

Объединённый институт ядерных исследований

# ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

Под общей редакцией И.Н. Мешкова, Г.В. Трубникова

ТОМ IV

Дубна, 2015



**И.Н. Мешков — научный руководитель проекта**

**Г.В. Трубников — руководитель проекта**

**А.В. Бутенко, А.О. Сидорин, Г.Г. Ходжибагиян — заместители руководителя проекта**

**Проект подготовлен авторским коллективом:**

**ОИЯИ** — А.С. Аверичев, Н.Н. Агапов, В.С. Александров, А.В. Алфеев, В.А. Андреев, А.М. Базанов, В.И. Батин, Н.А. Блинов, В.В. Борисов, О.И. Бровка, А.В. Бутенко, В.Н. Бучнев, В.П. Вадеев, Б.В. Василишин, А.В. Вишневский, В.И. Волков, А.Р. Галимов, А.И. Говоров, Д.С. Гогов, Б.В. Головенский, О.М. Голубицкий, Е.В. Горбачев, А.Ю. Гребенцов, А.П. Дергунов, Д.Е. Донец, Е.Д. Донец, Е.Е. Донец, В.М. Дробин, А.В. Дударев, А.В. Елисеев, Н.Э. Емельянов, В.М. Жабицкий, Е.В. Иванов, В.А. Исадов, В.Н. Карпинский, Г.В. Карпов, В.Д. Кекелидзе, А.Е. Кириченко, А.Г. Кобец, В.В. Кобец, А.Д. Коваленко, О.С. Козлов, С.Ю. Колесников, А.В. Константинов, С.А. Костромин, А.Р. Крылов, В.А. Крылов, А.В. Кудашкин, С.И. Кукарников, О.А. Кунченко, Л.В. Кутузова, Н.И. Лебедев, К.А. Левтеров, Р. Ледницы, Д.А. Люосев, А.А. Макаров, Х. Малиновски, В.А. Матвеев, И.Н. Мешков, Ю.А. Митрофанова, В.А. Михайлов, В.А. Мончинский, Н.В. Морозов, А.В. Нестеров, Д.Н. Никифоров, Ю.М. Ноженко, М.М. Омеляненко, А.Л. Осипенков, Р.В. Пивин, Н.В. Пиляр, Д.А. Понкин, Ю.В. Прокофьевичев, С.В. Рабцун, А.Ю. Рамздорф, С.В. Романов, П.А. Рукояткин, Т.В. Рукояткина, В.В. Сальников, С.Н. Седых, В.В. Селезнёв, Н.В. Семин, Е.В. Серочкин, А.О. Сидорин, А.И. Сидоров, В.М. Слепнёв, И.В. Слепнёв, А.В. Смирнов, З.И. Смирнова, А.С. Сорин, А.Ю. Стариков, Е.М. Сыресин, Г.Н. Тимошенко, Н.Д. Топилин, Г.В. Трубников, А.В. Тузиков, А.А. Фатеев, А.В. Филиппов, Н.А. Филиппов, В.В. Фимушкин, Г.Г. Ходжибагиян, А.В. Шабунов, В.С. Швецов, К.В. Шевченко, В.И. Шокин, В.М. Шумков, Н.А. Шурхно, А.А. Шурыгин, В.Ю. Щёголев

**В подготовке проекта участвовали:**

**ВЭИ им. В.И. Ленина** — М.П. Кокуркин, Н.Ю. Лысов

**ИЯИ РАН** — А.С. Белов, С.А. Гаврилов, Л.В. Кравчук, С.А. Крутихин, А.М. Пилан, П.И. Рейнгардт-Никулин, Е.А. Ротов

**ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН** — А.М. Батраков, М.И. Брызгунов, А.В. Бублей, Г.Я. Куркин, В.М. Петров, В.А. Полухин, А.В. Рева, А.Г. Трибендис, Г.А. Фатькин

**НИЦ «Курчатовский институт» ИТЭФ им. И.А. Алиханова** — В.А. Андреев, А.Е. Большаков, А.А. Голубев, А.В. Козлов, А.А. Коломиец, В.А. Кошелев, Г.Н. Кропачев, В.Г. Кузьмичев, Р.П. Куйбида, Т.В. Кулевой, Д.А. Лякин, А.С. Пластун, Д.Н. Селезнёв

**НИЦ «Курчатовский институт» ИФВЭ** — О.К. Беляев, Ю.А. Буданов, И.А. Звонарев, Н.Е. Тюрин

**НИЯУ МИФИ** — С.М. Полозов

**ИЯИЯЭ БАН, Болгария** — Д. Динев, В. Ангелов, А. Ангелов

**ИПИ САН, Словакия** — Р. Гаврила, И. Герек, Л. Ондриш

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ГЛАВА 8 СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКА, СИНХРОНИЗАЦИИ, УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ..9

Аннотация .....	11
<b>8.1 Диагностика пучков.....</b>	<b>11</b>
8.1.1 Трансформаторы тока пучка фирмы Vergoz .....	11
8.1.2 Позиционно-чувствительные пикап-электроды .....	16
8.1.3 Измерители частот бетатронных колебаний (Q-метры) .....	20
8.1.4 Ионизационные датчики .....	26
8.1.5 Мониторы потерь пучка .....	27
<b>8.2 Синхронизация измерительных и управляющих систем комплекса NICA .....</b>	<b>28</b>
<b>8.3 Автоматизированная система управления (АСУ) ускорительного комплекса NICA .....</b>	<b>33</b>
8.3.1 Общие требования .....	33
8.3.2 Структура АСУ .....	34
8.3.3 Сетевая инфраструктура .....	36
8.3.4 Промежуточное ПО (middleware) .....	36
8.3.5 Уровень доступа к оборудованию (Front-end).....	38
8.3.6 Клиентский уровень .....	40
8.3.7 Сервисный уровень .....	42
8.3.8 Интеграция сторонних систем управления .....	54
8.3.9 База данных АСУ .....	55
8.3.10 Дополнительные сервисы АСУ. ....	58
<b>Литература .....</b>	<b>59</b>
<b>ГЛАВА 9 РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА КОМПЛЕКСЕ NICA.....</b>	<b>61</b>
Аннотация .....	63
<b>9.1 Общие положения.....</b>	<b>63</b>
<b>9.2 Основные радиационные источники .....</b>	<b>64</b>
<b>9.3 Биологическая защита Коллайдера и радиационное зонирование помещений и территории вокруг него .....</b>	<b>67</b>
<b>9.4 Защита канала транспортировки пучка из Нуклотрона в Коллайдер.....</b>	<b>69</b>
<b>9.5 Защита Бустера и радиационное зонирование здания № 1 и территории вокруг него .....</b>	<b>69</b>
<b>9.6 Защита Нуклотрона .....</b>	<b>74</b>
<b>9.7 Система сигнализации и блокировок.....</b>	<b>76</b>
<b>9.8 Наведённая активность конструкционных деталей ускорителей .....</b>	<b>77</b>
<b>9.9 Активация воздуха в туннелях ускорителей .....</b>	<b>79</b>
<b>9.10 Активация грунта под ускорителями .....</b>	<b>81</b>
<b>9.11 Активация теплоносителей.....</b>	<b>81</b>

<b>9.12</b>	<b>Аварийные ситуации на комплексе .....</b>	<b>82</b>
<b>9.13</b>	<b>Радиационный контроль на комплексе .....</b>	<b>83</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1 К ГЛАВЕ 9.....</b>	<b>87</b>
<b>П.9.1</b>	<b>Оценка радиационной обстановки вокруг Бустера Нуклотрона при ускорении ионов <sup>197</sup>Au<sup>31+</sup> .....</b>	<b>89</b>
<b>П.9.1.</b>	<b>Заключение .....</b>	<b>106</b>
	<b>ГЛАВА 10 ИНФРАСТРУКТУРА, ЗДАНИЯ, ГЕОДЕЗИЯ.....</b>	<b>107</b>
	<b>Аннотация .....</b>	<b>109</b>
<b>10.1</b>	<b>Описание объекта капитального строительства .....</b>	<b>109</b>
10.1.1	Общее описание здания .....	109
10.1.2	Объёмно-пространственные и архитектурно-художественные решения .....	111
<b>10.2</b>	<b>Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, содержание технологических решений .....</b>	<b>112</b>
10.2.1	Технологические решения. Ускорительно-накопительный комплекс NICA .....	112
10.2.2	Основные решения .....	112
10.2.3	Краткое описание технологического процесса .....	114
<b>10.3</b>	<b>Системы и элементы канала Нуклотрон — Коллайдер.....</b>	<b>115</b>
10.3.1	Территориальное деление на участки каналов транспортировки пучка .....	115
10.3.2	Размещение элементов и систем канала транспортировки пучка .....	117
<b>10.4</b>	<b>Системы и элементы Коллайдера .....</b>	<b>118</b>
10.4.1	Размещение систем и элементов Коллайдера .....	119
10.4.2	Размещение общих инженерных систем .....	119
10.4.3	Система инжекции пучка в Коллайдер .....	120
10.4.4	Основные технико-экономические показатели систем Коллайдера .....	121
10.4.5	Включённые устройства Коллайдера .....	121
<b>10.5</b>	<b>Детекторы MPD/SPD .....</b>	<b>123</b>
<b>10.6</b>	<b>Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений .....</b>	<b>124</b>
10.6.1	Технологическое оборудование.....	124
10.6.2	Инженерное оборудование .....	124
10.6.3	Система электроснабжения .....	126
10.6.4	Система водоснабжения .....	128
10.6.5	Система водоотведения .....	128
<b>10.7</b>	<b>Геодезия .....</b>	<b>128</b>
10.7.1	Измерения на Синхрофазотроне 56-90 гг. ....	128
10.7.2	Измерения на Нуклотроне в 90-91 гг. ....	130
10.7.3	Измерения на Нуклотроне в 2008 г. ....	130
10.7.4	Анализ результатов .....	131
10.7.5	Технические требования на геодезическое обеспечение ускорительного комплекса NICA.....	132
10.7.6	Создание пунктов сети .....	133
10.7.7	Опорная сеть .....	133
10.7.8	Рабочие сети.....	133
10.7.9	Создание контрольных точек на магнитных элементах .....	134
10.7.10	Выполнение геодезических работ по монтажу ускорителей с требуемой точностью .....	134

10.7.11	Слежение за текущим положением магнитных элементов и обеспечение их юстировки .....	135
10.7.12	Общие вопросы .....	136
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1 К ГЛАВЕ 10.....</b>		<b>137</b>
<b>П.10.1 Компоновка помещений здания № 17 .....</b>		<b>139</b>
<b>ГЛАВА 11 КРИОГЕННАЯ СИСТЕМА .....</b>		<b>141</b>
<b>11.1</b>	<b>Введение.....</b>	<b>143</b>
<b>11.2</b>	<b>Развитие гелиевого криогенного комплекса в корпусе 1Б: ожижитель гелия ОГ-1000, развитие системы очистки гелия, мягкие газгольдеры .....</b>	<b>145</b>
11.2.1	Ожижитель гелия ОГ-1000 .....	145
11.2.2	Состав ожижителя ОГ-1000 .....	147
11.2.3	Краткое описание работы установки .....	150
11.2.4	Развитие системы очистки гелия .....	150
11.2.5	Мягкие газгольдеры .....	151
<b>11.3</b>	<b>Сооружение компрессорной станции в корпусе № 32.....</b>	<b>154</b>
11.3.1	Краткая характеристика реконструируемого здания, корпус № 32 .....	155
11.3.2	Характеристики гелиевого компрессора «Каскад-110/30» .....	159
11.3.3	Характеристики турбокомпрессора азотного АЭРОКОМ 2-197/18 УХЛ4 .....	162
11.3.4	Ожижитель азота ОА-1,3 .....	164
<b>11.4</b>	<b>Сателлитные гелиевые рефрижераторы Бустера и Коллайдера .....</b>	<b>175</b>
11.4.1	Назначение .....	175
11.4.2	Характеристики рефрижератора .....	175
11.4.3	Состав оборудования и описание работы рефрижератора .....	175
<b>11.5</b>	<b>Система ожижения и реконденсации азота .....</b>	<b>178</b>
11.5.1	Введение .....	178
11.5.2	Наименование и область применения .....	178
11.5.3	Технические характеристики .....	178
11.5.4	Реконденсатор азота .....	182
11.5.5	Ожижитель азота .....	186
11.5.6	Блок насосов .....	187
11.5.7	Блок компрессоров.....	188
11.5.8	Блок ресиверов .....	188
11.5.9	Газгольдер мягкий .....	188
11.5.10	Установка азотная транспортабельная АдА-0,100Т .....	188
11.5.11	Система управления .....	189
11.5.12	Технологические расчёты .....	191
11.5.13	Турбодетандерный агрегат .....	193
11.5.14	Теплообменники.....	193
11.5.15	Фильтры .....	194
11.5.16	Сепаратор .....	194
11.5.17	Организация работ .....	194
11.5.18	Обеспечение надёжности .....	195
11.5.19	Ожидаемые технико-экономические показатели .....	195
<b>11.6</b>	<b>Развитие систем хранения и транспортировки газообразного и жидкого гелия.....</b>	<b>195</b>
<b>11.7</b>	<b>Системы обратного водоснабжения компрессорных станций.....</b>	<b>196</b>
11.7.1	Градири открытого типа VTL-E.....	201
11.7.2	Принцип работы.....	204

<b>11.8</b>	<b>Криогенные трубопроводы для системы реконденсации азота, Бустера и Коллайдера .....</b>	<b>205</b>
<b>11.9</b>	<b>Создание центрального пульта управления и системы КИПиА криогенного комплекса ЛФВЭ ОИЯИ</b>	<b>206</b>
11.9.1	Назначение АСУТП .....	206
11.9.2	Технологические подсистемы комплекса .....	206
11.9.3	Особенности построения и функционирования АСУТП .....	206
11.9.4	Особенности АСУТП криогенного комплекса:.....	207
11.9.5	Отображение информации и программное обеспечение .....	207
11.9.6	Центральный пульт и хранение информации .....	208
11.9.7	Локальная сеть АСУТП .....	208
11.9.8	Условия функционирования .....	208
11.9.9	Реализация .....	209
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1 К ГЛАВЕ 11.....</b>	<b>211</b>
	<b>П.11.1 Протокол исследования воды в здании компрессорной станции Нуклотрона.....</b>	<b>213</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2 К ГЛАВЕ 11.....</b>	<b>215</b>
	<b>П.11.2 Чертежи трассировки трубопроводов азотной системы .....</b>	<b>217</b>



Глава 8  
Системы  
диагностики пучка,  
синхронизации,  
управления и  
контроля

---



## АННОТАЦИЯ

Ускорительный комплекс NICA включает в себя несколько ускорительных установок и каналов транспортировки пучков. Системы диагностики пучков инжекционного комплекса и каналов транспортировки описаны в соответствующих главах Технического проекта. В данной главе приводится описание основных диагностических устройств Бустера, Нуклотрона и Коллайдера, тестирование которых проведено в ходе сеансов Нуклотрона. В данной главе описана система управления комплекса NICA, основанная на взаимодействии компьютеров, включённых в сеть Ethernet, разбитую на сегменты, обслуживающие каждую подсистему комплекса. В качестве базовой платформы для разработки программного обеспечения выбрана современная система Tango, опытный сегмент которой так же успешно испытан в ходе сеансов существующего ускорительного комплекса.

### 8.1 ДИАГНОСТИКА ПУЧКОВ

Системы диагностики пучков Бустера, Нуклотрона и Коллайдера строятся на общих принципах с максимальным использованием однотипного оборудования. Эти системы на каждом из колец включают в себя следующие основные подсистемы, позволяющие проводить

- измерение тока пучка на основе трансформаторов тока;
- контроль положения равновесной орбиты с помощью позиционно-чувствительных пикап-электродов;
- измерение частот бетатронных колебаний;
- измерение профиля пучка с использованием ионизационных датчиков;
- мониторинг потерь частиц с помощью детекторов нейтронного излучения.

#### 8.1.1 Трансформаторы тока пучка фирмы Bergoz

Параметрический трансформатор тока (НРСТ, Рис. 8.1.1-5) [8.1.1] имеет следующие параметры:

- рабочие диапазоны  $\pm 20$  мА,  $\pm 200$  мА,  $\pm 2$  А,  $\pm 20$  А;
- выбор диапазона цифровым сигналом;
- выходной сигнал  $\pm 10$  В;
- выходная частота до 8 кГц в диапазоне  $\pm 20$  мА;
- время отклика  $< 5$  мкс;
- чувствительность для модели с очень высоким разрешением 0,5 мкА;
- нелинейность  $< 0,1$  %;
- апертуры от 55 до 245 мм (8 значений);
- размер в направлении движения пучка 120 мм;

- возможность тестирования подачи тока 100 мА в сенсор от внутреннего генератора;
- максимальная температура нагрева 100 °С.



