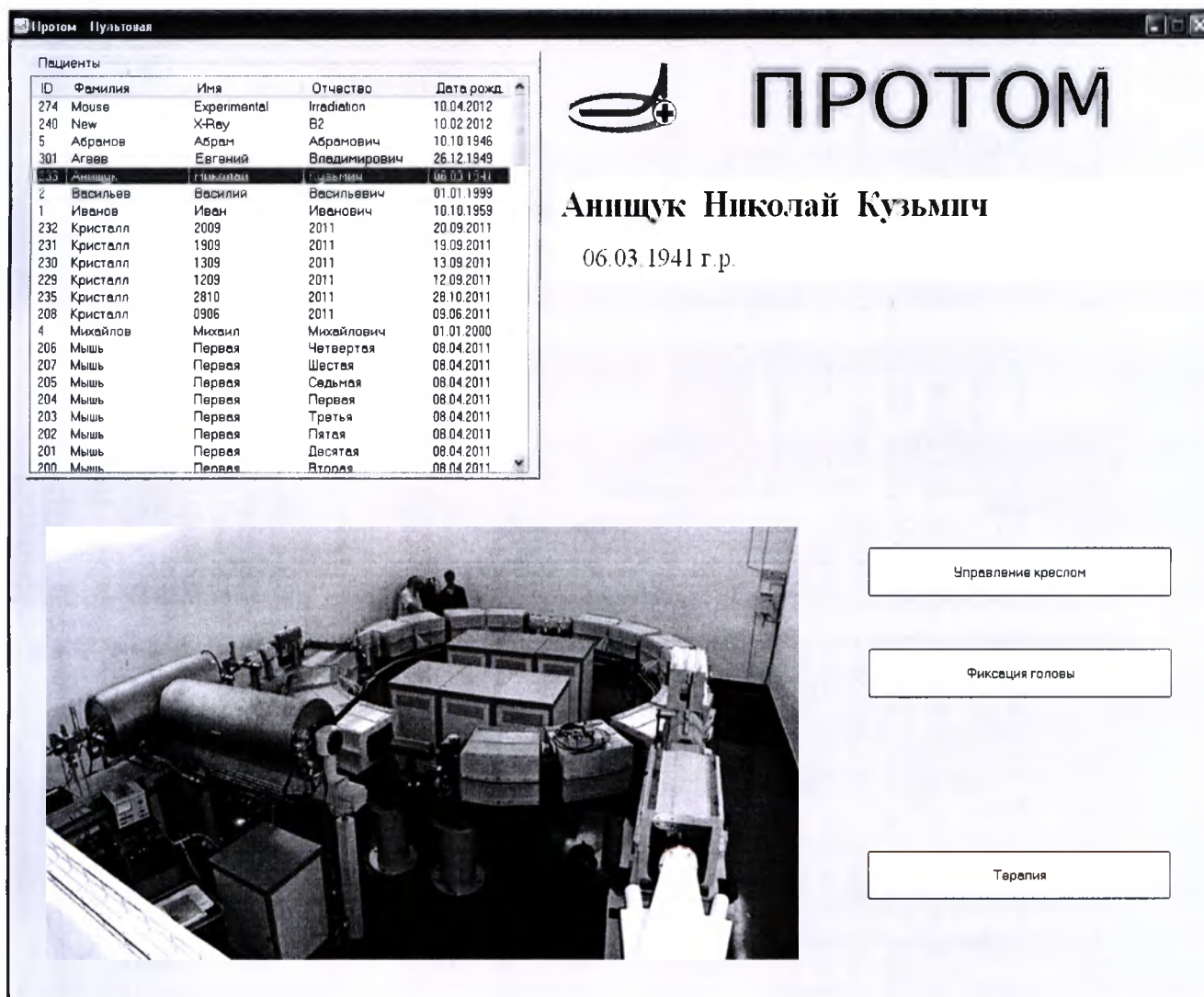


Рис. 4.7-1

Информация о процессе отражается на экране оператора (Рис.4.7-2)

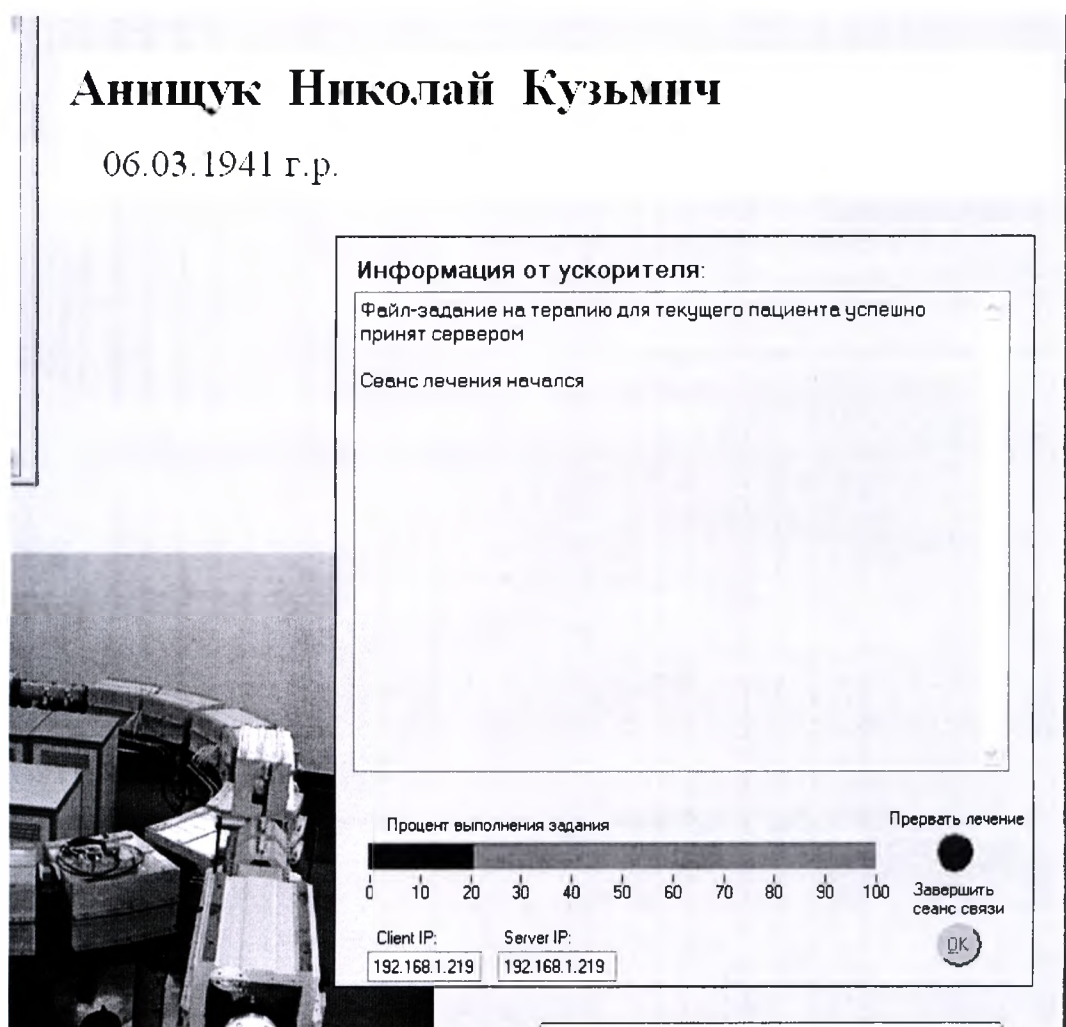


Рис.4.7-2

4.8. Архивация результатов облучения

Во время облучения создается файл, содержащий временные и физические характеристики процесса. После окончания процесса облучения этот файл автоматически сохраняется в базе данных для данного пациента с привязкой по дате и времени. Также отдельно сохраняется значение полученной во время сеанса дозы.

4.9. Аварийная остановка

В случае непредвиденного прерывания процесса облучения (аварийная остановка) все параметры на момент сбоя запоминаются в файле аварийной остановки, который записывается в базу данных. Анализ данного файла позволяет определить участки облучения и полученную дозу на момент остановки. На основе этих данных создается новый план (п. 4.4.3), позволяющий “добрать” дозу в нужных направлениях. Далее выполняются действия, описанные в пп. 4.5. – 4.7.