Рис. 8.1.1. Параметрический трансформатор тока с аппаратурой первичной обработки сигналов



Рис. 8.1.2. Параметрический трансформатор тока для установки в вакуумную камеру

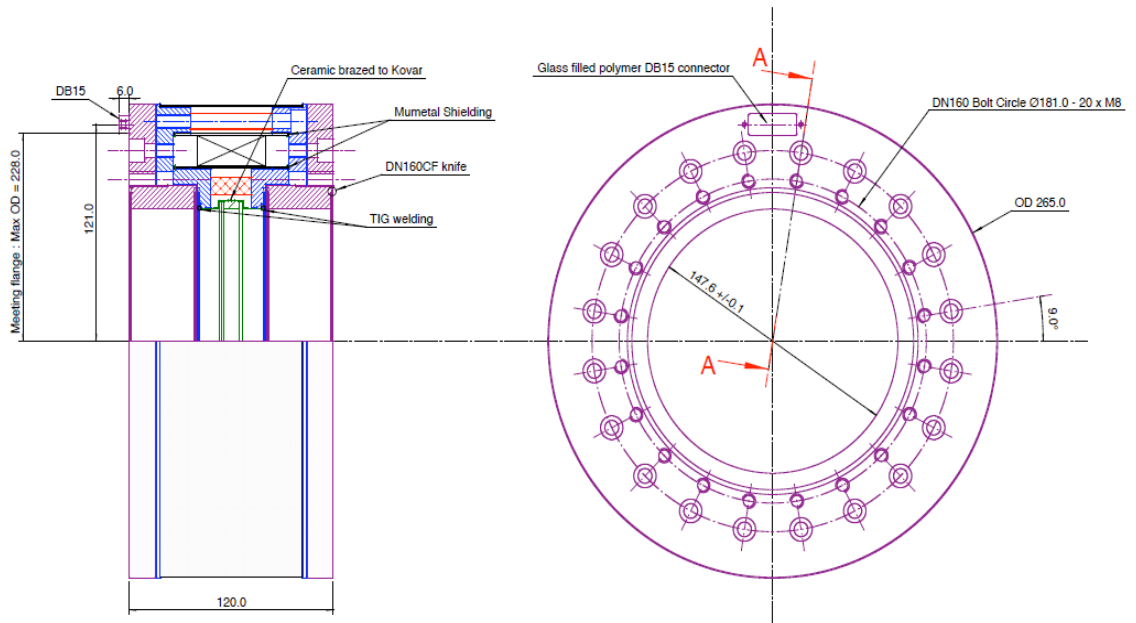


Рис. 8.1.3. Чертёж трансформатора для Бустера

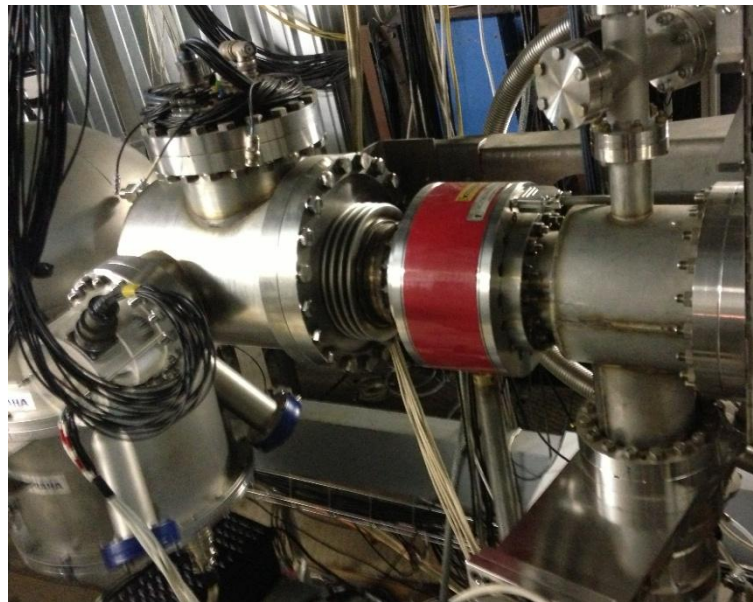


Рис. 8.1.4. Параметрический трансформатор и ионизационный датчик на кольце Нуклотрона

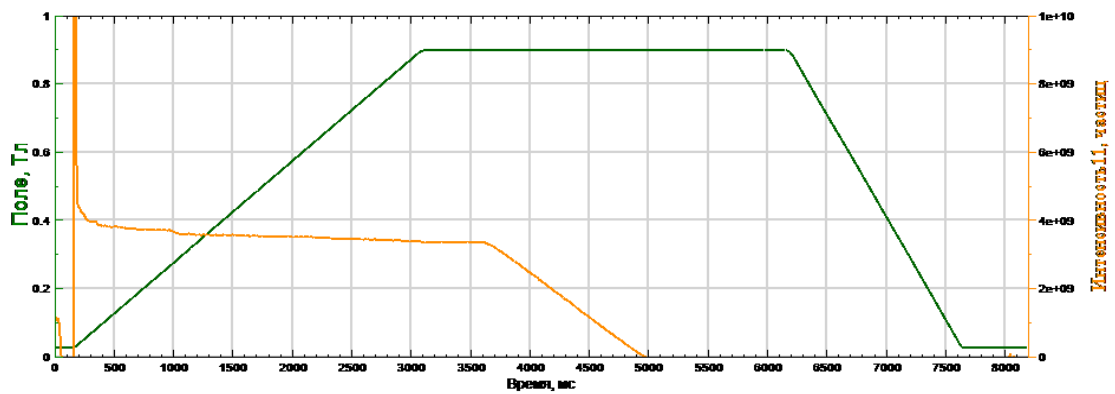


Рис. 8.1.5. Форма отображения информации

Параметры быстрого трансформатора тока (ФСТ, Рис. 8.1.6-11):

- диапазон частот до 1,75 ГГц;
- время нарастания сигнала 200 пс;
- спад плоской вершины выходного сигнала 0,1 %/мкс;
- нижняя частота рабочего диапазона до 160 Гц;
- чувствительность 5 В/А;
- отношение числа витков первичной/вторичной обмоток 5/1;
- апертуры от 16 до 178 мм (6 значений);
- размер в направлении движения пучка 40 мм;
- максимальная температура нагревания 185 °С.



Рис. 8.1.6. Быстрый трансформатор тока



Рис. 8.1.7. Быстрый трансформатор тока для установки в вакуумную камеру

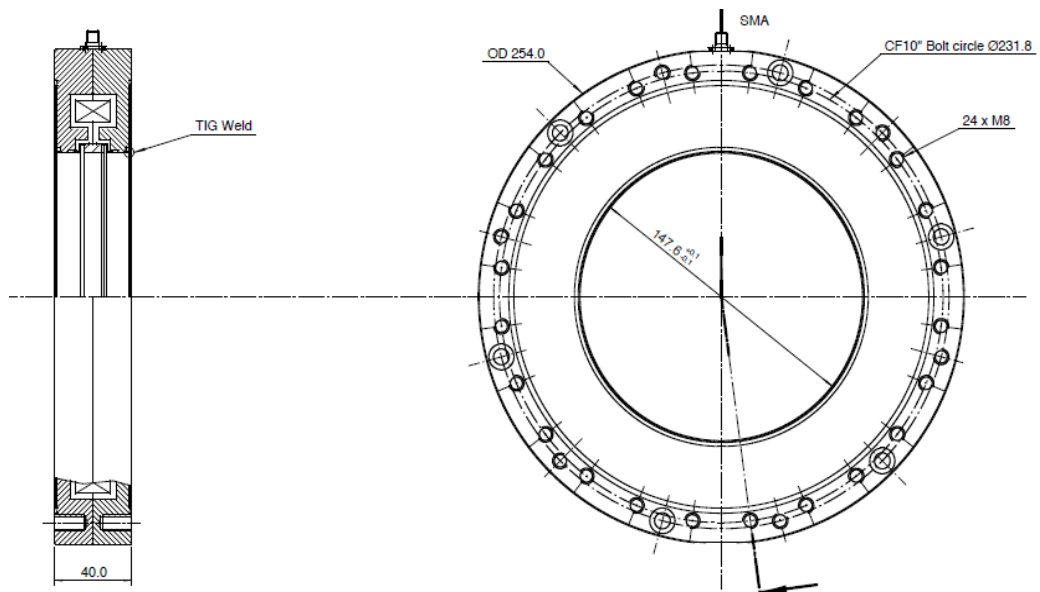


Рис. 8.1.8. Чертёж трансформатора для Бустера

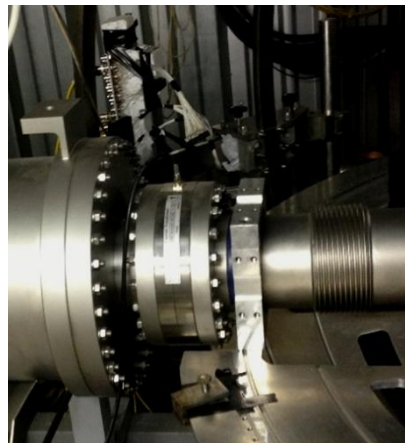


Рис. 8.1.9. Быстрый трансформатор тока на кольце Нуклотрона



Рис. 8.1.10. Усилитель напряжения

Для первичной обработки сигналов от быстрого трансформатора тока применяется широкодиапазонный усилитель напряжения Femto [8.1.2] DHPVA-200 (Рис. 8.1.8). Диапазон частот сигналов  $0 \div 200$  МГц, управляемый коэффициент усиления от 10 до 60 дБ. Максимальная чувствительность FCT + DHPVA  $\rightarrow 5$  В/мА.

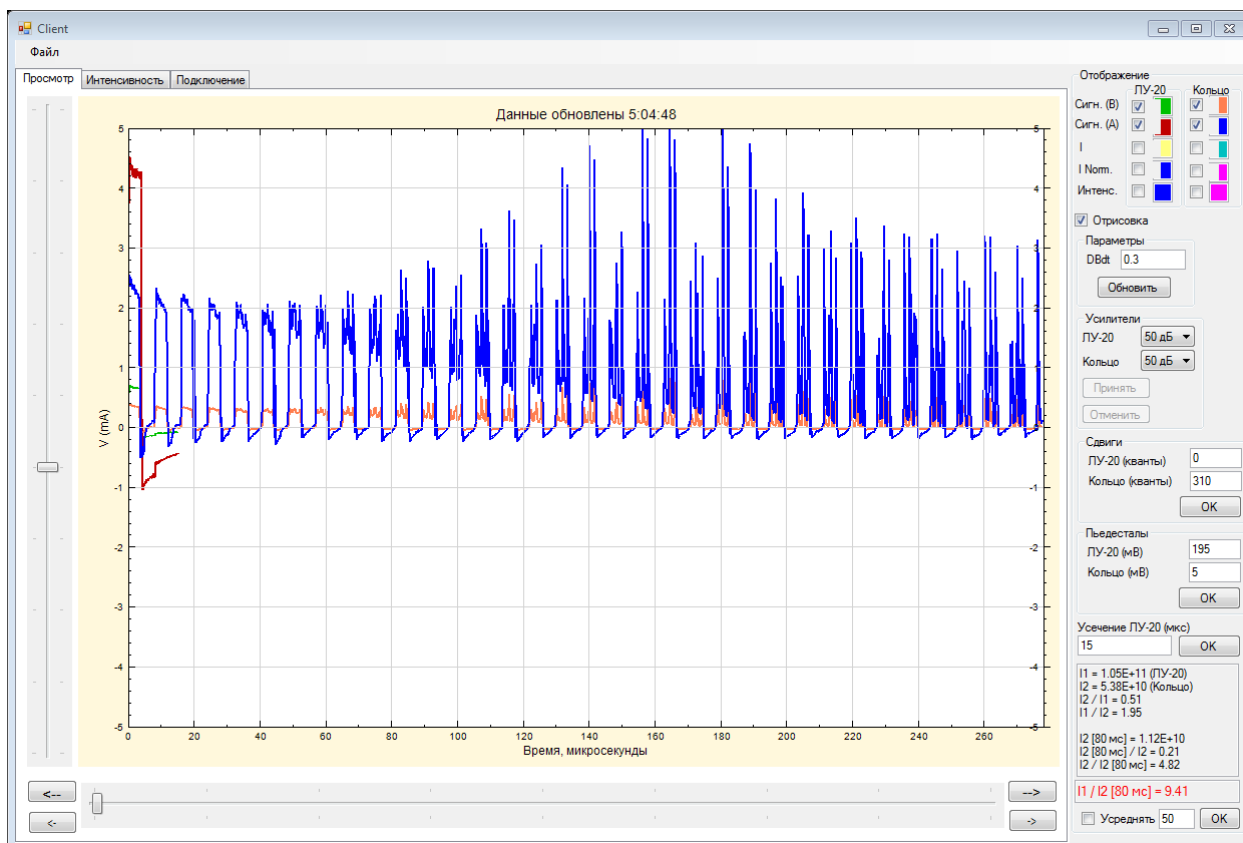


Рис. 8.1.11. Один из видов отображения информации — захват пучка в режим ускорения

## 8.1.2 Позиционно-чувствительные пикап-электроды

Пикап-электроды (ПЭ) предназначены для измерения положения центра тяжести пучка. Представляют собой разрезные цилиндры с эллиптическим поперечным сечением с диагональными разрезами (зазорами). Особенности конструкций рассмотрены на примере пикап-электродов Бустера, установленных между структурными линзами и дипольными магнитами.

Датчики блока линз размещены в цилиндрическом боксе, являющимся элементом высоковакуумной камеры Бустера (Рис. 8.1.12, Рис. 8.1.17). Размер каждой пары ПЭ по ходу пучка 190 мм, внутренние поперечные размеры 130 мм (горизонталь) × 65 мм (вертикаль). Величина зазоров между сигнальными электродами 2 мм. Функции охранных элементов пикап-электродов на торцах цилиндрического бокса выполняют мембраны, между электродами установлена эллиптическая заземлённая вставка (зона корректора магнитного поля) длиной 260 мм. ПЭ фиксируются в боксе с помощью проходных изоляторов VaCCer (ВаККер) [8.1.3] (Рис. 8.1.13).

Горизонтально-чувствительные ПЭ устанавливаются вблизи линзы  $F$ , вертикально-чувствительные — возле линзы  $D$ . Точность установки электродов относительно геометрической оси блока линз Бустера  $\pm 0,2$  мм.



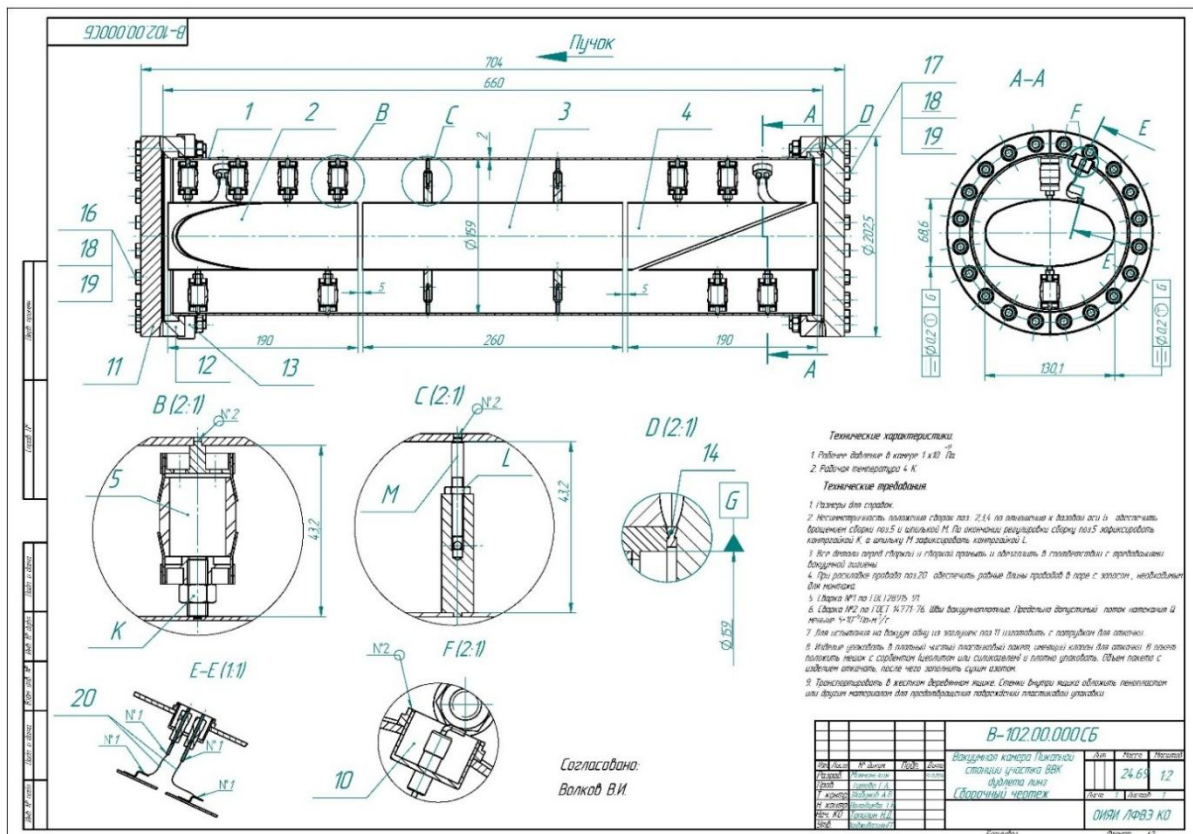


Рис. 8.1.12. Сборочный чертёж пикап-электродов блока линз

Сигналы из высоковакуумной камеры выводятся в криостат через свариваемые вакуумные соединители Solid Sealing Technology Inc. [8.1.4] (Рис. 8.1.14) с использованием провода CAP 10 MDC Vacuum Limited [8.1.5] (Рис. 8.1.15). Соединители устанавливаются на верхней поверхности цилиндрического бокса. Из криостата сигналы выводятся с помощью 6-контактных разъёмов CeramTec [8.1.6] (Рис. 8.1.16).



Рис. 8.1.13. Проходной изолятор ВаККер

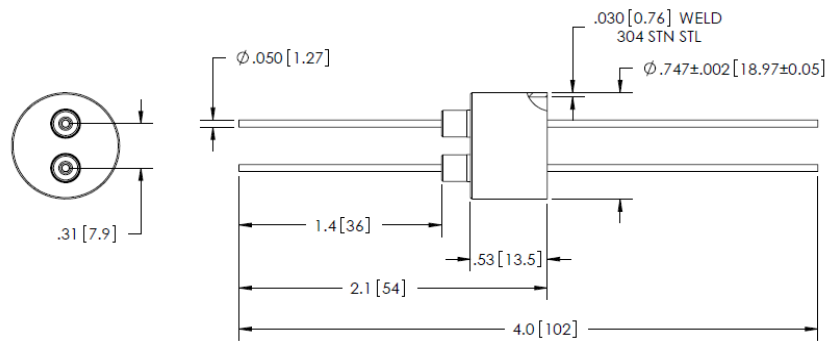
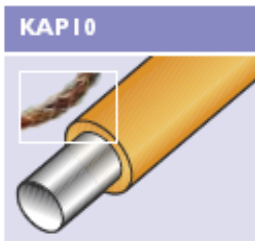


Рис. 8.1.14. Ввариваемый соединитель Solid Sealing Technology Inc

### UHV 1mm diameter wire



Cable type	Cable length	Jacket dia.	Wire dia.	Reference	Part number
Plain	10m	1.52	1.0	KAPI0	1512009

Resistance of 22.6Ω/km, a voltage rating of 3.6kV AC, 5kV DC and a current of 10A

Рис. 8.1.15. Провод MDC Vacuum Limited

Solder Cup Weldable	NO. PINS	PIN TYPE	INSTALLATION	DIMENSIONS		PART NUMBER
				A	B	
	3	Solder Cup	Weld	0.745 [18.92]	0.51 [13.0]	16010-02-W
	6	Solder Cup	Weld	0.870 [22.10]	0.51 [13.0]	16011-02-W
	10	Solder Cup	Weld	0.995 [25.27]	0.51 [13.0]	16012-02-W
	19	Solder Cup	Weld	1.120 [28.45]	0.51 [13.0]	16013-02-W
	32	Solder Cup	Weld	1.370 [34.80]	0.51 [13.0]	16014-02-W

Air Side Plug	TYPE	VOLTAGE DC	CONDUCTOR AMPS	NO. CONTACTS	DIMENSIONS		PART NUMBER
					H	L	
	Air Side	1 kV	1	3	0.8 [20]	1.9 [48]	16060-01-A
	Air Side	1 kV	1	6	1.0 [25]	1.9 [48]	16060-02-A
	Air Side	1 kV	1	10	1.0 [25]	1.9 [48]	16060-03-A
	Air Side	1 kV	1	19	1.2 [31]	1.9 [48]	16060-04-A
	Air Side	1 kV	1	32	1.4 [36]	2.1 [53]	16060-05-A
	Air Side	1 kV	1	41	1.5 [38]	2.3 [58]	16060-06-A

Рис. 8.1.16. Многоконтактные разъёмы CeramTec

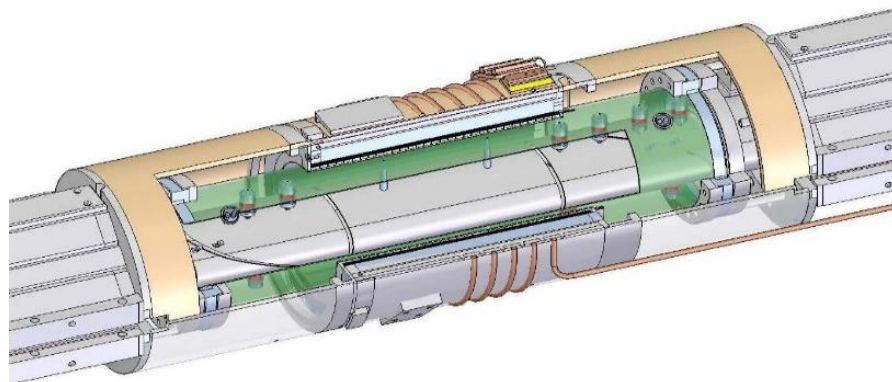


Рис. 8.1.17. 3D модель пикап-электродов блока линз

Конструкция пикап-электродов между магнитами отображена на Рис. 8.1.18, Рис. 8.1.19.

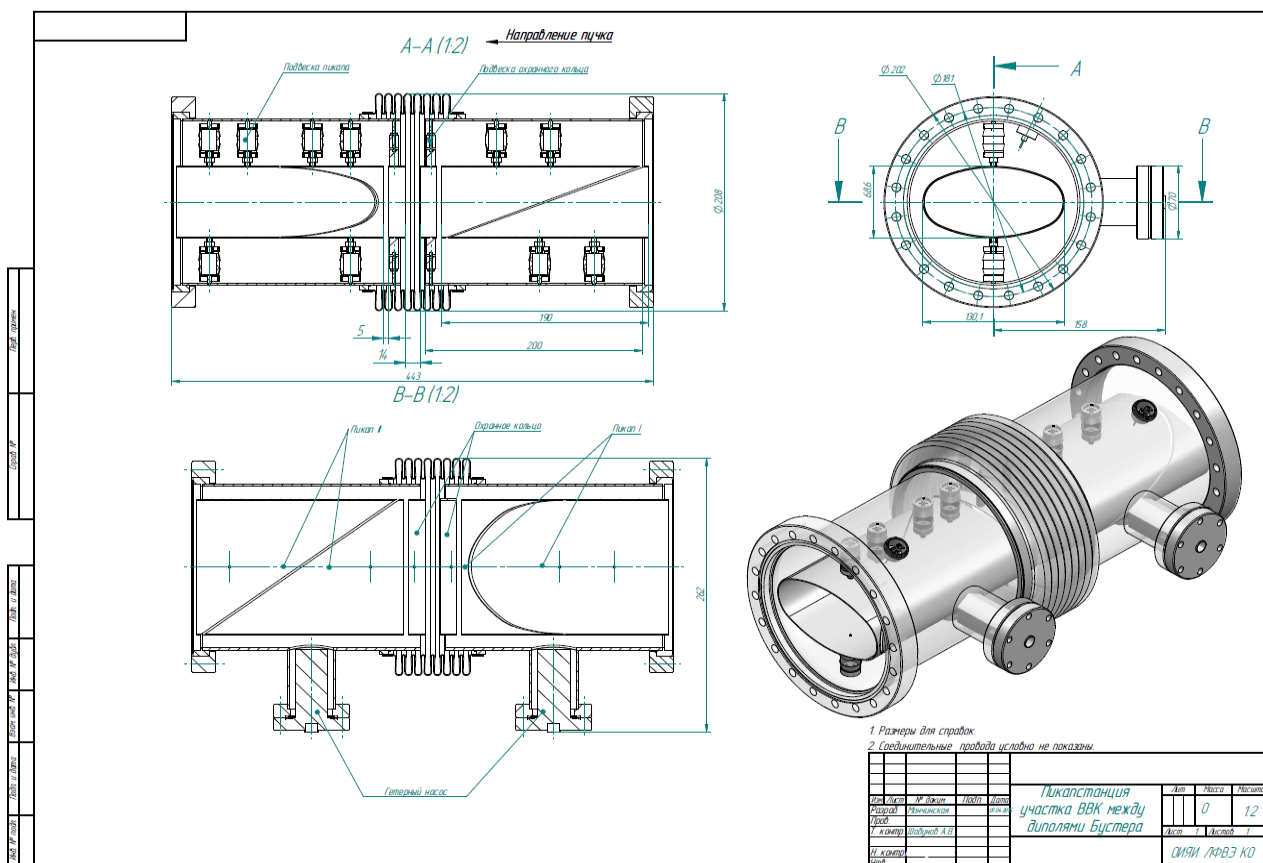


Рис. 8.1.18. Сборочный чертёж пикап-электродов между магнитами

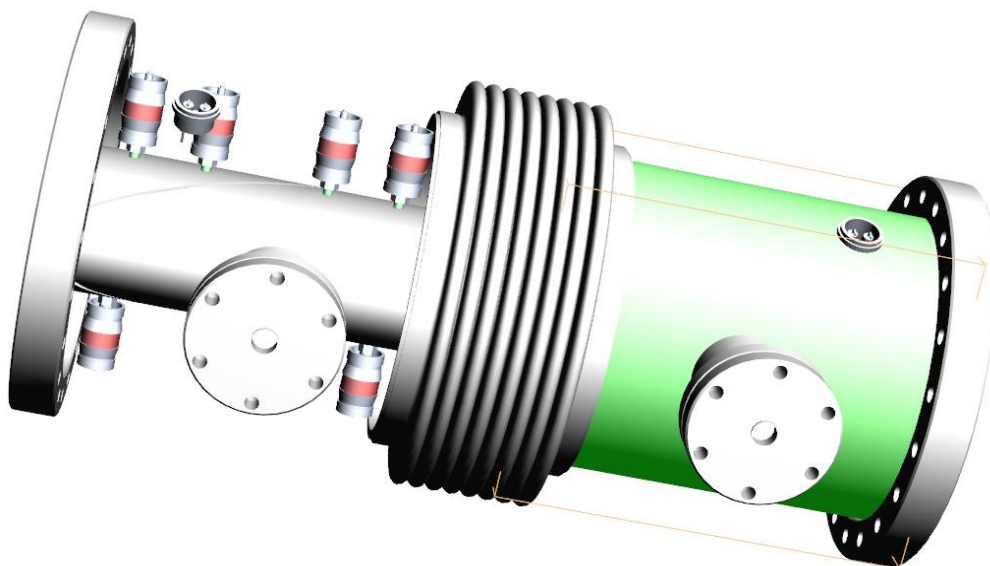


Рис. 8.1.19. 3D модель пикап-электродов между магнитами

Регистрация сигналов от датчиков положения пучка производится с использованием четырёхканальных модулей ВРМ4100 (Рис. 8.1.20), содержащих 14-битные аналого-цифровые преобразователи с частотой дискретизации 100 МГц [8.1.7].



Рис. 8.1.20. Модуль ВРМ4100

### 8.1.3 Измерители частот бетатронных колебаний ( $Q$ -метры)

Состав аппаратуры и функционирование измерителей рассмотрены на примере  $Q$ -метра Нуклотрона. Измерение частот бетатронных колебаний производится методом резонансного возбуждения когерентных поперечных колебаний пучка. Раскачка колебаний производится электрическими кикерами  $X$  и  $Z$  (Рис. 8.1.21, Рис. 8.1.22). Длина каждой пары пластин кикеров составляет 600 мм, зазоры между пластинами 120 мм. Общий вид участка кикеров представлен на Рис. 8.1.23.

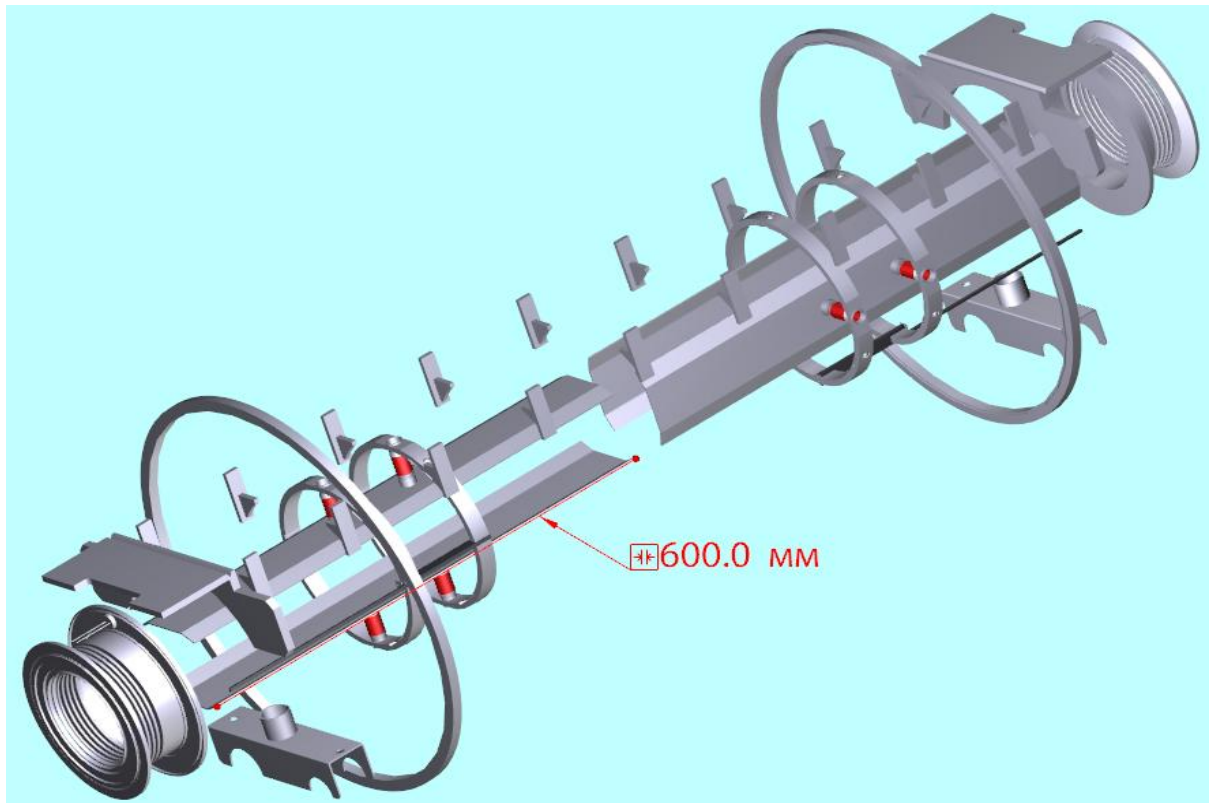
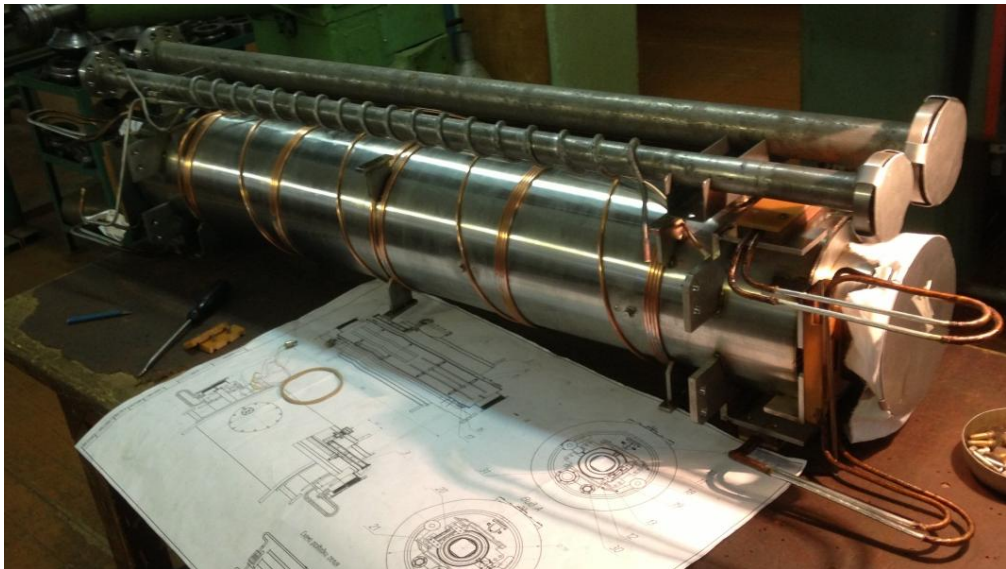


Рис. 8.1.21. 3D модель кикеров



*Рис. 8.1.21. Модуль кикеров*

На пластины кикеров от усилителя мощности AR 800A3A [8.1.8] (Рис. 8.1.24) через согласующие трансформаторы подаются в противофазе синусоидальные напряжения. Мощность усилителя 800 Вт, диапазон частот 10 кГц ÷ 3 МГц.



*Рис. 8.1.22. Участок кикеров на кольце Нуклотрона*



Рис. 8.1.23. Усилитель мощности

Регистрация когерентных колебаний пучка производится позиционно-чувствительными пикап-электродами. Для увеличения уровней сигналов перед оцифровкой применяются усилители сигналов от пикапов-электродов с регулируемым усилением в диапазоне от 5 до 400 и четырёхканальные усилители Tegal с фиксированным усилением 10 на стороне обрабатывающей электроники. После оцифровки сигналов выполняется быстрое преобразование Фурье (БПФ) и определяется резонансная частота возбуждения.

В первоначальной версии Q-метра (Рис. 8.1.25) использовался функционально достаточный набор приборов (генератор, дигитайзер, анализатор спектра, компьютер, аналоговые ключи). Недостатки такого подхода — низкая скорость обработки сигналов, а также невозможность синхронизации измерений с сигналом ВЧ кикера.

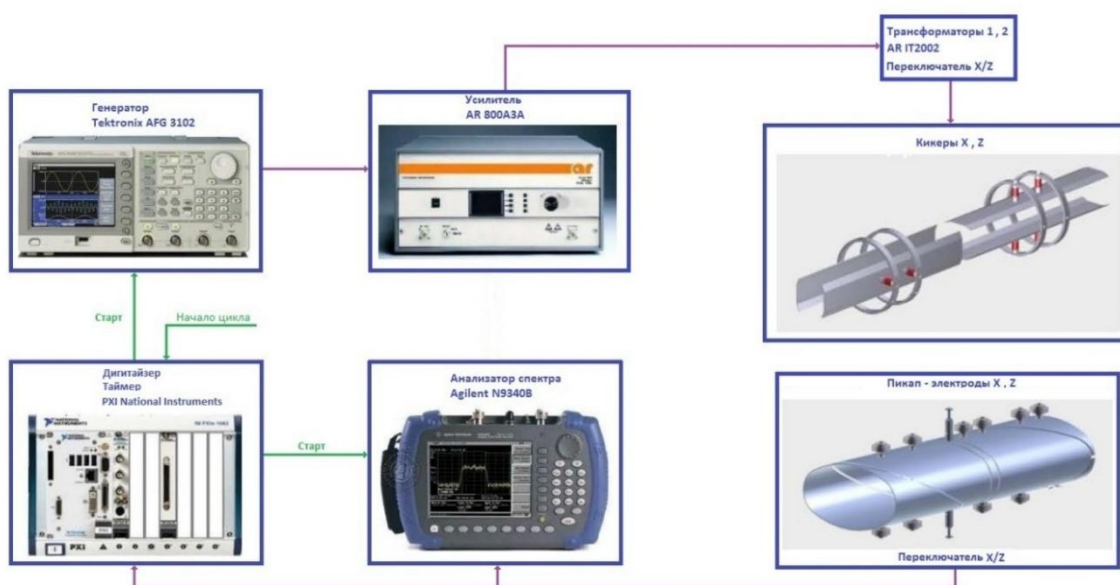


Рис. 8.1.24. Структурная схема первоначального варианта Q-метра

Рабочий вариант построен на базе блока FlexRIO PXIe-7962 National Instruments [8.1.9], содержащего ПЛИС (FPGA) Virtex-5 SX50T и 512 Мб встроенной памяти DDR2 (Рис. 8.1.26).

Оцифровка разностных сигналов поперечного отклонения пучка, привязка к началу инъекции и сигналу ВЧ, а также генерирование сигналов возбуждения производится с использованием многофункционального модуля DAQ (Рис. 8.1.27). Модуль содержит аналоговый канал для синхронизации с началом цикла, два канала АЦП (14 бит, 40 MSps), программируемый полосовой аналоговый фильтр 5-го порядка (-40 Дб подавление гармоник вне полосы), два канала ЦАП (14 бит, 100 MSps) для генерации сигналов произвольной формы и имеет возможность применения либо внутренней, либо внешней тактовой частоты. Все входные и выходные каналы гальванически развязаны с помощью ВЧ-трансформаторов.

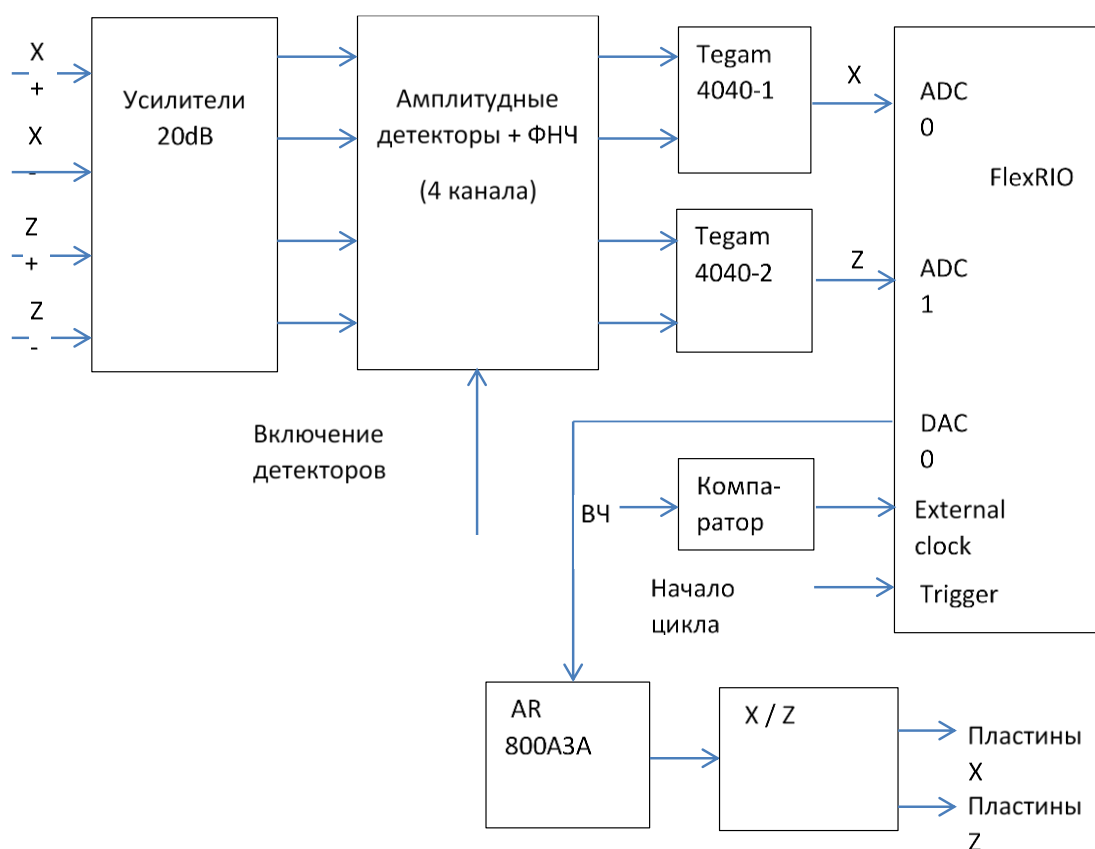


Рис. 8.1.25. Структурная схема измерителя частот бетатронных колебаний



Рис. 8.1.26. Модуль DAQ

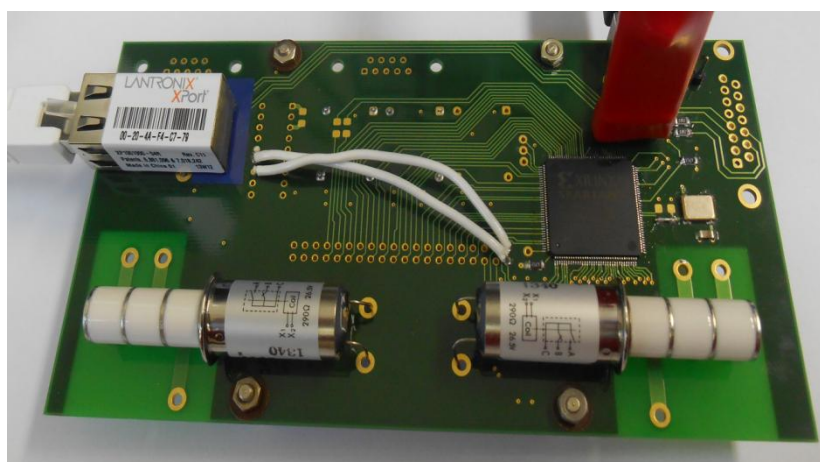


Рис. 8.1.27. Коммутатор сигналов

Для коммутации сигналов на пары пластин плоскостей X и Z разработан модуль (Рис. 8.1.28) на основе высоковольтных мощных (5 кВ, 1 А) реле Gigavac, управляемый удалённо через Ethernet.