5. Безопасность комплекса

5.1. Радиационная безопасность

5.1.1. Требования к размещению КПТ. Защитные мероприятия

Комплекс протонной терапии имеет в своём составе источники, генерирующие ионизирующее излучение: протонный синхротрон, высоковольтный источник рентгеновского излучения и инжектор протонов на 1МэВ. Поэтому он должен быть размещен в радиационно-защищенном помещении (бункере). Физический расчет защиты помещения должен быть выполнен в соответствии с нормами НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010 и правилами размещения и эксплуатации ускорителей протонов с энергией более 100 МэВ.

На Рис. 5.1-1 приведен пример здания для размещения комплекса протонной терапии с радиационно-защищенным помещением, где находятся ускоритель протонов и процедурный кабинет.

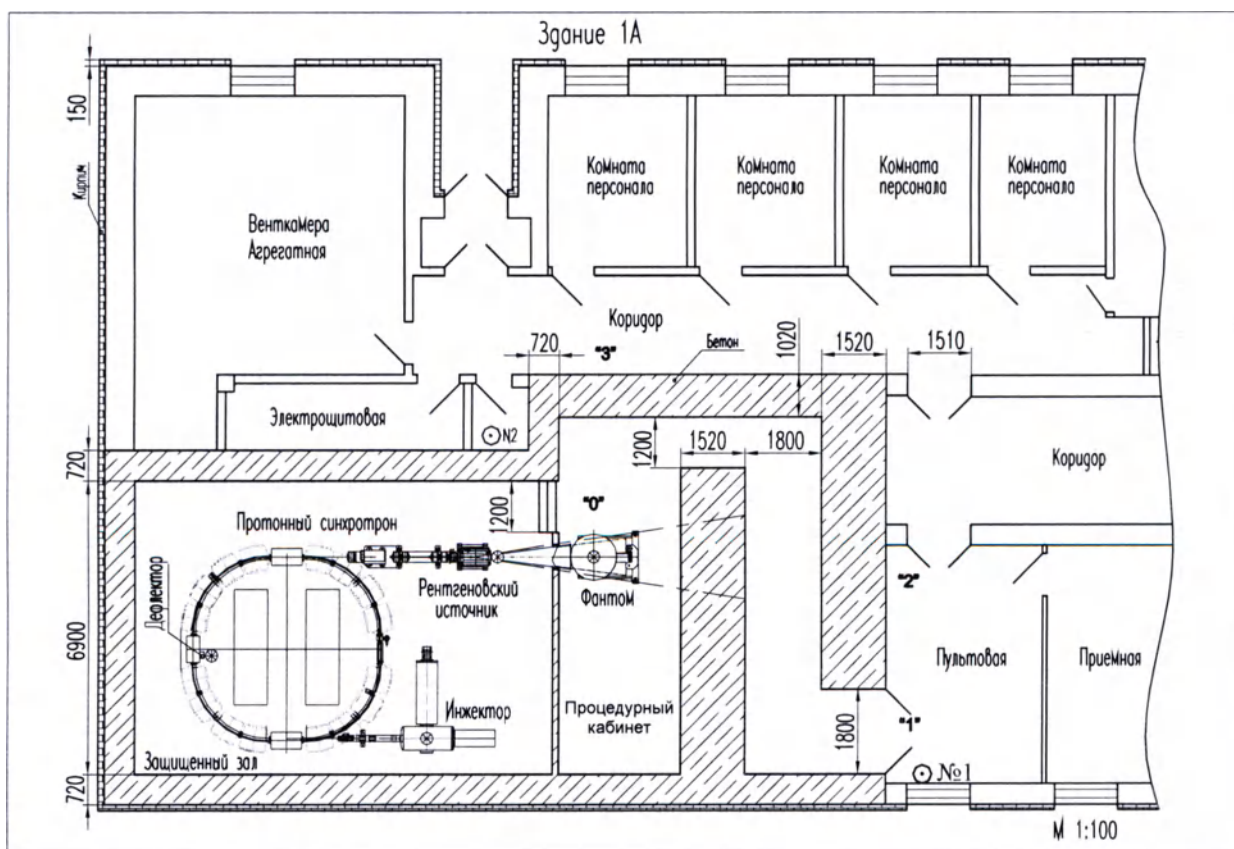


Рис. 5.1-1

Минимальная толщина бетонных стен 720 мм, потолка – 100 см.



Остальные помещения не являются радиационно опасными.

Защита от случайного проникновения отдельных лиц в радиационно опасную зону в процессе работы обеспечивается организационно-техническими мероприятиями, перечисленными в общей инструкции по технике безопасности при эксплуатации установки, и системой блокировок дверей.