Возбуждение колебаний пучка производится одним из двух методов — сканированием частоты и белым шумом, ограниченным по полосе. Проведены измерения частот бетатронных колебаний, как с фиксированной частотой оцифровки, так и с переменной частотой, соответствующей частоте оборотов частиц пучка. В последнем случае спектр сигнала, полученный в результате быстрого Фурье-преобразования, выражается в нормированной частоте от 0 до половины оборотной частоты, то есть положение резонансного пика представляет собой дробную часть бетатронного числа без дополнительных вычислений.



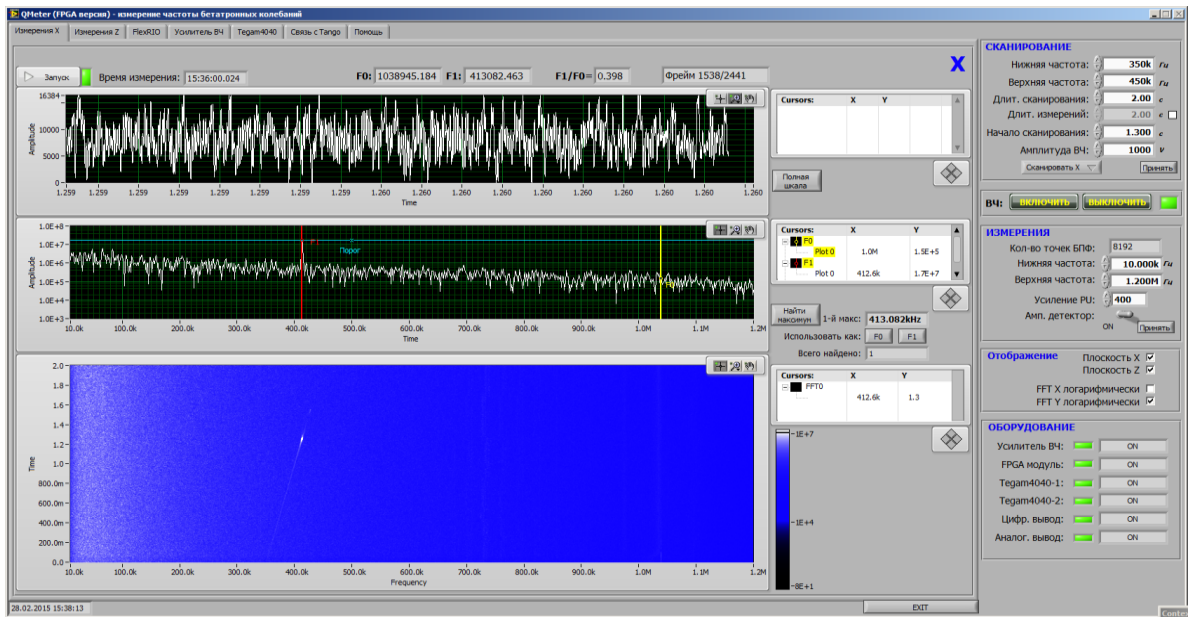


Рис. 8.1.28. Измерения на плато магнитного поля с фиксированной частотой оцифровки, воздействие сканированием

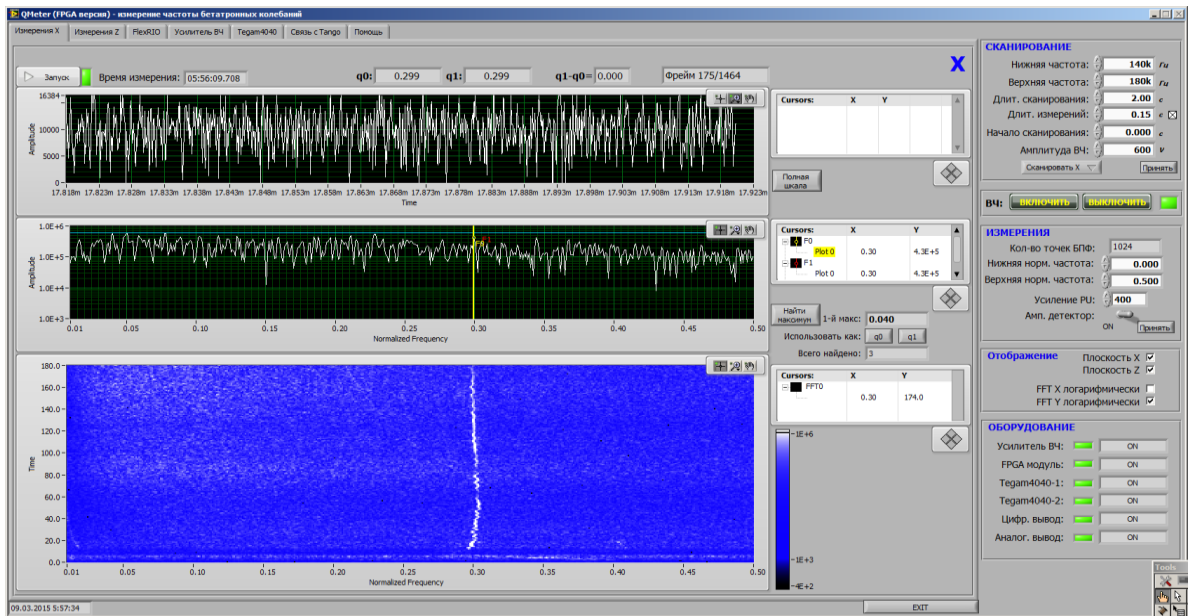


Рис. 8.1.29. Измерения от начала инъекции в процессе ускорения с переменной частотой АЦП; плоскость X, воздействие шумом

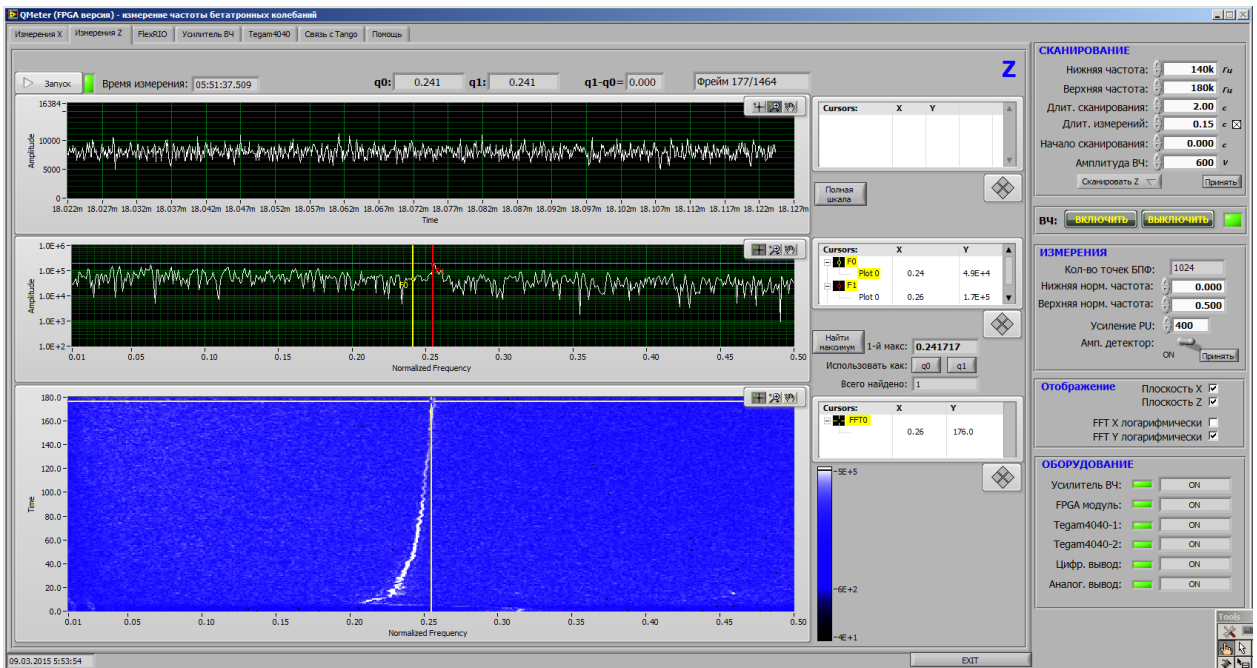


Рис. 8.1.30. Измерения от начала инжекции в процессе ускорения с переменной частотой АЦП; плоскость Z, воздействие шумом

#### 8.1.4 Ионизационные датчики

Ионизационные мониторы [8.1.10, 8.1.11, 8.1.12] детектируют электроны или ионы, образовавшиеся в результате ионизации остаточного газа в камере ускорителя (Рис. 8.1.32-34). Регистрация продуктов ионизации производится с использованием микроканальных пластин (MCP).

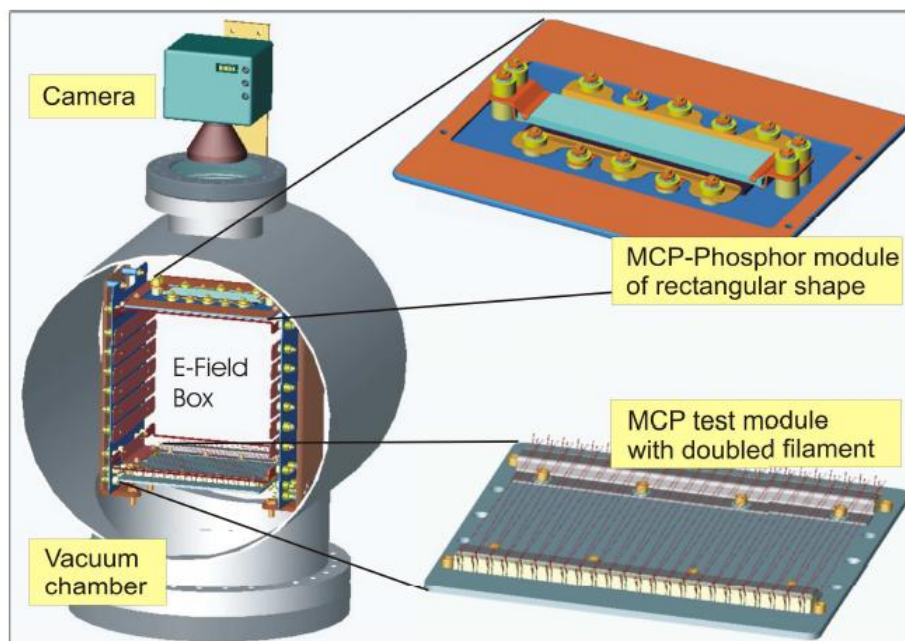


Рис. 8.1.31. Профилетр на основе ионизации остаточного газа

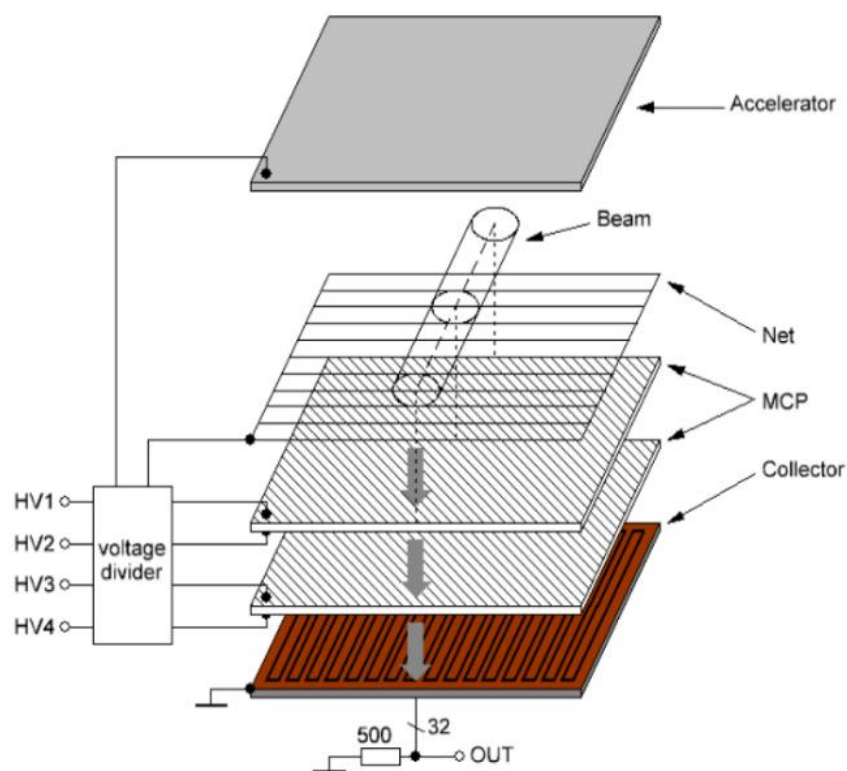


Рис. 8.1.32. Пример схемы ионизационного датчика

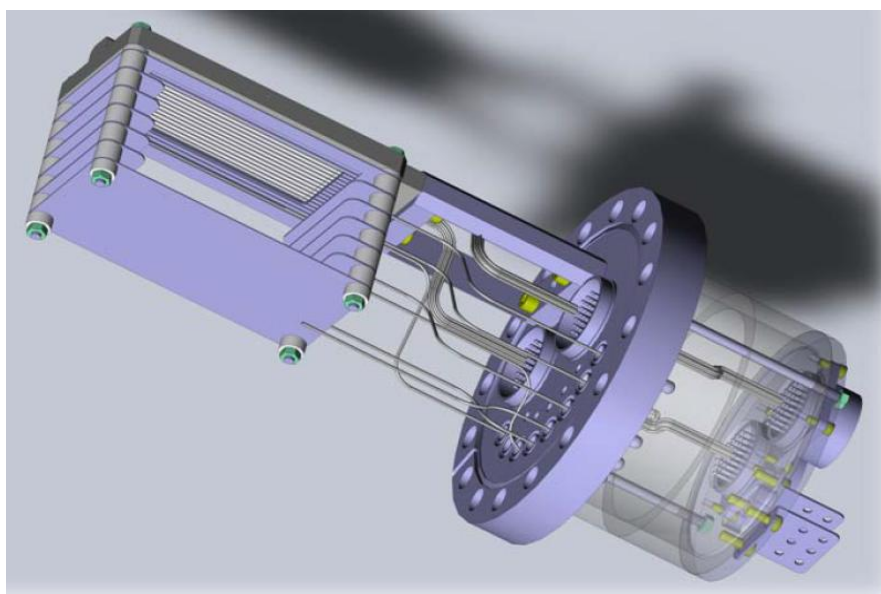


Рис. 8.1.33. Вариант конструкции ионизационного датчика

### 8.1.5 Мониторы потерь пучка

Регистрация потерь пучка производится детекторами нейтронного излучения БДКН-96 [8.1.13] (Рис. 8.1.35), имеющими следующие параметры:

- диапазон измерения плотности потока нейтронов, нейтрон/(с·см<sup>2</sup>) — 0,1 ÷ 10<sup>4</sup>;
- тип детектора — <sup>3</sup>He пропорциональный счётчик в полиэтиленовом замедлителе;
- габаритные размеры — 100 × 300 мм.



Рис. 8.1.34. Блок детектирования нейтронов

## 8.2 СИНХРОНИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ КОМПЛЕКСА NICA

Измерительные и управляющие системы комплекса расположены на значительной территории и расстояния между отдельными узлами составляют несколько сот метров. Так, расстояние линии связи от главной пультовой комплекса (здание № 2 ЛФВЭ) до центра колец Бустера и Нуклотрона составляет около 450 м. Расстояние от этого центра до детектора MPD на Коллайдере 800 м, до детекторов в здании № 205 (BM@N, например) — около 250 м. Поэтому характерные времена задержек сигнала от главной пультовой до исполнительных элементов ускорительного комплекса составляют (кабель Ethernet, задержка около 5 нс/м) порядка  $1 \div 3$  мкс при температурном отклонении  $10^{-3}$  на градус. При этом весь комплекс должен работать в единой временной шкале, а отдельные подсистемы должны быть синхронизированы во времени с необходимой точностью. В Таблице 8.2.1 приведены предварительные оценки необходимой точности включения сигналов управления (допустимому разбросу момента включения — jitter'y). Точность временной привязки должна быть долговременной, надёжной и не зависеть от внешних факторов: температуры, влажности и др.

Таблица 8.2.1. Требования к точности включения систем впуска/выпуска частиц ускорителей комплекса NICA

Ускоритель	Система	Точность включения (jitter), нс
НІLАС	Инжекция из КРИОНа	$\pm 200$
	Выпуск	$\pm 200$
Бустер	Инжекция	$\pm 200$
	Выпуск	$\pm 10$
Нуклотрон	Инжекция	$\pm 10$
	Выпуск	$\pm 10$
Коллайдер	Инжекция	$\pm 10$
	Сброс пучка	$\pm 50$

Командные сигналы разделяются на две принципиально разные группы. Первая группа — команды, подаваемые с главного пульта автоматизированной системой управления ускорительным комплексом. Они неизбежно приходят к исполнительным устройствам ускорителей с указанной выше задержкой. Эти команды играют роль триггеров, запускающих исполнение

программ управления исполнительными элементами внутри систем управления элементами ускорительного комплекса. Требования к точности и стабильности этих команд относительно более мягкие. Примером такой команды может служить сигнал, выключающий систему ВЧ-1 и включающий систему ВЧ-2 Коллайдера по окончании процесса накопления (см. Введение и Гл. 7). Вторая группа — команды, подаваемые автоматизированной системой управления внутри элементов ускорительного комплекса с передачей соответствующей информации на главный пульт управления. К их параметрам предъявляются наиболее жёсткие требования точности и стабильности. Например, команды управления устройствами выпуска пучка из Нуклотрона и инъекции в Коллайдер (Таблица 8.2.1). К этой же группе относятся разного рода «аварийные» команды, которые подаются от датчиков параметров пучков в ускорителях комплекса и его различных устройств. Например, команда на сброс пучка при росте потерь частиц или закрытие вакуумного шиберов при нарушении вакуумных условий в ускорителе.

На крупных ускорительных комплексах ЦЕРН, лаборатории им. Ферми (США), ИЯФ им. Г.И. Будкера, и др., накоплен богатый опыт создания систем синхронизации. Этот опыт будет использован при разработке системы синхронизации ускорительного комплекса NICA.

Важным параметром измерительных и управляющих систем является стабильность частот их задающих генераторов.

Традиционные способы организации передачи управляющих импульсов и опорных частот по кабельным линиям требуют ручной подстройки временной задержки при изменении длины кабеля и необходимы специальные устройства для организации горячего резервирования для повышения надёжности и простоты обслуживания линий связи.

Решение поставленных задач возможно при использовании системы «White Rabbit» (WR). Система позволяет строить распределённые сети, позволяющие синхронизовать события в абсолютной временной шкале с точностью лучше 1 нс, разрешением  $10 \div 100$  пс и компенсацией температурных дрейфов кабельных цепей. Передача данных происходит по протоколам и линиям связи 1 Gb Ethernet. Сеть может включать до тысячи узлов. Это открытый и активно развивающийся проект. На Рис. 8.2.1 показана структура сети WR.