Для оперативного контроля ионизирующего излучения в помещениях персонал должен иметь переносные дозиметрические приборы для измерения гамма и нейтронного излучения (см. п. 5.1.2.)

К защитным устройствам, обеспечивающим безопасность работ, относятся:

- электрические блокировки дверей, которые исключают возможность случайного включения установки;
- кнопки аварийного отключения;
- звуковая и световая сигнализации, предупреждающие о включении установки;
- постоянный видеоконтроль.

Приточные вентиляционные системы для обслуживания "чистых" и радиационно опасных помещений должны быть отдельные. Кратность воздухообмена в радиационно опасной зоне не менее 4 в час.

Помещения, где размещается комплекс протонной терапии, должны соответствовать государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам:

- СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)";
- СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности" (ОСПОРБ-99/2010);
- СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений";
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы";
- СанПиН 2.2.2/2.4.2620-10 Изменения №2 к СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий";
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10 "Изменения и дополнения к СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03".



5.1.2. Система дозиметрического контроля

Система дозиметрического контроля комплекса протонной терапии служит для обеспечения радиационной безопасности обслуживающего персонала в соответствии с нормами радиационной безопасности НРБ – 99/2009. Она имеет в своем составе систему непрерывного интегрального и индивидуального дозиметрического контроля и систему оперативного контроля.

Оперативный контроль осуществляется с помощью автоматизированной системы непрерывного радиационного контроля и переносных дозиметрических приборов (ДКС-АТ1123, ДКС 96Н). При превышении допустимого уровня радиации система автоматически отключает ускоритель. Для контроля необходимо использовать не менее двух контрольных точек для измерения дозы внешнего облучения, расположенных на высоте выходящего протонного пучка. На Рис. 5.1-1 показано примерное расположение точек измерения: №1 (в пультовой) и №2 (в электрощитовой).

Интегральный и индивидуальный дозиметрический контроль осуществляются с помощью дозиметров ДВНГ-М в соответствии с утвержденной методикой. Измерения проводятся специализированными региональными организациями, которые имеют соответствующий аттестат аккредитации испытательных лабораторий в системе лабораторий радиационного контроля.

Обмен индивидуальных дозиметров должен проводиться не реже одного раза в квартал. Учет доз, полученных персоналом, ведется для каждого сотрудника персонально.

5.2. Общая безопасность

1. Комплекс имеет защиту от самопроизвольного перемещения подвижных частей системы фиксации и позиционирования пациента по ГОСТ Р МЭК 60601-1 и ГОСТ Р 50267.2.54. Система фиксации и перемещения пациента оборудована устройством, контролирующим состояние пациента. При прерывании контакта пациента с аппаратурой облучение прекращается автоматически и может быть продолжено только после разрешения лечащего врача.

2. Дверь бункера, где находится синхротрон, оснащена автоматической системой, которая отключает ускоритель при несанкционированном открытии двери. При работе ускорителя над дверью включена надпись «Вход запрещен», после выключения ускорителя загорается надпись «Вход разрешен».



3. Внутри бункера находится кнопка, с помощью которой можно отключить ускоритель в случае возникновения экстренной ситуации.
4. Система управления ускорителем обеспечивает прекращение облучения пациента в случае сбоя в программе облучения пациента.
5. В комплексе предусмотрен запрет на несанкционированный доступ к программному обеспечению (авторизация пользователей, распределение прав доступа).
6. Передача данных между программными модулями ведется по протоколу TSP (*Transmission Control Protocol*). Он обеспечивает надежную транспортировку данных между прикладными процессами.
7. На ускорителе реализована защита от случайного прикосновения к токоведущим цепям.
8. По электромагнитной совместимости комплекс соответствует требованиям к источникам промышленных радиопомех группы 1, класса А по ГОСТ Р 51318.11 и требованиям ГОСТ Р МЭК 60601-1-2.
9. Наружные поверхности частей комплекса, имеющие контакт с пациентом, являются устойчивыми к многократной дезинфекции по МУ-287-113 раствором 3 % перекиси водорода по ГОСТ 177 с добавлением 0,5 % моющего средства по ГОСТ 25644 или любым другим дезинфицирующим средствам, разрешенным на территории РФ.
10. Ежедневно, перед началом облучения пациентов, оператор проводит ежедневную проверку систем комплекса в соответствии с п. 3.12 настоящей инструкции.