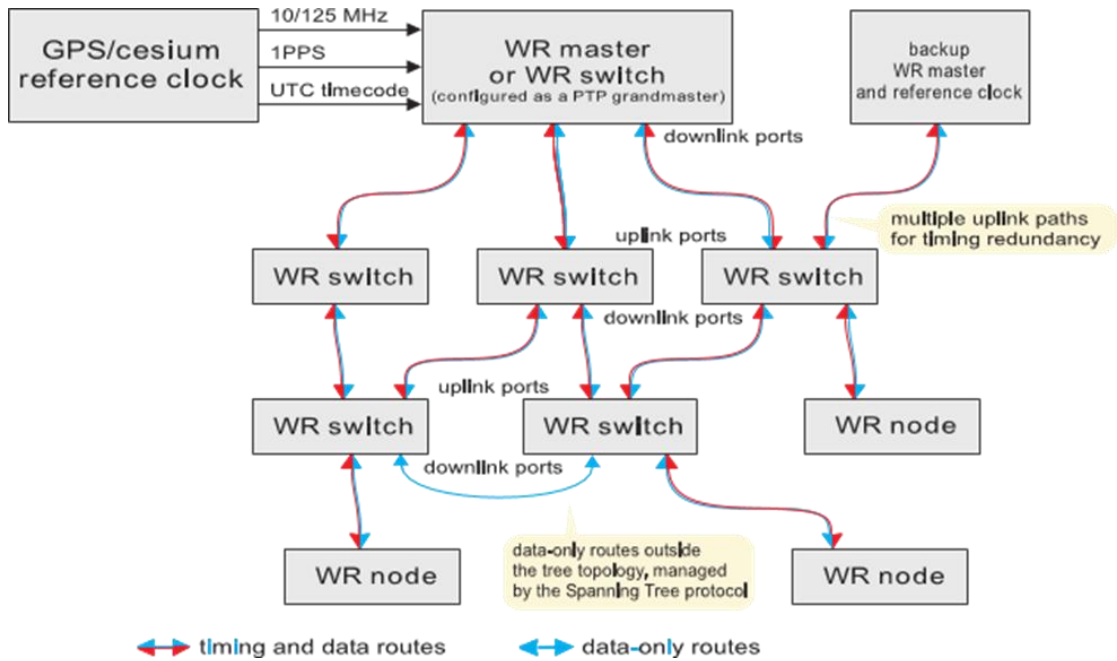


Рис. 8.2.1. Блок схема организации сети WR

Здесь, GPS/cesium reference clock — генератор опорных частот привязанных по фазе к сигналам 1PPC (pulse per second) и глобальной временной метки — UTC timecode; WR master — WR switch генератор посылок по протоколу PTP (Precision Time Protocol) и контролирующей фазу опорных частот нижестоящего WR switch. Иерархия подключения определяется режимом работы порта коммутатора (WR switch) uplink port/downlink port; WR node — узел WR сети. Это может быть устройство или подсистема требующая синхронизации своих действий во времени; Timing and data routes — линии связи, по которым осуществляется временная привязка и обмен стандартными Ethernet посылками; Data only routes — линии связи обмена стандартными Ethernet посылками.

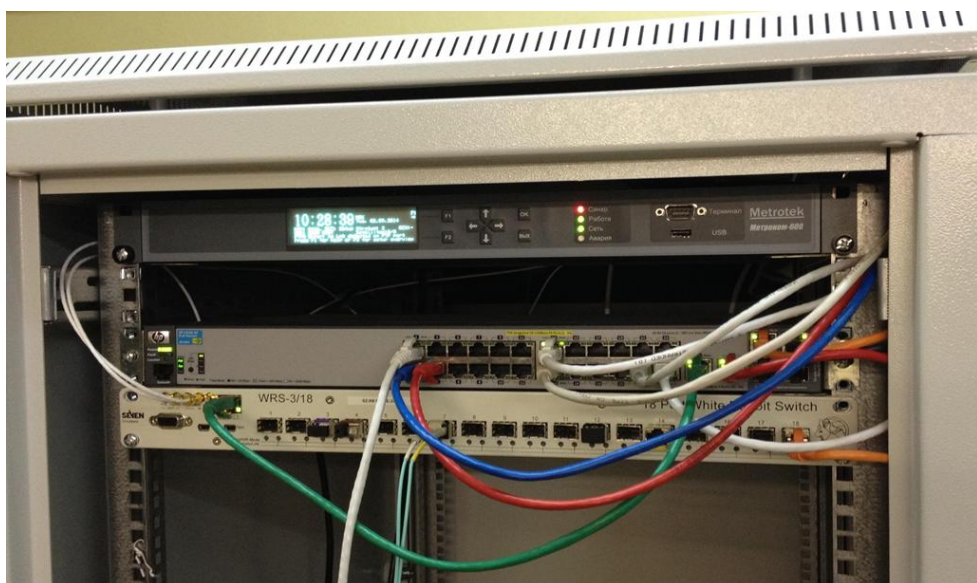


Рис. 8.2.2. Внешний вид оборудования верхнего уровня WR сети; сверху-вниз: приёмник времени GPS/GLONASS METPOHOM-600, Ethernet коммутатор, WR switch (Grand Master)

Система временной синхронизации WR находит применение на физических и ускорительных установках. Так в проекте FAIR (Германия) система WR используется для создания GENERAL MACHINE TIMING SYSTEM (единой системы временной синхронизации верхнего уровня). Для синхротрона PS в ЦЕРН разрабатывается система синхронизации на основе сети WR для обеспечения синхронными данными о величинах полей в магнитной структуре ускорителя и управления ВЧ системой (B-TRAIN).

Применение WR на установке BM&N позволило провести синхронизацию измерений по время-пролётной методике с помощью аппаратуры, расположенной в нескольких крейтах VME. Временное разрешение составило менее 50 пс.

Блоки, разработанные в ЛФВЭ (Рис. 8.2.3), позволяют проводить синхронизованные WR измерения. Эти блоки, включённые в сеть WR, позволяют выдавать логические сигналы и делать аналоговые измерения «привязанные» к абсолютному времени с субнаносекундной точностью не зависимо от расположения в сети и удалённости.

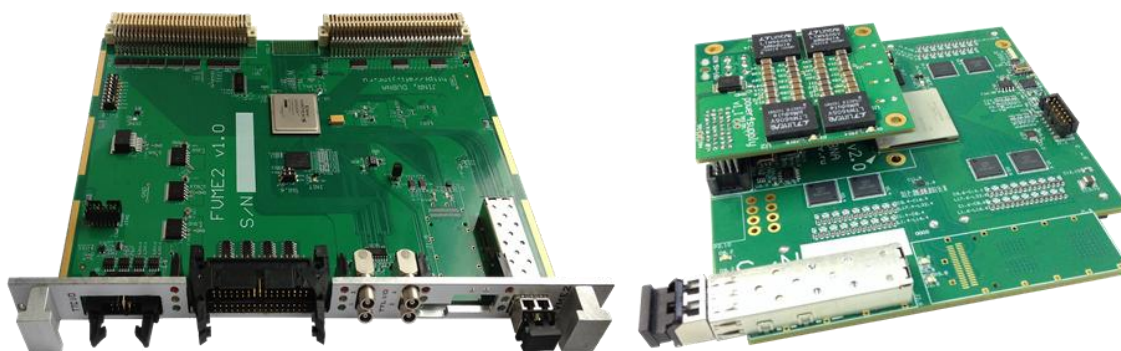


Рис. 8.2.3. Блоки VME64x Trigger Logic Board, имеющий 32 входа/выхода стандарта LVDS и 4 TTL (слева) и блок 64-х канального 13 разрядного АЦП с частотой оцифровки 65 МГц (справа)

Использование WR в существующих и работающих системах предполагает их подключение через вспомогательные блоки рождающие управляющие сигналы и частоты, синхронизованные с глобальным временем.

Во вновь создаваемых системах необходимо закладывать узлы временной синхронизации WR.

Структура сети WR будет строиться в соответствии с расположением элементов ускорительного комплекса NICA (Гл. 1) и их измерительного и управляющего оборудования. В эту сеть будут включены также детекторы MPD и SPD. Это означает, что места расположения оборудования комплекса должны быть оснащены точками доступа в сеть WR. Для построения системы синхронизации на Нуклотроне и приобретения опыта работы с сетью WR в применении на

ускорителе в 2015-2016 гг. будет создана оптоволоконная сеть с WR оборудованием, показанная на Рис. 8.3.4.

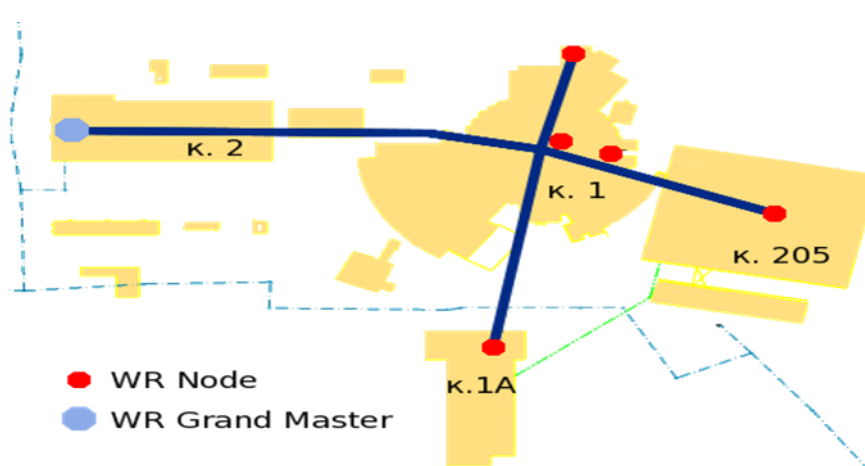


Рис. 8.2.4. Схема и места подключения оборудования WR на Нуклотроне

На первом этапе планируется подключение системы задающего генератора ВЧ системы «Орбита», системы запускающих импульсов и измерения параметров ЛУ-20, физические установки. Для этого будет завершена разработка нового В-таймера. Появится возможность отработки методики короткой инжекции с привязкой к фазе ВЧ генератора Нуклотрона. Этот опыт облегчит проработку систем и методики синхронизации перевода пучков из одного ускорителя в другой.

Алгоритм этого процесса следующий. Исходные параметры — ведущие магнитные поля зафиксированы на «столах» соответствующих значений энергии частиц, частоты ВЧ систем постоянны либо подстраиваются в малых интервалах для обеспечения наилучшей динамики перевода пучка. Поскольку задающие генераторы ВЧ синхронизованы по WR с глобальным временем, они сообщают системе управления кикером значение фазы и точной частоты своего генератора с глобальной временной меткой. Так как метки жёстко связаны, то система управления, также включённая в сеть WR, вычисляет точный момент своего включения. Задержки на передачу параметров и вычисления, как показывают расчёты, не должны превысить 20 мкс.

Для измерительных систем критическими параметрами являются долговременная точность и стабильность частоты и фазы задающих генераторов. Стабильность частоты (малый jitter) обеспечивают достоверность измерений, а стабильность фазы — возможность сопоставлять измерения отдельных подсистем и датчиков.



## 8.3 АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ (АСУ) УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

### 8.3.1 Общие требования

Основными требованиями, предъявляемыми к системе управления ускорительного комплекса, являются высокая надёжность, безопасность, простота разработки аппаратуры и программного обеспечения, удобство технической поддержки и возможность будущих модификаций и расширений. Были сформулированы принципы, которые позволяют достичь заданные требования:

1. Максимальная стандартизация как оборудования (используя по возможности массово доступное коммерческое оборудование), так и взаимодействия этого оборудования с системой управления, с базированием на модульном дизайне со строго определённым интерфейсом. В этом случае можно обеспечить расширяемость системы, возможность поддержания работоспособности в течение длительного времени и модификаций АСУ в будущем, а также снизить время простоя ускорительного комплекса в случае возникновения проблем с оборудованием.
2. Программное обеспечение (ПО) АСУ должно использовать стандартный интерфейс для взаимодействия между компонентами и иметь возможность использовать существующие разработки мирового сообщества. Желательна многоплатформенность (поддержка Windows и Linux) программного обеспечения и драйверов оборудования для избежания зависимости от определённой операционной системы. АСУ должна предоставлять сервисы для разработки ПО:
  - программные средства генерации кода для снижения трудозатрат на разработку программного обеспечения;
  - общие средства разработки — компиляторы, среды, библиотеки;
  - общедоступное хранилище исходных кодов программного обеспечения с системой контроля версий (обеспечение доступности исходного кода программы на разных стадиях ее жизни);
  - средства постоянной интеграции, позволяющие иметь актуальную сборку всех приложений на сервере с набором компиляторов и библиотек, используемых в АСУ; это позволит обеспечить возможность быстрого перехода на другие версии библиотек и компиляторов, при этом весь набор используемых программ автоматически перекомпилируется и тестируется;
  - средства взаимодействия пользователей с разработчиками программных модулей или устройств для выявления ошибок и их исправления (bug tracker);
  - средства для ведения документации на программное обеспечение; документация должна содержать описание взаимодействия программного модуля с АСУ — список переменных, команд, состояний устройства.

1. Выбранные аппаратные и программные технологии и решения должны быть современными, с большим потенциалом, поскольку время разработки, запуска и функционирования ускорительного комплекса занимают продолжительный период.
2. АСУ должна иметь возможность мониторингования своих подсистем для быстрого выявления проблем, возможность быстрого запуска (останова, перезапуска в случае проблем) всего набора необходимых программ на компьютерах, расположенных в различных точках площадки.
3. АСУ должна иметь средства для решения организационных вопросов — ведение журналов, разграничение прав доступа, архивирование данных. Необходимы средства для восстановления работоспособности АСУ в случае аварий — система сохранения резервных копий, репликация баз данных, резервный сервер системы управления в целом.
4. Необходим каталог (база данных) оборудования и программного обеспечения. Это необходимо для контроля количества и расположения существующей номенклатуры оборудования, создания необходимого количества запасных компонентов, планирования разработки программных драйверов оборудования.

### 8.3.2 Структура АСУ

Система управления состоит из распределённой сети компьютеров, соединённых между собой сетью Ethernet. Система реализована в виде трёх уровней — уровень доступа к оборудованию (или фронт-енд уровень), сервисный уровень и клиентский уровень (Рис. 8.3.1). Компоненты всех трёх уровней АСУ связаны между собой при помощи транспортного протокола, работающего через TCP/IP. Эта программная прослойка, называемая middleware (программное обеспечение среднего уровня), реализует взаимодействие элементов АСУ при помощи универсального сетевого интерфейса. АСУ NICA использует в качестве связующего ПО систему TANGO [8.2.1].

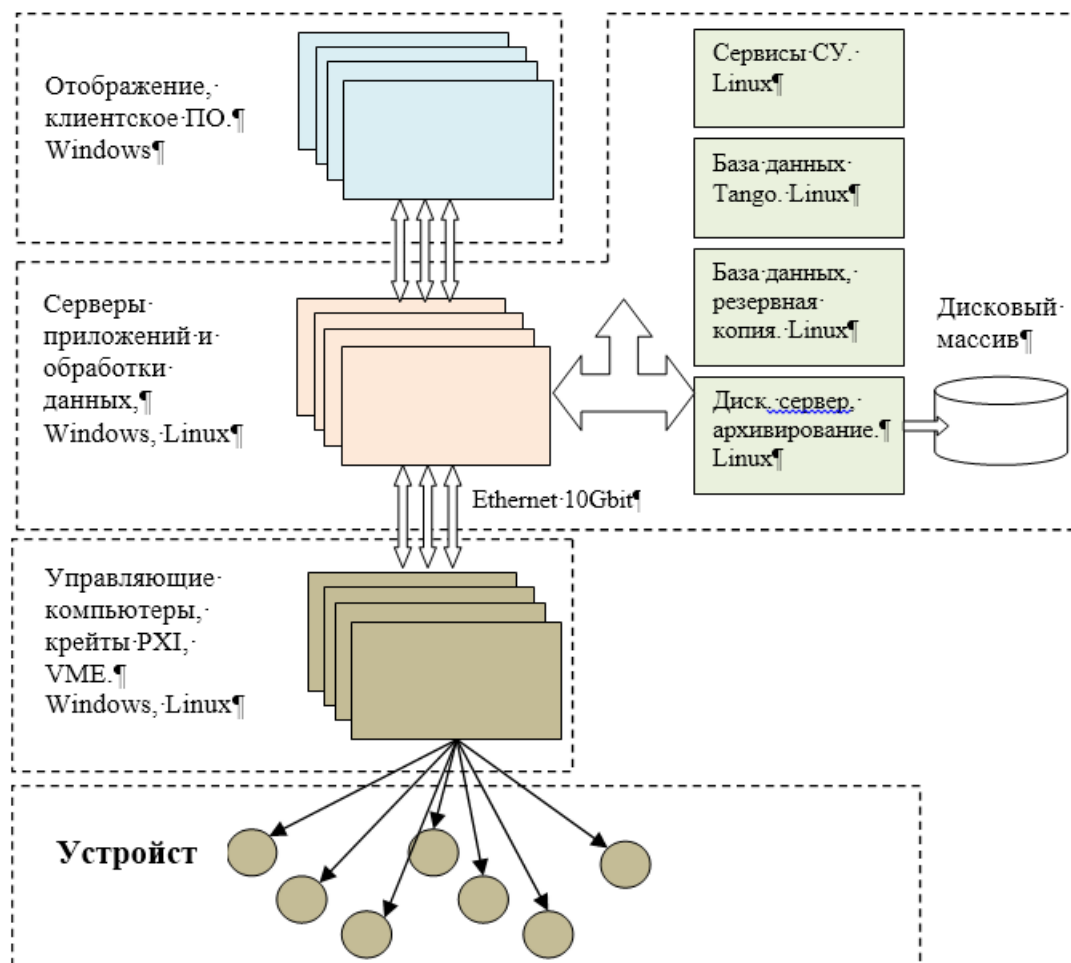


Рис. 8.3.1. Структурная схема АСУ NICA

Фронт-энд уровень отвечает за доступ к оборудованию, скрывая от верхних уровней особенности подключения устройств (USB, PXI, Serial, TCP sockets и др.) и протоколов управления ими.

Сервисный уровень необходим для эффективного централизованного сбора данных с элементов уровня доступа к оборудованию, их буферизации и обработки, преобразования физических величин и реализации алгоритмов управления подсистемами.

Кроме того, сервисный уровень предоставляет набор программных компонентов, которые необходимы для эффективного функционирования системы управления:

1. база данных Танго (для которой необходимо обеспечить надёжные способы работы — резервное копирование, возможность быстрого переноса на другой сервер в случае физических проблем);
2. система контроля доступа к элементам системы управления;
3. система архивирования данных, позволяющая сохранять любые данные АСУ в базу данных для краткосрочного или долгосрочного хранения;

4. другие сервисы — централизованный запуск и мониторинг программ, входящих в АСУ, мониторинг работоспособности компьютеров, база данных оборудования АСУ и другие.

Клиентский уровень отвечает за отображение состояния ускорителя, визуализации диагностики и предоставляет оператору средства для выполнения задач управления.

Реализация составляющих обобщённой структурной схемы АСУ рассмотрены ниже.

### 8.3.3 Сетевая инфраструктура

АСУ NICA основана на взаимодействии компьютеров, включённых в сеть Ethernet, разбитую на сегменты, обслуживающие каждую подсистему комплекса. Структурная схема сети Ethernet представлена на Рис. 8.3.2.