5.2.1 Электромагнитная совместимость комплекса протонной терапии "Прометеус" с принадлежностями

Таблица.1 Руководство по ЭМС и сертификат соответствия для комплекса протонной терапии "Прометеус" с принадлежностями

Руководство по ЭМС и сертификат соответствия для комплекса "Прометеус"		
Комплекс "Прометеус" предназначен для использования в электромагнитной среде с характеристиками, указанными ниже. Пользователь комплекса "Прометеус" должен следить за тем, чтобы она использовалась в такой среде.		
Испытание на излучение	Соответствие	Руководство по работе в электромагнитной среде
Радиочастотное излучение ГОСТ 51318.11	Группа 1	Комплекс использует радиочастотную энергию только для внутренних целей. Поэтому генерируемое радиочастотное излучение очень слабое и не может вызвать помехи в расположенном поблизости электронном оборудовании.
Радиочастотное излучение ГОСТ 51318.11	Класс А	



Гармоническое излучение ГОСТ 30804.3.2	Неприменимо	Комплекс "Прометеус" предназначен для применения в любых специализированных учреждениях, за исключением организаций бытового обслуживания, при этом он должен быть напрямую подсоединен к низковольтной сети напряжения, предусматриваемой в зданиях общего назначения, в том числе в жилых.
Колебания напряжения/излучения фликера ГОСТ 30804.3.3	Кратковременная доза фликера – не более 1,0 Длительная доза фликера – не более 0,65	

Таблица.2 Руководство по защите от электромагнитных полей и сертификат соответствия для комплекса протонной терапии "Прометеус" с принадлежностями

Руководство по защите от электромагнитных полей и сертификат соответствия для комплекса "Прометеус"			
Система "Прометеус" предназначена для использования в электромагнитной среде с характеристиками, указанными ниже. Покупатель или пользователь комплекса "Прометеус" должен следить за тем, чтобы она использовалась в такой среде.			
Испытание на невосприимчивость	Уровень испытания ГОСТ Р МЭК 60601-1-2	Уровень соблюдения требований	Руководство по работе в электромагнитной среде
Электростатический разряд согласно ГОСТ 30804.4.2	±6 кВ контактный разряд ±8 кВ через воздушный зазор	±6 кВ контактный разряд ±8 кВ через воздушный зазор	Полы должны быть из дерева, бетона или керамической плитки. Если полы покрыты синтетическим материалом, относительная влажность должна быть не ниже 30 %.
Быстрые электрические переходные процессы/броски напряжения ГОСТ 30804.4.4	±2 кВ на линиях подачи питания ±1 кВ на линиях входа/выхода	±2 кВ на линиях подачи питания ±1 кВ на линиях входа/выхода	Качество электроснабжения сети должно соответствовать качеству электроснабжения на промышленных предприятиях или в больницах.
Скачок напряжения ГОСТ Р 51317.4.5	±1 кВ линия-линия ±2 кВ линия-земля	±1 кВ линия-линия ±2 кВ линия-земля	Качество электроснабжения сети должно соответствовать качеству электроснабжения на промышленных предприятиях или в больницах.



Магнитные поля с частотой сети (50/60 Гц) ГОСТ Р 50648	3 А/м	3 А/м	Уровень магнитных полей с частотой сети должен быть аналогичен уровню на промышленных предприятиях или в больницах.
---	-------	-------	---

Таблица.3 Руководство по защите от электромагнитных полей и сертификат соответствия для комплекса протонной терапии "Прометеус" с принадлежностями

Руководство по защите от электромагнитных полей и сертификат соответствия для комплекса "Прометеус"			
Комплекс "Прометеус" предназначена для использования в электромагнитной среде с характеристиками, указанными ниже. Пользователь комплекса "Прометеус" должен следить за тем, чтобы она использовалась в такой среде.			
Испытание на невосприимчивость	Уровень испытания ГОСТ Р МЭК 60601-1-2	Уровень соблюдения требований	Руководство по работе в электромагнитной среде
Кондуктивные радиочастоты ГОСТ Р 51317.4.6	3 действ. напр. в В от 150 кГц до 80 МГц	3 действ. напр. в В от 150 кГц до 80 МГц	Портативное и мобильное коммуникативное РЧ-оборудование нельзя использовать в непосредственной близости от компонентов комплекса "Прометеус", включая кабели. Должно соблюдаться расстояние, рассчитанное с использованием уравнения, соответствующего частоте передатчика (рекомендуемый зазор).
Излучение радиочастот ГОСТ 30804.4.3	3 А/м от 80 МГц до 2,5 ГГц	3 А/м от 80 МГц до 2,5 ГГц	



			Рекомендованное минимальное расстояние $d = \left[\frac{3.5}{3} \right] \sqrt{P}$ $d = \left[\frac{3.5}{3} \right] \sqrt{P} \quad 80-800 \text{ МГц}$ $d = \left[\frac{7}{3} \right] \sqrt{P} \quad 800 \text{ МГц} - 2,5 \text{ ГГц}$ где Р — максимальная номинальная мощность на выходе радиопередатчика в ваттах (Вт) согласно данным производителя, а d — рекомендованное расстояние в метрах (м). показатели напряженности поля для фиксированных радиопередатчиков согласно результатам электромагнитной разведки на месте^А, должны быть ниже требуемого уровня в каждом радиочастотном диапазоне^В. Помехи могут возникать вблизи оборудования, на которое нанесен следующий символ: 
А: показатели напряженности поля фиксированных радиопередатчиков, например, станций для радиотелефонов (мобильных/беспроводных) и наземной подвижной радиостанции, радиолучительской связи. Показатели радиовещания на частотах АМ и FM и телевидения теоретически невозможно спрогнозировать с точностью. Для оценки электромагнитной среды фиксированных радиопередатчиков следует проводить электромагнитную разведку на месте. Если измеренное значение силы поля, в котором используется комплекс "Прометеус", превышает допустимый уровень РЧ, обозначенный выше, следует проверить правильность работы комплекса "Прометеус". При ненормальном функционировании должны быть приняты дополнительные меры (например, переориентация или перестановка комплекса "Прометеус"). В: При выходе за границы радиочастотного диапазона от 150 кГц до 80 МГц показатели напряженности поля должны составлять меньше 3 В/м. ПРИМЕЧАНИЕ: Данные рекомендации могут быть применимы не во всех ситуациях. На распространение электромагнитных волн влияют процессы поглощения и отражения конструкциями, объектами и людьми.			



Таблица.4 Рекомендуемая дистанция между портативным и мобильным коммуникационным РЧ-оборудованием и комплексом протонной терапии "Прометеус" с принадлежностями.

Рекомендуется соблюдать дистанцию между портативным и мобильным коммуникационным РЧ-оборудованием и комплексом "Прометеус"			
Комплекс "Прометеус" предназначен для использования в электромагнитной среде, в которой контролируются излучаемые радиочастотные помехи. Пользователь комплекса "Прометеус" может предотвратить электромагнитные помехи, сохраняя минимальное расстояние между переносным и мобильным радиочастотным оборудованием связи (радиопередатчиками) и комплексом "Прометеус", как рекомендовано ниже, с учетом максимальной мощности коммуникационного оборудования			
Максимально допустимая мощность (М) радиопередатчика в ваттах (Вт)	Расстояние согласно частоте радиисточника		
	от 150 кГц до 80 МГц $d = \left[\frac{3.5}{3} \right] \sqrt{P}$ Расстояние (метры)	от 80 МГц до 800 МГц $d = \left[\frac{3.5}{3} \right] \sqrt{P}$ Расстояние (метры)	от 800 МГц до 2,5 ГГц $d = \left[\frac{7}{3} \right] \sqrt{P}$ Расстояние (метры)
0,01	0,12	0,12	0,23
0,1	0,37	0,37	0,74
1	1,17	1,17	2,33
10	3,69	3,69	7,38
100	11,7	11,7	23,3
Если максимально допустимая мощность радиопередатчика не указана выше, то расстояние можно вычислить с помощью уравнения в соответствующем столбце, где Р — максимальная мощность радиопередатчика в ваттах (Вт) согласно данным производителя радиопередатчика.			
ПРИМЕЧАНИЕ: При 80-800 МГц рекомендуется выбирать расстояние для более высокого радиочастотного диапазона.			
ПРИМЕЧАНИЕ: Данные рекомендации могут быть применимы не во всех ситуациях. На распространение электромагнитных волн может влиять поглощение и отражение от сооружений, предметов и людей.			