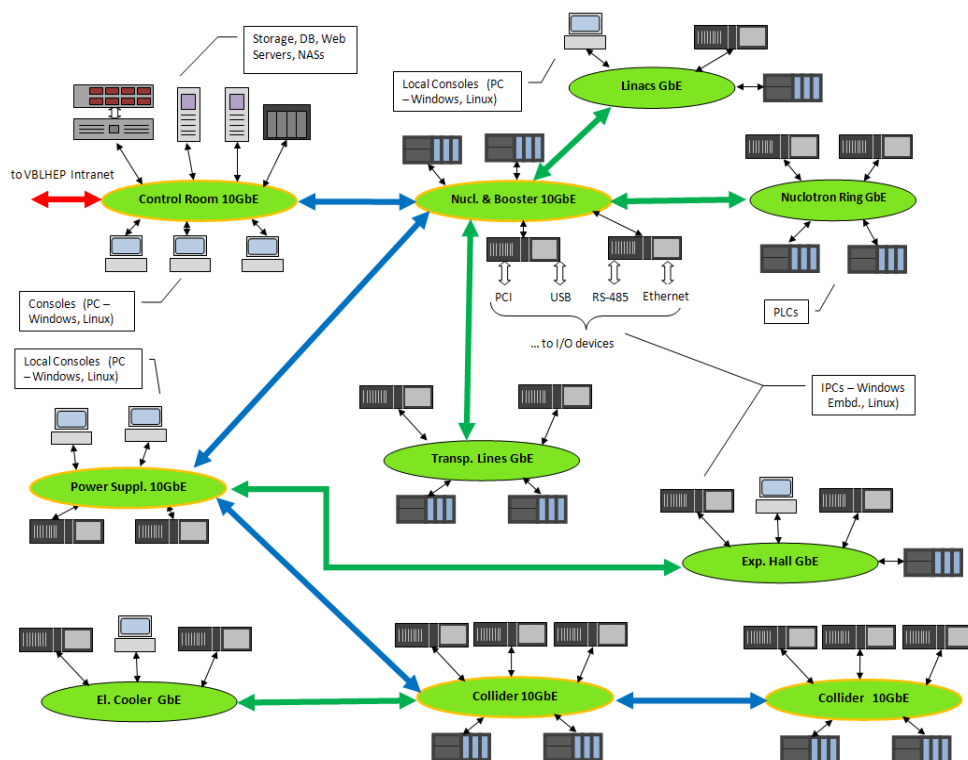


Рис. 8.3.2. Сетевая инфраструктура АСУ NICA

### 8.3.4 Промежуточное ПО (middleware)

Элементы АСУ различных уровней связаны между собой при помощи транспортного протокола, работающего поверх сетевого протокола TCP/IP. Этот протокол реализован при помощи объектно-ориентированной системы управления TANGO, которая представляет собой каркас — «фреймворк» (framework) для создания систем управления. TANGO является специализацией CORBA [8.2.2], адаптированной для систем управления. TANGO соединяет различные компоненты системы управления, скрывая при этом специфику каждого конкретного типа оборудования или алгоритма

программы и обеспечивая сетевую прозрачность. TANGO использует базу данных MySQL [8.2.3] для хранения надстроек.

Любая единица оборудования в системе управления является устройством TANGO, которое взаимодействует с остальными объектами через стандартный программный интерфейс. Интерфейс TANGO предоставляет потребителю выполнять команды, читать или записывать набор атрибутов (переменных), а также получать информацию о правильности функционирования устройства при помощи специальных атрибутов либо команд. Каждое устройство имеет своё уникальное имя, по которому другие объекты могут обращаться к нему. Имя состоит из трех полей, в виде «domain/family/member». Логично создавать имена устройств АСУ NICA в виде УСКОРИТЕЛЬ/ПОДСИСТЕМА/УСТРОЙСТВОхх, например nuclotron/injection/hvps1, booster/vacuum/valve12 и т.п., что позволяет упростить процедуру поиска интересующего устройства.

Каждое устройство принадлежит к определённому классу TANGO, который реализует все необходимые возможности для управления конкретным типом оборудования. Сервер устройств TANGO (device server) — это процесс операционной системы, который выполняет классы TANGO. Один сервер устройств может включать в себя несколько классов, каждый из которых может обслуживать несколько устройств. Для конфигурирования сервера устройств используется база данных. При этом количество и имена устройств, которые обслуживает класс, конфигурируется только в базе данных, а не в коде. Таким образом, при запуске, каждый сервер устройств создаёт и затем обслуживает заданное в базе данных количество объектов (устройств TANGO). Добавление нового устройства (например, однотипного блока питания) сводится к добавлению новой записи в базу данных TANGO, что позволяет лёгкое расширять действующие подсистемы АСУ без изменения кода.

Взаимодействие клиентского программного обеспечения с устройствами TANGO происходит при помощи описанного выше стандартного интерфейса (команды, атрибуты, состояния), при этом оно может происходить синхронно, асинхронно или быть основанным на событиях. Существует также возможность групповых вызовов, когда клиент управляет группой однородных устройств.

Синхронные вызовы представляют собой самый простой способ управления устройством, когда клиент получает мгновенный ответ от устройства.

Особенностью асинхронных вызовов является то, что клиент не ожидает ответа от сервера. Вместо этого возможно использование режима опроса, при этом клиентское приложение периодически делает вызов специальной функции для проверки, получен ли ответ. Другой возможностью

является использование режима callback, в этом случае клиентское приложение выполняет асинхронный запрос, указывая имя функции, которая вызывается по получению ответа от сервера.

События представляют собой альтернативный способ взаимодействия приложений TANGO, их задачей является обеспечить быстрый и эффективный механизм взаимодействия объектов в системе. При использовании событий нет необходимости выполнять периодический опрос устройства клиентами в ожидании обновления данных, сервер устройства сам информирует о некотором произошедшем событии. Опрос производится специальной нитью на серверной стороне, подписанные клиенты оповещаются через OMQ. Этот вид взаимодействия является гораздо более эффективным с точки зрения загрузки сети и скорости реакции.

TANGO предоставляет библиотеки высокоуровневых классов (API) и генератор кода (pogo) для языков программирования C++, Java и Python, что позволяет осуществлять быструю разработку TANGO приложений.

### 8.3.5 Уровень доступа к оборудованию (Front-end)

Ускорительный комплекс содержит обширную номенклатуру различного оборудования, способы взаимодействия с которым могут быть достаточно разнообразны. Очевидно, что одну и ту же задачу (например, сбор данных или управление какой-то системой ускорителя) можно решить различными способами. Это может быть нестандартное оборудование, которое создано специально для реализации конкретной задачи управления и имеет необходимый набор каналов сбора данных и управления. Другим вариантом может быть использование готового покупного оборудования (концепция COTS — Commercial off-the-shelf). Использование стандартного покупного оборудования имеет ряд преимуществ, позволяющих повысить надёжность работы ускорительного комплекса, сократить время простоя, а также проводить разработку новых систем ускорителя с меньшими временными и трудовыми затратами.

Для создания системы управления и диагностики NICA предполагается использование в основном оборудования фирмы National Instruments [8.2.4], которое зарекомендовало себя как надёжное, высококачественное и производительное решение. Номенклатура продукции позволяет решить широкий круг задач по построению контрольно-измерительной аппаратуры, систем сбора данных и управления промышленным оборудованием:

1. Модульная платформа PXI. Производительное решение (передача до 4 ГБ/с на слот и до 12 ГБ/с на систему) на основе 19" крейтов с шинами PXI и PXIe и дополнительной шиной синхронизации. Содержит более 1500 различных модулей, включающих в себя аналоговый и цифровой ввод и вывод, мультиметры, высокоскоростные дигитайзеры, генераторы, счётчики, модули сбора данных с большой плотностью каналов, интерфейсы и т.д. Для всего

оборудования предоставляются библиотеки C++, что позволяет создавать TANGO-совместимые управляющие программы, которые выполняются непосредственно на системном контроллере крейта под управлением Windows или Linux. Разработаны собственные универсальные TANGO драйверы (аналоговый и цифровой ввод/вывод, счётчики, таймеры, дигитайзеры, мультиметры) для широкого спектра PXI/PXIe модулей, поддерживающих библиотеки NI-DAQmx, NI-SCOPE, NI-DMM.

2. Перепрограммируемая логика FlexRIO — модули PXI/PXIe с высокопроизводительными ПЛИС (FPGA) Xilinx, большим объёмом встроенной оперативной памяти и пользовательскими адаптерами ввода/вывода для решения широкого круга задач цифровой обработки сигналов, генерации сигналов и синхронизации. Адаптеры подключаются к краевому разъёму, установленному на передней панели модуля FlexRIO, и имеют непосредственный доступ к портам ввода/вывода и сети тактовых сигналов ПЛИС (Global clock). Разработаны собственные адаптеры FlexRIO для цифрового и аналогового ввода/вывода и кондиционирования аналоговых сигналов. Программное обеспечение модуля FlexRIO состоит из двух составляющих — микропрограммы (прошивки) ПЛИС, которая реализует необходимый алгоритм работы и интерфейсного модуля для обмена данными между ПЛИС и внешней системой управления. Программирование микропрограммы ПЛИС выполняется в среде LabVIEW при помощи дополнительного модуля FPGA как графически, так и с применением текстового языка VHDL. Возможно использование готовых VHDL модулей, реализующих определённый алгоритм (IP Core). Интерфейсная программа в формате TANGO реализуется на C++ при помощи библиотеки NI-FPGA Interface C API. Она выполняется на системном контроллере крейта PXI в среде Windows или Linux и обеспечивает связь АСУ с микропрограммой ПЛИС.
3. Программируемые контроллеры автоматизации CompactRIO представляют собой высоконадёжное компактное шасси с встроенным контроллером на основе процессоров ARM, перепрограммируемой ПЛИС и широким набором модулей для сбора данных и управления. MDK (Module Development Kit) позволяет разрабатывать собственные модули ввода/вывода CompactRIO, что значительно повышает гибкость данного решения. Программирование микропрограммы ПЛИС выполняется в среде LabVIEW, а интерфейсная программа в формате TANGO реализуется на C++ при помощи библиотеки NI-FPGA Interface C API.

Взаимодействие оборудования в формате PXI и CompactRIO с системой синхронизации ускорительного комплекса будет производиться с помощью модулей синхронизации WhiteRabbit, разработанных в рамках проекта Open Hardware Repository [8.2.5]:

- Simple PXI express FMC Carrier Board (SPEXI) [8.2.6];

- CompactRIO White Rabbit (CRIO-WR) [8.2.7].

### 8.3.6 Клиентский уровень

TANGO поддерживает C++, Java и python для написания серверных и клиентских приложений. При выборе языка программирования для создания клиентских приложений главным требованием является наличие развитого набора интерфейсных элементов — «виджетов» (widget) для создания управляющих элементов и отображения научной информации. TANGO предоставляет инструментарий для быстрого написания клиентов на всех трех основных языках [8.2.8]:

- TangoATK — набор инструментов для построения клиентских приложений TANGO на основе Java Swing;
- QTango — набор инструментов на основе QTangoCore и QtControls, состоящий из классов и виджетов для доступа к системе управления TANGO из приложений, написанных на C++ с использованием графического интерфейса Qt;
- Taurus — набор инструментов на основе PyTango и PyQt для построения графических и консольных клиентских TANGO приложений на языке python.

Кроме перечисленных вариантов, одним из наиболее эффективных способов написания клиентских приложений является использование среды разработки LabVIEW. Библиотека связи LabVIEW с TANGO (LabVIEW TANGO bindings) предоставляет все возможности клиентского программного интерфейса TANGO (TANGO Client API) — чтение и запись атрибутов, выполнение команд и получение результатов их выполнения, использование событий и, вместе с тем, даёт возможность использовать широкие возможности LabVIEW по визуализации данных.

Каждая подсистема имеет своё клиентское приложение. Кроме того, разрабатывается глобальное клиентское приложение, в котором будет возможность получить доступ к любой подсистеме ускорительного комплекса. Приложение должно иметь гибкий, динамически изменяемый интерфейс для формирования удобного отображения в зависимости от текущей задачи и уровня доступа (эксперт/оператор).

Другой важной составляющей клиентской части АСУ являются веб-клиенты, которые обеспечивают доступ к АСУ в целом или к конкретным подсистемам через браузер. В настоящее время используется набор технологий Java для реализации полноценных клиентских веб-приложений:

- JavaServer Faces (JSF) — фреймворк для веб-приложений, написанный на Java. Он предоставляет средства разработки пользовательских интерфейсов для JavaEE приложений;



- PrimeFaces — обширная библиотека веб-элементов графического интерфейса для приложений, построенных с использованием JSF;
- TangoORB — реализация программного интерфейса TANGO (TANGO API) для Java.

Приложения разворачиваются на сервере приложений (JBoss, GlassFish, WildFly и другие). Для каждого веб-клиента на сервере приложений запускается задача, которая обращается к АСУ через интерфейс TANGO и обменивается информацией. При этом веб-пользователи имеют возможность выбирать способ и вид отображения информации, наиболее удобный для них. На Рис. 8.3.3 показан веб-клиент диагностики динамических параметров инжекции в Нуклотрон.

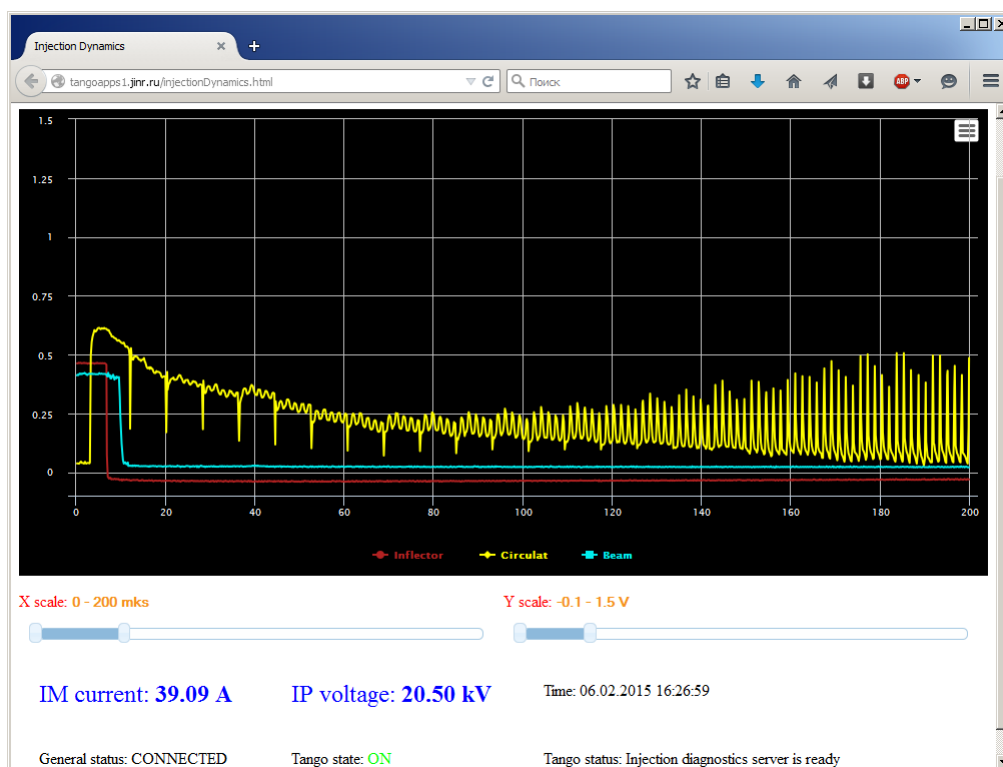


Рис. 8.3.3. Веб-клиент динамических процессов инжекции в Нуклотрон

Кроме того, разработан универсальный программный сервер, задачей которого является чтение интересующих атрибутов из АСУ TANGO и передачи данных через протокол WebSockets [8.2.9], который поддерживается во всех современных браузерах. Набор атрибутов настраивается через свойства сервера в базе данных, при этом, при запуске сервера для обслуживания каждого атрибута создается собственная нить исполнения.

Ещё одну возможность для обмена данными между веб-клиентами и АСУ TANGO представляет программный TANGO сервер, реализующий протокол REST [8.2.10] — метод взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети, при котором вызов удалённой процедуры представляет собой обычный HTTP-запрос, а необходимые данные передаются в качестве параметров запроса. TANGO сервер содержит встроенный асинхронный http сервер,

разработанный при помощи библиотеки Boost Asio, который обслуживает запросы в виде «http://http-domain/tango/tango-domain/class/member/attributeName». Ответ содержит имя атрибута, значение, показатель качества, время прочтения и приходит в формате JSON.

Таким образом, используя протокол WebSockets или REST, можно получить доступ к любому атрибуту TANGO непосредственно из браузера, что позволяет разрабатывать веб-приложения на языке JavaScript без использования промежуточного сервера приложений. Для разработки пользовательских интерфейсов предполагается использовать JavaScript библиотеку ExtJS [8.2.11], которая является удобным инструментом для создания веб-сервисов, имеет хорошую документацию, большое количество пользователей и активно развивается. Данная библиотека содержит набор инструментов, необходимых при разработке приложений, исполняемых в браузере: MVC, DOM, AJAX, REST, WebSockets, Layouts, Panels, Tables, Charts, SVG и др.

### 8.3.7 Сервисный уровень

Сервисный уровень состоит из высокоуровневых приложений TANGO, которые собирают информацию с низкоуровневых устройств TANGO, обслуживающих уровень доступа к оборудованию, буферизуют и обрабатывают её, а также реализуют алгоритмы управления конкретными подсистемами. Кроме того, сервисный уровень предоставляет необходимые сервисы системы управления, такие как база данных TANGO, архивация данных, авторизация пользователей, мониторинг программной и аппаратной части АСУ, ведение журнала, сервисы для организации разработки программного обеспечения АСУ.

#### 8.3.7.1 Инфраструктура сервисного уровня

Наиболее эффективным способом организации сервисного уровня является виртуализация. Виртуальные серверы имеют ряд преимуществ по сравнению с физическими:

- Управление виртуальными серверами гораздо проще — администратор может развернуть новый сервер в течение нескольких минут, используя заранее подготовленные шаблоны. Виртуальный сервер может быть сохранен и восстановлен целиком с помощью резервного копирования образа, клонирован на тот же самый или другой физический сервер.
- Задачи могут быть эффективно отделены друг от друга. Виртуальный сервер с необходимыми ресурсами может быть выделен целиком для одного сервиса и выполнять его независимо от других задач. Сервис получает гарантированный объем ресурсов и не испытывает проблем в случае, если какая-либо другая задача вышла из-под контроля.
- Безопасность выполнения задач — уязвимость какой-либо виртуальной машины не приведёт к несанкционированному доступу к остальным сервисам, работающим в других виртуальных машинах.

- Ресурсы, предоставляемые виртуальному серверу, такие как количество ядер CPU, объем памяти и дисковое пространство, могут быть установлены и отрегулированы на лету в процессе работы.
- Тонкая регулировка ресурсов позволяет достичь гораздо более эффективного их использования и, таким образом, можно развернуть больше сервисов, чем на физических серверах с тем же оборудованием.
- Виртуальные серверы могут быть объединены в частную сеть и быть невидимыми из внешнего мира. Только необходимые TCP порты могут быть сделаны видимыми в публичную сеть через трансляцию сетевых адресов NAT.
- Виртуализация предоставляет возможность для реализации решений с высокой доступностью, когда серверы могут быть автоматически переброшены на другие физические серверы в случае проблем с сервером-хостом.