5.3. Противопожарная безопасность

Помещение, в котором расположен комплекс протонной терапии, должно быть оснащено системой противопожарной безопасности в соответствии с требованиями СП 5.13130.2009.

Система пожарной безопасности направлена на предотвращение воздействия на людей и установку опасных факторов пожара, в том числе их вторичных проявлений, на любом уровне.

Противопожарное оборудование должно иметь в своем составе:

- автоматическую пожарную сигнализацию (АПС) для всего КПТ;
- автоматическую установку газового пожаротушения (АУГП) для шкафов



источника основного питания магнитов и блоков управления синхротрона;

- огнетушители;
- внутренний противопожарный водопровод с электроприводом с возможностью ручного переключения.

В дополнение к автоматическим средствам пожаротушения должно быть организовано круглосуточное дежурство.

5.4. Техническое обслуживание, ремонт, гарантии производителя

- Гарантийный срок эксплуатации комплекса – 12 месяцев со дня ввода в эксплуатацию.
- Послегарантийное обслуживание и ремонт комплекса осуществляется заводом-изготовителем или другими организациями, уполномоченными на то заводом-изготовителем по дополнительному договору с пользователем.

5.5. Утилизация

Утилизация оборудования Комплекса протонной терапии после окончания срока эксплуатации осуществляется поставщиком оборудования в соответствии с действующим законодательством РФ за его счет.

Всего пронумеровано,
прошнуровано и
скреплено печатью
158 листа (ов)





наименование испытательной организации, адрес, телефон

Исх. № 3 от 11.01.2017 г.



Информационное письмо

В период с «22» декабря 2016 г. по «27» декабря 2016 г. в Испытательной лаборатории Закрытое акционерное общество "Независимый институт испытаний медицинской техники" (ИЛ ЗАО "НИИМТ") был проведен сравнительный анализ технических и функциональных характеристик МИ «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», которое зарегистрировано в установленном порядке в Федеральной службе по надзору в сфере здравоохранения (Росздравнадзор) и имеет РУ № РЗН 2015/3242 от 02.11.2015 г и этим же МИ после внесения изменений (смена наименования).

В ответ на уведомление № 04-61802/16 от 21.12.2016 Росздравнадзора о необходимости устранения выявленных нарушений и (или) предоставления отсутствующих документов, подтверждаем, что вносимые изменения в регистрационное удостоверение № РЗН 2015/3242 от 02.11.2015 г на медицинское изделие «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями» в связи со сменой наименования, совершенствуют свойства медицинского изделия, при неизменности функционального назначения и принципа действия медицинского изделия.

Инженер-испытатель ЗАО «НИИМТ» _____

должность, Ф.И.О.

Д.М. Корендясев



Независимый институт испытаний медицинской техники

Испытательная лаборатория ЗАО «НИИМТ»

115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 11, стр.2, тел/факс (495) 660-3039

наименование испытательной организации, адрес, телефон



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ЗАО "НИИМТ"

Д.В. Вахрушев

«27» декабря 2016 г.

Протокол

сравнения технических характеристик

№ 2016-361.1/1

Комплекс протонной терапии «Прометеус»
с принадлежностями

Составлен:

Независимый институт испытаний медицинской техники,
Испытательная лаборатория ЗАО "НИИМТ",
115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 11
Аттестат аккредитации РОСС RU.0001.517966 от 15.04.2015г.

Проведение сравнения технических характеристик зарегистрированного изделия, в которое вносятся изменения и взаимозаменяемого (аналога) медицинского изделия:

«Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия,

и

«Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия

В период с 22 декабря 2016 г. по 27 декабря 2016 г. на основании заявления ЗАО «Протом» Россия, для целей внесения изменений в регистрационное удостоверение № РЗН 2015/3242 от 02 ноября 2015 года, в Федеральной службе по надзору в сфере здравоохранения в испытательной лаборатории ЗАО «НИИМТ» был проведен сравнительный анализ технических и функциональных характеристик изделий «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия и «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия, после внесения изменений в наименование медицинского изделия и указания вида медицинского изделия.

1. «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия, имеет аналоги, ранее зарегистрированные в Российской Федерации:

Медицинское изделие

1.1. «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», "Вариан Медикал ЗАО «ПРОТОМ», Россия.

Регистрационное удостоверение № РЗН 2015/2315 от 17.03.2015.

2. Для проведения анализа сравнения технических характеристик были предоставлены:

2.1 Комплект технической и эксплуатационной документации «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия, включающий:

- Инструкция по применению;
- Технические условия 9444-001-56864228-2012
- Регистрационное Удостоверение № РЗН 2015/3242 от 02 ноября 2015 года (копия).

2.2. Комплект технической и эксплуатационной документации «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия, включающий:

- Инструкцию по применению;
- Технические условия 9444-001-56864228-2012 с учетом изм. № 1
- Регистрационное Удостоверение № РЗН 2015/2315 от 17.03.2015 (данные официального сайта Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения (Росздравнадзор) в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» - www.roszdravnadzor.ru).

3. Основные функциональные параметры и технические характеристики изделий представлены в Таблице 1:

Наименование	Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями	Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями (с вносимыми изменениями)
Производитель	ЗАО «ПРОТОМ», Россия	ЗАО «ПРОТОМ», Россия
Регистрационное удостоверение	РЗН 2015/3242	-
Дата регистрации	02.11.2015	-
Срок действия регистрации	Бессрочно	-
Вид ускорителя	синхротрон	синхротрон
Вид излучения	протоны	протоны
Масса ускорителя	25 т	25 т
Диаметр ускорителя	5 м	5 м
Продолжительность запуска	30 мин	30 мин
Диапазон энергии протонов	от 30 до 250 МэВ $\pm$ 0,15%	от 30 до 250 МэВ $\pm$ 0,15%
Мощность дозы максимальная	2 Гр/л/мин	2 Гр/л/мин
Минимальный размер пучка	4 мм	4 мм
Размер поля облучения	40x40 см	40x40 см
Возможность сканирования	Да	Да
Диапазон мощности потребляемой электроэнергии при работе установки	50 - 160 кВт	50 - 160 кВт
Величина пиковой	200 кВт	200 кВт

потребляемой мощности электроэнергии		
Номинальное напряжение тока	380 В	380 В
Частота электропитания	50 Гц	50 Гц
Наличие возможности вращения пучка вокруг пациента (гантри)	вертикальное	вертикальное
Количество кабин	Одна	Одна
Диапазон допустимой температуры в терапевтической кабине	от 17°С до 26°С	от 17°С до 26°С
Положение пациента	Сидя, стоя	Сидя, лежа
Максимальный вес пациента	Не менее 135 кг	Не менее 135 кг
Точность позиционирования пациента	$\leq 0,5$ мм	$\leq 0,5$ мм
Назначение медицинского изделия	злокачественные новообразования в области головы и шеи	Комплекс протонной терапии предназначен для лечения онкологической патологии (доброкачественной и злокачественной) пучками протонов при локализации опухоли в различных участках тела пациента (взрослые и дети). Положение пациента – сидя, лежа.
Наличие рентгеновской системы для управления позиционированием пациента	да	да
Диапазон анодного напряжения рентгеновского источника	80-140 кВ	80-140 кВ
Фильтрация пучка рентгеновского излучения	$\geq 2,5$ мм Al	$\geq 2,5$ мм Al
Наличие системы планирования протонной терапии, обеспечивающей	да	да

гарантию качества лучевой терапии		
Количество действующих центров	1	1

На основании анализа технических характеристик, указанных в технической и эксплуатационной документации (приведенной в Таблице 1), изделие: «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия по назначению, сфере применения, функциональным возможностям, конструктивному исполнению, принципу работы, основным техническим характеристикам, а также степени безопасности, и изделие, ранее зарегистрированное в Российской Федерации: «Комплекс протонной терапии «Прометеус» с принадлежностями», производства ЗАО «ПРОТОМ», Россия, имеют несущественные различия по параметрам, габаритным размерам, весу и дизайну, которые не влияют на качество, эффективность и безопасность работы регистрируемого медицинского изделия, при неизменности функционального назначения и принципа действия медицинского изделия..

Выводы по сравнительному анализу свидетельствуют об эквивалентности медицинских изделий, обуславливают возможность принятия уполномоченным органом решения о взаимозаменяемости в соответствии с установленной процедурой.

Подписи:

Инженер-испытатель ЗАО «НИИМТ»  Д.М. Корендясев
должность, Ф.И.О.

Всего прошнуровано и скреплено
печатью 5 лист (об)



Генеральный директор
Вахрушев А. В.