В настоящее время используются два физических сервера Supermicro, каждый с двумя 6-ядерными процессорами Intel Xeon, поддерживающими до 256 ГБ 1866 МГц DDR3 памяти и шестью SAS2 15k RPM 600 ГБ дисками, управляемыми аппаратными RAID контроллерами. Эти серверы используют платформу Proxmox Virtual Environment [8.2.12] для создания виртуальной инфраструктуры. Новые физические серверы будут добавляться по мере роста АСУ, при этом расширение вычислительных мощностей и дискового пространства будет происходить за счёт добавления новых виртуальных серверов.

Proxmox Virtual Environment — полноценная открытая серверная платформа для создания и управления виртуальной инфраструктурой, включающей в себя виртуальные машины, хранилища, виртуальные сети и кластеры высокой доступности. Proxmox поддерживает два типа виртуализации:

- Kernel-based Virtual Machine (KVM) — гипервизор с открытыми исходными кодами, который делает полную виртуализацию оборудования. Используя KVM, можно задействовать несколько виртуальных машин, выполняющих немодифицированные образы Linux и Windows. Каждая из этих виртуальных машин имеет свой собственный набор виртуализированного оборудования — сетевую карту, диск, графический адаптер и т.д.
- Контейнерная виртуализация (OpenVZ) — позволяет использовать несколько экземпляров Linux, называемых контейнерами, на одном сервере без издержек использования процессора и оперативной памяти.

Основные возможности Proxmox:

- Простой и функциональный веб-интерфейс, позволяющий видеть все виртуальные машины контейнеры, их текущее использование ресурсов и изменять выделенные ресурсы.
- Администрирование с использованием ролей, позволяющее назначить пользователей, которые могут управлять и развёртывать серверы, узлы кластера, хранилища.
- Встроенная «утилита» (utility — подпрограмма) резервного копирования, позволяющая мгновенно выполнять сохранение и восстановление серверов по запросу через браузер, а также организовать резервное копирование по расписанию.
- Поддерживает как сетевые хранилища, такие как NFS и iSCSI, так и локальные хранилища на существующих файловых системах.
- Использует концепцию сетевого моста. Все виртуальные машины могут использовать один и тот же мост, как будто они соединены виртуальными сетевыми кабелями к тому же самому сетевому устройству.

Все виртуальные серверы используют локальные хранилища и резервные копии на сетевые хранилища. Возможность использования сетевого хранилища для хранения образов виртуальных машин может быть рассмотрена в будущем, поскольку это может быть более эффективно при росте числа серверов.

#### *8.3.7.2 Средства достижения высокой доступности (отказоустойчивости)*

Важнейшим требованием к системе управления является её надёжность. Основной задачей является отсутствие или снижение до минимума времени простоя ускорителя (комплекса ускорителей) по вине системы управления. Высокая отказоустойчивость может быть достигнута комплексом аппаратных решений и организационных мер.

Аппаратные решения включают в себя использование отказоустойчивых RAID массивов жёстких дисков, источников бесперебойного питания, а организационные заключаются в избыточном хранении данных и способах их быстрого восстановления.

Избыточное хранение данных может быть обеспечено при помощи резервного копирования как образов виртуальных машин целиком, так и конкретных данных, например домашних директорий пользователей и их баз данных.

Для организации резервного копирования образов виртуальных машин используются средства, предоставляемые Proxmox. Копирование происходит ежедневно в режиме LVM (Logical Volume Manager in Linux) snapshot, что позволяет делать резервное копирование работающей машины налету, без остановки, на сетевой диск другой машины (либо на общее сетевое хранилище). Таким образом, каждый физический сервер имеет доступ к копиям образов виртуальных машин других

серверов. Идентификаторы каждой виртуальной машины уникальны на физических серверах, что позволяет легко восстановить виртуальные машины на другом сервере в случае проблем с оборудованием.

Другой возможностью для обеспечения высокой доступности виртуальных машин является применение кластерных технологий. Предполагается использование системы Proxmox VE High Availability Cluster, которая позволяет при необходимости автоматически перезапускать виртуальные машины на работоспособном физическом хосте.

Важнейшим сервисом для функционирования АСУ является база данных TANGO. Ее доступность является необходимым условием для работы всех остальных устройств TANGO в системе управления. Таким образом, специальные усилия должны быть предприняты для обеспечения ее надежности. Существует несколько возможных решений этой проблемы:

1. Использование кластерных технологий, например, MySQL Cluster или Galera Cluster for MySQL, которые являются надёжными средствами обеспечения высокой доступности базы данных, но достаточно сложны в настройке и управлении.
2. Репликация типа master-slave, когда одна (или больше) из выделенных баз дублирует все изменения в главной базе данных и выдвигается новым мастером в случае проблем с основным мастером. Сложности связаны с синхронизацией базы в обратном направлении, когда основной мастер становится опять доступным.
3. Master-master репликация в активном-активном режиме, когда оба MySQL сервера настроены как мастер и как реплика друг друга. Наибольшей проблемой является разрешение конфликтов, так как возможны ситуации, когда оба мастера пытаются записать одну и ту же запись одновременно.
4. Master-master репликация в активном-пассивном режиме. В этом случае второй мастер находится в режиме read-only (только чтения), таким образом, избегая возникновения конфликтов. Эта симметричная конфигурация позволяет очень просто переключать роль каждого из серверов с активной на пассивную, что позволяет сократить до минимума простой в случае проблем с MySQL сервером. Кроме того, такая конфигурация позволяет выполнять рутинные задачи, такие, как оптимизация таблиц, обновление операционной системы или приложений без какого-бы либо простоя.

В настоящее время на Нуклотроне используется вариант мастер-мастер в активном-пассивном режиме, причем оба MySQL сервера работают в частной сети. Переключение главного и запасного MySQL сервера производится изменением правила сетевой трансляции адреса (NAT), которое определяет переадресацию запроса с публичного на частный IP адрес. В качестве дополнительных

мер используется ежедневное резервное копирование виртуальных машин обоих MySQL серверов, а также создание слепка базы TANGO каждый час при помощи утилиты mysqldump.

### *8.3.7.3 Мониторинг компьютеров и сервисов АСУ*

Естественной задачей администрирования системы управления является мониторинг ее работоспособности. Часто бывает необходимо быстро оценить работоспособность всей системы управления, либо получить сообщение в случае выхода из строя какого-то сервиса или подсистемы АСУ.

TANGO предоставляет сервис под названием Starter, который используется на каждом компьютере системы управления. Функцией этого сервиса является запуск всех необходимых серверов TANGO на данном компьютере, а так же их перезапуск — в случае их непредвиденного падения. Информация о том, какие серверы TANGO должны запускаться сервисом Starter хранятся в базе данных TANGO и конфигурируются администратором с помощью утилиты администрирования АСУ Astor.

Утилита администрирования Astor периодически опрашивает все сервисы Starter о состоянии TANGO серверов, позволяя администратору оценить работоспособность системы в целом. К сожалению, этой информации не всегда достаточно. TANGO сервер может быть запущен, но какое-либо из устройств может находиться в состоянии ошибки по той или иной причине. В большинстве случаев, чтобы восстановить работоспособность устройства требуется вмешательство разработчика подсистемы и, соответственно, необходимо как можно скорее поставить разработчика в известность.

Еще одним важным аспектом является работоспособность компьютеров (виртуальных и физических), на которых выполняются задачи системы управления. Каждый компьютер должен иметь достаточное количество ресурсов для выполнения задач. Нехватку ресурсов следует заметить заблаговременно и исправить для предотвращения сбоя работоспособности подсистемы.

Для решения этих проблем была разработана дополнительная система мониторинга АСУ, которая состоит из двух частей — мониторинг аппаратной части АСУ и мониторинг устройств TANGO.

Мониторинг аппаратной части осуществляется с помощью специального TANGO сервера, который запускается на каждом компьютере АСУ и периодически собирает информацию о загрузке процессора, оперативной памяти, наличии дискового пространства, времени работы и выдает эту информацию в виде атрибутов, статуса устройства TANGO и его состояния. Серверы мониторинга компьютеров могут работать на компьютерах под управлением Linux и Windows.

Мониторинг TANGO-устройств производится с помощью другого TANGO-сервера, экземпляр которого запускается для каждой из подсистем АСУ. Работа сервера мониторинга TANGO основана на связи с базой данных оборудования системы управления NicaControls. Сервер мониторинга имеет свойство «Имя подсистемы», используя которое сервер производит запрос в базу данных, находит все устройства TANGO данной подсистемы, формирует список и производит периодический опрос этих устройств с помощью групповых вызовов и создает список их статусов и состояний. При изменении состояния какого-либо устройства подсистемы при последующем опросе, разработчику отправляется электронное письмо с состоянием и статусом устройства. В случае, если устройство продолжает оставаться в неработоспособном состоянии — UNKNOWN (не запущенное устройство) либо FAULT, продолжается периодическая посылка писем. Периодичность отправки писем и адрес (или адреса) для отправки задаются в свойствах устройства мониторинга.

Разработано клиентское приложение системы мониторинга в двух вариантах: для выполнения на компьютере администратора и для отображения состояния АСУ в интернет. Информация о состоянии подсистем отображается в клиентском приложении (веб-клиент, Рис. 8.3.4) в виде дерева, с подсветкой разным цветом в зависимости от состояния TANGO-устройств данной подсистемы. В нормальном состоянии все дерево может быть компактно свернуто и администратор может быстро обнаружить неправильно функционирующую подсистему, развернуть ее отображение и обнаружить проблемное устройство, прочитать его статус, обычно содержащий сообщение об ошибке. Проблемное устройство может быть перезагружено или инициализировано прямо из клиентского приложения.

Name	Status	State
sys/monitoring/huclxtr		
sys/dbstorageds/dbsds1	DB conention succeed. Device is fully operational.	ON
extraction/daqmxaisoftrig/septum1	ON: USB-6259 (BNC) initialized	ON
extraction/daqmxa0/septum1	ON: USB-6259 (BNC) initialized	ON
extraction/daqmxd0/septum1	ON: USB-6259 (BNC) initialized	ON
extraction/daqmxd0/septum1	ON: USB-6259 (BNC) initialized	ON
extraction/daqmxpulseout/septum1	ON: USB-6259 (BNC) initialized	ON
extraction/pci6101/intensity_stop	ON: PCI-6601 initialized	ON
extraction/pci6101/profilometers_sta	ON: PCI-6601 initialized	ON
extraction/server/septum1	Septum is ON	ON
extraction/server/slow1	ON: USB-6259 (BNC) initialized	ON
extraction/usb6259ds/slow1	USB-6259 (BNC) initialized	ON
extraction/interpolation/adc_septum	The device is in ON state.	ON
extraction/interpolation/dac_septum	The device is in ON state.	ON
sys/monitoring/huclnj		
sys/monitoring/human		
sys/monitoring/159.93.126.118	CPU Load: 4.25, Memory: 31.6, Disk: 24.0, Uptime: 2015-01-30 12:26:25	ON
sys/monitoring/159.93.126.123	CPU Load: 59.17, Memory: 38.5, Disk: 74.5, Uptime: 2015-02-01 12:57:54	ON
sys/monitoring/159.93.126.232	CPU Load: 36.47, Memory: 52.8, Disk: 45.2, Uptime: 2015-01-26 15:58:15	ON
sys/monitoring/159.93.126.121	CPU Load: 28.62, Memory: 44.9, Disk: 66.9, Uptime: 2015-02-01 14:32:32	ON
sys/monitoring/159.93.126.251	CPU Load: 23.46, Memory: 74.1, Disk: 39.9, Uptime: 2015-02-01 13:38:38	ON
sys/monitoring/huqm		
qmeter/daqmxpulseout/1	ON: PXI-6733 initialized	ON
qmeter/niscopedsbpm	UNKNOWN	UNKNOWN
qmeter/nivisa/fungen1	Device is OFF	OFF
qmeter/nivisa/rfamp1	Device is OFF	OFF
qmeter/tegam4040/1	Tegam4040 is ON	ON
qmeter/tune/fft	Device is OFF	OFF

ЛФВЭ ОИЯИ, Дубна, 2014

Рис. 8.3.4. Система мониторинга АСУ

#### 8.3.7.4 Безопасность и разграничение прав доступа

Безопасность и контроль доступа являются очень важными вопросами для распределенной сетевой системы управления. Доступ к устройствам должен быть ограничен для определенного набора IP адресов и пользователей. В TANGO это можно сделать несколькими способами:

1. Ограничение доступа к сетям и IP адресам АСУ. Для ограничения доступа к компьютерам и TCP портам используется брандмауэр, в котором задаются разрешающие правила только для определенного набора IP адресов. Подсистемы могут быть выделены в отдельные сетевые сегменты для ограничения доступа к своим устройствам.
2. Использование средства контроля доступа TANGO — Tango Access Control. Его настройка производится в панели управления вызываемой из менеджера Astor. Пользователи могут быть разбиты по группам, каждому пользователю назначается список разрешенных IP адресов, и назначаются права на чтение или запись определенного набора устройств. При этом права



на чтение означают возможность чтения атрибутов, невозможность записи атрибутов и невозможность исполнения команд, поскольку команда может выполнять запись. Предоставляется возможность разрешения отдельных команд для определенных классов.

К сожалению, Tango Access Control имеет существенные недостатки, который приводят к не вполне надежному ограничению прав доступа к устройствам:

- Для разных компьютеров необходимы разные имена пользователей. Если имена пользователей совпадают, то приходится давать данному пользователю права на использование устройств со всех компьютеров с совпадающими пользователями. Более правильно было бы назначать права паре пользователь — IP, а не просто пользователю.
- Доступ ограничивается на стороне клиента. Проверка прав происходит при создании объекта клиентского класса DeviceProху, который содержит методы для выполнения команд, чтения и записи атрибутов. Проверка прав на клиентской стороне может быть легко обойдена, фактически она предназначена для удобства работы, чтобы случайно не произвести какие-то действия с чужими устройствами, но реальной защиты от целенаправленных действий она не дает.

Для более надежной защиты системы управления необходима дополнительная проверка легитимности доступа на серверной стороне. Принцип работы авторизации должен быть таким, чтобы избежать сложности разработки как клиентской, так и серверной части TANGO программ, позволяя серверной части убедиться в том, что клиент имеет права на исполнение. Клиентское приложение не может передавать имя и пароль при каждом выполнении команды или записи атрибута. Следовательно, оценка легитимности пользователя должна происходить по другим параметрам. Для этого нами был разработан специальный TANGO сервер авторизации, который выполняется в единичном экземпляре и использует базу данных оборудования NICA для получения информации о правах пользователей.

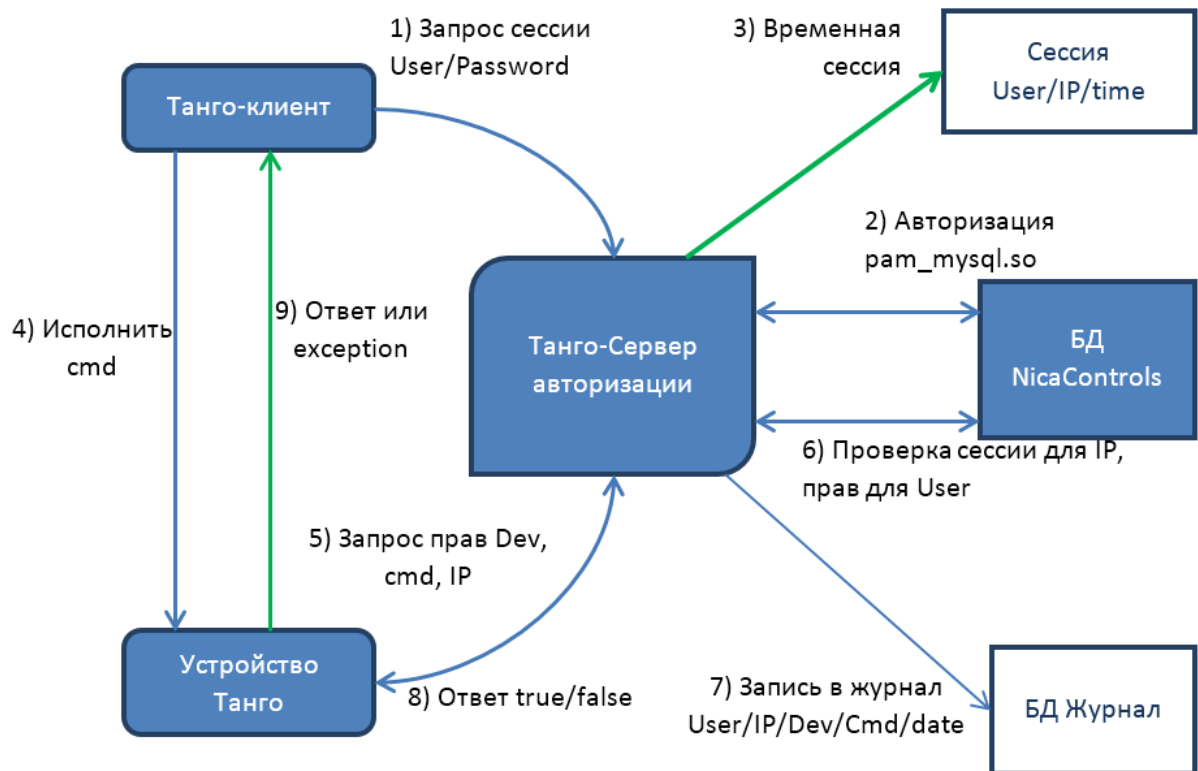


Рис. 8.3.5. Алгоритм авторизации на серверной стороне

Процесс авторизации изображён схематически на Рис. 8.3.5 и состоит из следующих этапов:

1. Перед выполнением любой команды или записи атрибута какого-либо устройства TANGO, нуждающегося в повышенной безопасности, клиентская программа делает запрос к серверу авторизации с передачей имени пользователя и пароля в виде массива строк (команда `open_session`). При удачном открытии сессии команда возвращает истинное значение (`true`). Поскольку сессия открывается для IP адреса, то процессом авторизации может заниматься отдельное приложение на этом же самом компьютере, в таком случае клиентское приложение не нуждается в модификации для использования серверной авторизации.
2. TANGO сервер авторизации проверяет имя пользователя и пароль, используя Linux PAM API при помощи модуля `pam_mysql.so`. Имена пользователей и пароли хранятся в базе данных NicaControls в таблице `person`. Пароли хранятся в виде md5-хэша для того, чтобы избежать проблем утечки открытых паролей.
3. Если проверка пароля прошла успешно, то открывается кратковременная сессия (по умолчанию 10 минут), для чего в таблице сессий будет прописано имя пользователя и IP адрес клиентского компьютера. Эта информация доступна из служебных данных TANGO соединения, которое сделал клиент к серверу авторизации. Отдельная команда сервера (`check_session`) возвращает клиенту оставшееся время сессии для удобства организации

повторной авторизации. При повторном обращении клиента с именем и паролем оставшееся время сессии восстанавливается. Информация об авторизации пользователя и его IP адресе записывается в журнал `/var/log/tango_auth`. Клиент может выполнить команду `close_session` для принудительного закрытия сессии, при этом также необходимы имя пользователя и пароль.

4. После открытия сессии, клиент обращается к устройству TANGO через стандартный программный интерфейс TANGO для выполнения команд или записи атрибутов.
5. TANGO устройство, в методе выполнения команды или записи атрибута, обращается к серверу авторизации с информацией об имени устройства, имени команды и IP адресе обратившегося клиента (команда сервера авторизации `check_permissions`).
6. Сервер безопасности проверяет наличие открытой сессии для данного IP адреса, получает имя пользователя открывшего сессию, проверяет наличие прав данного пользователя на доступ к заданному устройству.
7. Информация о доступе к атрибуту, времени и результате записывается в журнал `/var/log/tango_auth`.
8. Сервер авторизации возвращает результат проверки запросившему устройству, которое либо выполняет команду, либо отказывает.

Права пользователей на исполнение команд и записи атрибутов хранятся в таблице `access_rights` базы данных NicaControls. Она содержит колонки:

- `device_name` — комбинация имени устройства и имени команды или атрибута, например «`training/authtest/1/on`». Может содержать регулярные выражения в формате `mysql`, например «`training/authtest/1/.*`» — все команды и атрибуты устройства `training/authtest/1`;
- `username` — имя пользователя, может быть пустым, что означает разрешение на использование данной команды без авторизации при обращении с IP адреса, указанного в колонке «`ip`»;
- `ip` — IP адрес. Может содержать регулярные выражения в формате `mysql`, например «`159\\.93\\.126\\..*`»
- `priority` — приоритет от 0 (наивысший) до 10, задает разные приоритеты пользователям при обращении к одному ресурсу. Это позволяет создать разграничение прав по типу `operator-expert`, когда оператору позволяет доступ ко всем командам, за исключением тех, которые позволены только эксперту.

С помощью различных комбинаций значений `username` и `ip` можно достичь несколько уровней разграничения прав:

1. Права на исполнение конкретной команды конкретного устройства конкретному пользователю с одного IP адреса:

device_name	username	ip	priority
training/authtest/1/On	tangotest	159\\.93\\.126\\.12	10

2. Права на исполнение конкретной команды конкретного устройства конкретному пользователю с нескольких IP адресов:

device_name	username	ip	priority
training/authtest/1/On	tangotest	159\\.93\\.126\\.*	10

3. Права на исполнение всех команд конкретного устройства конкретному пользователю с нескольких IP адресов:

device_name	username	ip	priority
training/authtest/1/.*	tangotest	159\\.93\\.126\\.*	10

4. Права на исполнение всех команд нескольких устройств конкретному пользователю с нескольких IP адресов:

device_name	username	ip	priority
training/authtest/.*/*	tangotest	159\\.93\\.126\\.*	10

5. Права на исполнение всех команд конкретного устройства без авторизации с определенного IP адреса (например, компьютер оператора на пульте управления):

device_name	username	ip	priority
training/authtest/1/.*		159\\.93\\.126\\.12	10

6. Права на исполнение всех команд конкретного устройства без авторизации с нескольких IP адресов:

device_name	username	ip	priority
training/authtest/1/.*		159\\.93\\.126\\.*	10

7. Права на исполнение всех команд конкретного устройства без авторизации с определенного IP адреса, за исключением команды требующей авторизации (разделение прав оператор-эксперт):

device_name	username	ip	priority
training/authtest/1/.*		159\\.93\\.126\\.12	10
training/authtest/1/On	tangotest	159\\.93\\.126\\.12	0

Для упрощения процесса написания серверного кода авторизации и проверки прав доступа был создан класс TangoAuthClientClass, который берет на себя весь процесс обмена информацией с сервером асторизации. TANGO-устройству, заинтересованному в проверке прав клиента на выполнение команд или записи атрибутов, необходимо:

1. Включить TangoAuth.h в проект.
2. Создать объект класса TangoAuthClientClass в методе инициализации устройства TANGO;

3. Из метода исполнения команды или записи атрибута вызвать метод `bool CheckAccess(string cmd_name, bool throw_excep=true)` объекта класса `TangoAuthClientClass` для проверки прав клиента. Необходимую информацию об имени устройства, а также информации о клиентском соединении, объект класса `TangoAuthClientClass` получает самостоятельно. В качестве параметра методу необходимо передать имя исполняемой команды. Второй, необязательный, параметр определяет способы выполнения метода:
  - a. Без генерации исключения. Тогда необходимо анализировать возвращаемое значение метода.
  - b. С генерацией исключения; при этом проверка возвращаемого значения не требуется, а клиент получает исключение в случае отсутствия прав на выполнение команды.

Пример использования в коде TANGO сервера при выполнении команды `On()`:

```
auth=new TangoAuthClientClass(this); // Инициализация системы авторизации  
  
auth->CheckAccess("on"); // Проверка открытой сессии и прав на выполнение команды  
  
// далее код метода выполняемый при наличии прав доступа
```

При недостаточности прав клиента на выполнение команды происходит выход из метода по исключению.

Таким образом, модификация серверной программы заключается в нескольких дополнительных строчках доступа к серверу безопасности. Клиентское приложение может опрашивать имя пользователя и пароль и проводить процедуру открытия сессии самостоятельно, либо может использоваться отдельная клиентская программа авторизации, которая может быть запущена независимо от других клиентов. Она опрашивает у пользователя имя и пароль, открывает сессию на сервере авторизации и автоматически обновляет сессию до тех пор, пока пользователь не выполнит команду закрытия сессии или не выйдет из системы. При этом одновременно могут быть открыты сессии для нескольких различных пользователей. Например, на операторском компьютере может открыть сессию эксперт для получения прав на выполнение каких-либо закрытых действий по настройке подсистемы, выполнить их и затем закрыть сессию, понизив права обратно до прав оператора.

TANGO сервер авторизации может быть переведен в выключенное состояние (OFF), в этом случае серверная авторизация полностью отключается (отвечает true на все запросы прав), не внося в систему управления никаких помех. Отключение сервера авторизации возможно только с компьютера администратора.

### 8.3.7.5 Сервисы для разработки АСУ NICA

Два виртуальных сервера, под управлением Windows Server и Linux, выделены для разработки приложений АСУ. На каждом из серверов установлены все необходимые утилиты и библиотеки TANGO и набор необходимых компиляторов. Кроме того, на сервере под управлением Windows установлена платформа разработки LabVIEW с библиотекой связи с TANGO.

Для разработчиков приложений системы управления доступны также следующие программные сервисы:

- Система контроля версий Subversion, которая позволит разработчикам хранить и получать доступ к исходным кодам приложений. Любая версия приложения, начиная с самого начала разработки, может быть получена. Эта система позволяет сделать исходные коды приложений доступными для всех разработчиков.
- Система ведения документации Dokuwiki, которая предполагает предоставлять как минимум краткое описание подсистем системы управления, список приложений подсистемы, их документации и ссылки на исходные коды и исполняемые файлы.
- Утилита постоянной интеграции Jenkins для автоматической компиляции приложений системы управления, написанных на C++ и Labview под Linux и Windows. Компиляция может быть запущена разработчиком, либо автоматически, в соответствии с изменениями в коде приложений в системы управлениями версиями Subversion.
- Bug tracker для сообщения разработчикам об ошибках в приложениях и ведения работ по их устранению.

### 8.3.8 Интеграция сторонних систем управления

Ряд систем ускорительного комплекса NICA разрабатывается сторонними разработчиками и имеет самостоятельные замкнутые системы управления, которые необходимо интегрировать в АСУ NICA.

Возможны три варианта взаимодействия со сторонними системами управления:

1. Сторонняя система управления написана в формате TANGO. В этом случае интеграция в АСУ самая простая.
2. Написание специального модуля в формате TANGO, который взаимодействует с элементами замкнутой системы управления и служит промежуточным звеном между всем обменом информацией между системами управления. В этом случае реализация алгоритма управления не затрагивается, а лишь выбирается необходимый набор данных, которым обмениваются системы управления.
3. Использование одного из стандартных серверов обмена данными, такого как NI DataSocket или OPC server.

Разработаны нами и адаптированы готовые TANGO-серверы для взаимодействия с OPC server и NI DataSocket server (использован сервер, разработанный в ESRF), которые будут использоваться для интеграции с вакуумной системой управления (разработана в SCADA Zenon) и системой управления электронного охлаждения Бустера (разработана в LabWindows/CVI).

Для взаимодействия с системой управления ВЧ станций Бустера разработан TANGO сервер, реализующий протокол обмена данными с контроллером управления ВЧ системы через TCP сокет.

Интеграция с другими замкнутыми системами управления будет происходить по одному из разработанных методов.

### 8.3.9 База данных АСУ

Ускорительный комплекс состоит из нескольких больших независимых систем, таких как ускорители, каналы перевода пучка. В свою очередь, каждая из этих больших единиц состоит из набора подсистем. Некоторые из них присутствуют в каждом из ускорителей, например, вакуум, инжекция пучка, вывод пучка, диагностика. Некоторые ускорители могут иметь уникальные системы, такие как электронное или стохастическое охлаждение, и другие. Существуют также системы, глобальные для всего ускорительного комплекса, такие как криогеника, синхронизация, радиационная защита.

Каждая из этих подсистем содержит набор оборудования системы управления: шкафы, крейты, компьютеры, блоки сбора данных, интеллектуальные контроллеры и др. Этот набор составляющих должен быть разработан, сконструирован, приобретён, соединён между собой кабелями. Необходимо разработать программные драйвера и приложения АСУ для управления оборудованием и обработки данных. В дальнейшем необходимо обслуживать, дорабатывать и заменять вышедшее из строя оборудование, обновлять драйверы и управляющие программы, следить за их работоспособностью.

Для эффективного управления этим процессом необходима информация о том, какое оборудование задействовано в каждой подсистеме, где оно установлено, с чем соединяется, какое программное обеспечение ему нужно, на каком компьютере должно быть установлено, и тому подобное. С целью упорядочения информации, была создана реляционная база данных системы управления NicaControls. Ее упрощённая структура приведена на Рис. 8.3.6.

База данных NicaControls состоит из нескольких таблиц, которые имеют взаимосвязь с другими таблицами с помощью внешних ключей. Так, наиболее крупными объектами являются установки (facility) — ускорители, входящие в комплекс и состоящие из подсистем (subsystem). Каждая из

подсистем закреплена за определенным сотрудником Ускорительного отделения ЛФВЭ, информация о котором хранится в таблице person. Подсистемы состоят из набора устройств и компьютеров, для которых предусмотрены таблицы device и computer. Каждый компьютер установлен в контейнер (container), которым может быть стойка, крейт (в случае встроенного контроллера) или рабочий стол. Компьютеры подключены к сети через сетевые коммутаторы (netswitch), имеют уникальные имена, IP адреса и управляются операционной системой (os).

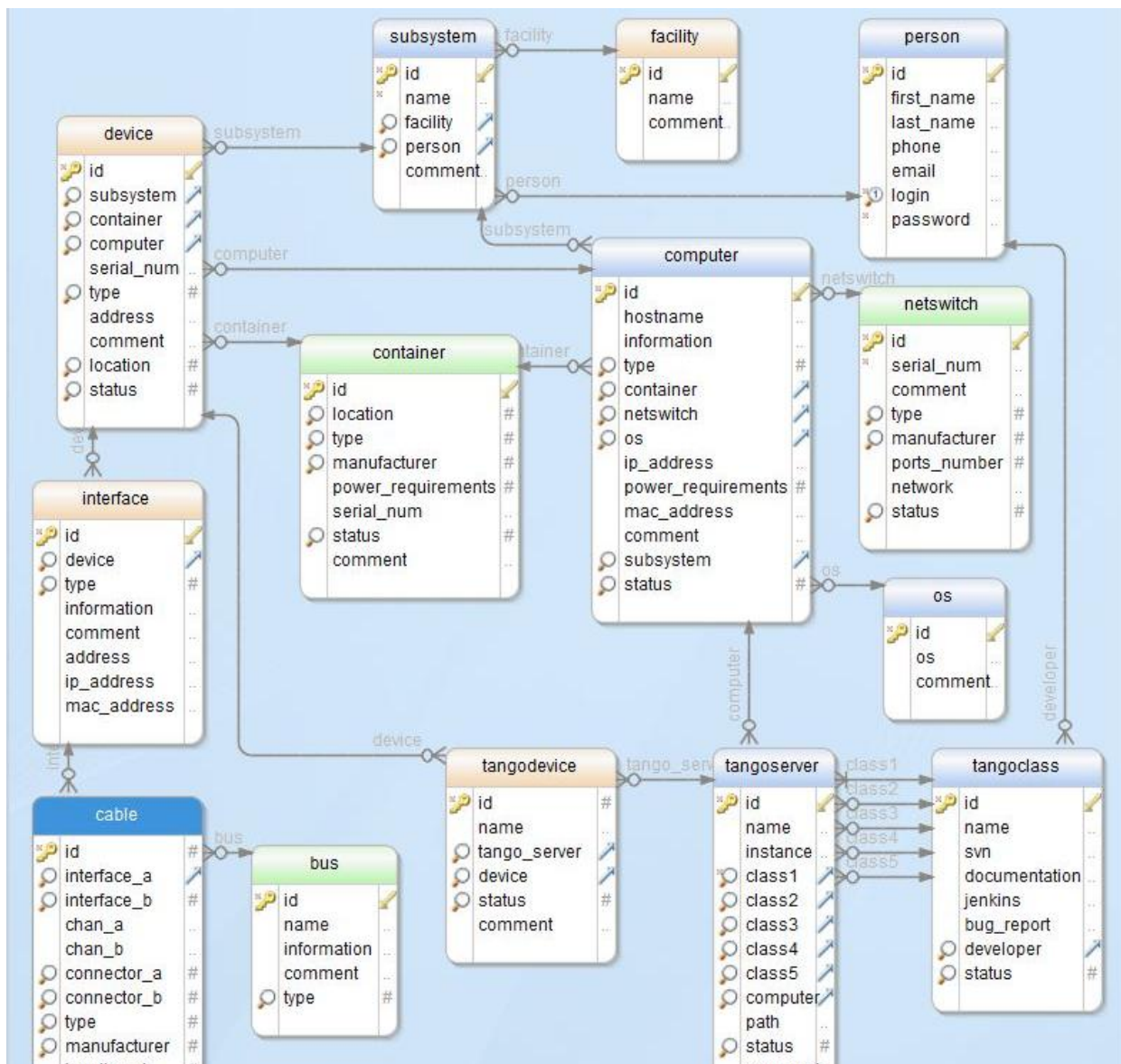


Рис. 8.3.6. Структура базы данных ACU NICA

Устройства также смонтированы в контейнере — либо крейте, либо стойке, имеют один или несколько интерфейсов с «внешним миром» (interface), которые служат для соединения с другими устройствами посредством кабеля (cable). Устройства, контейнеры и компьютеры имеют серийный номер, который наносится на панель прибора для его идентификации.



Драйвером для устройства является устройство TANGO (tangodevice), которое порождается сервером TANGO (tangoserver). Этот сервер запускается на конкретном компьютере (computer) и состоит из одного или нескольких программных TANGO классов (tangoclass). Программные классы имеют ссылку на исходный код в системе контроля версий, скомпилированный исполняемый файл в системе непрерывной интеграции Jenkins, документацию и информацию о разработчике.

Для эффективной работы с базой данных был разработан веб-менеджер базы данных NicaControls (Рис. 8.3.7) на основе набора Java-технологий (JSF, JPA, PrimeFaces), выполняемый на сервере приложений Glassfish на одном из виртуальных серверов АСУ. Он позволяет выводить данные в виде дерева, отображающего по-подсистемную логическую организацию базы, или в виде простых таблиц. Предоставляются механизмы сортировки, фильтрации, навигации между таблицами. Производить редактирование данных могут пользователи, обладающие соответствующими правами доступа. Интерфейс приложения доступен на русском и английском языках.

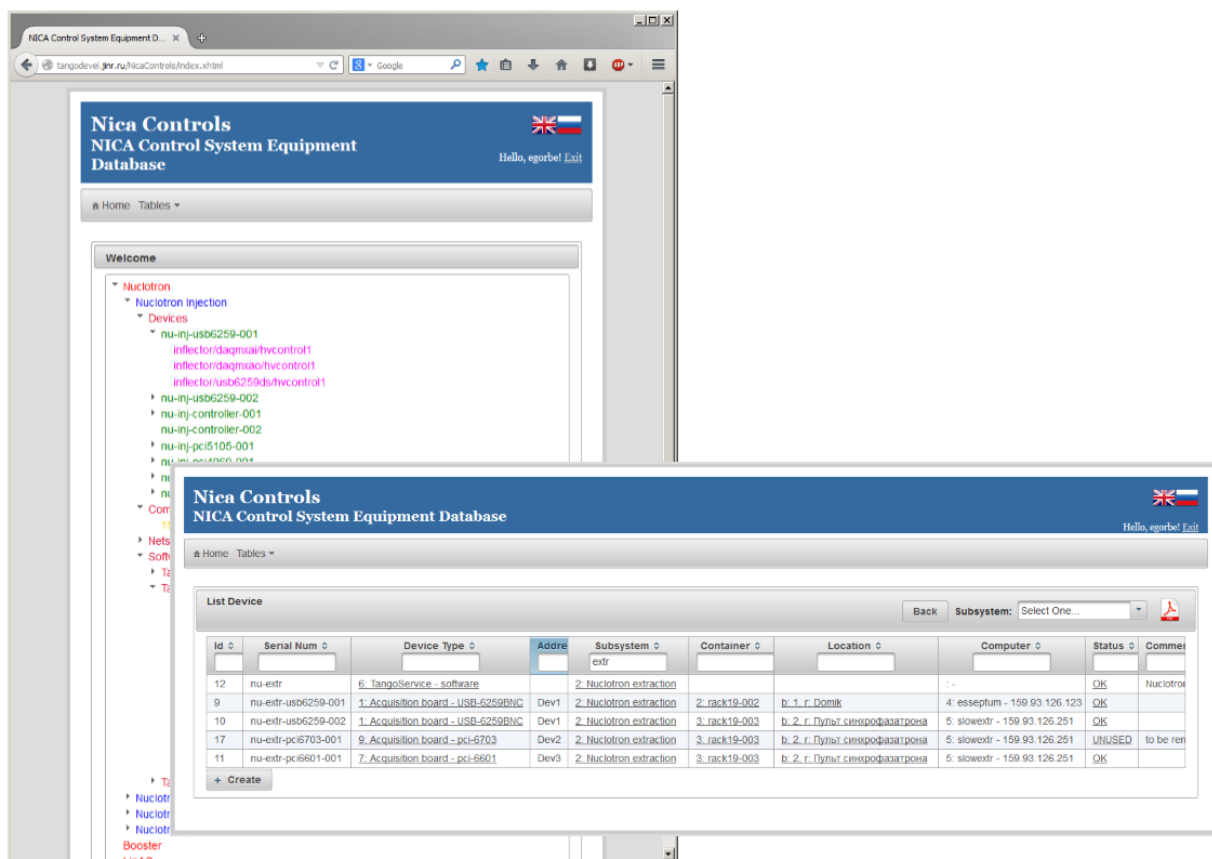


Рис. 8.3.7. Веб-менеджер доступа к базе данных NicaControls

Поскольку в базе все записи однозначно связаны, можно найти информацию по любому общему признаку. Например, все компьютеры, которые обслуживают подсистему, или все устройства данной подсистемы (контроллеры, блоки сбора данных, усилители и т.д.), все программы, которые должны быть запущены на конкретном компьютере, и другую информацию. С помощью поля статуса, можно найти какое оборудование находится в ремонте или не используется.

Информация об оборудовании и программном обеспечении заносится в базу данных NicaControls по мере разработки подсистем АСУ. Эта информация используется также другими сервисами АСУ. Система мониторинга АСУ периодически опрашивает базу данных NicaControls и добавляет или исключает устройства из системы мониторинга. В базе данных также предусмотрены таблицы с информацией о пользователях и правах доступа к устройствам TANGO, которые используются системой серверной авторизации. Новые пользователи и их права доступа добавляются администратором через клиентский интерфейс. Также предполагается возможность синхронизации конфигурации сервиса автоматического запуска Starter на каждом компьютере с таблицей tangoserver, содержащей информацию о принадлежности программ TANGO компьютерам АСУ. Возможен вариант с монтированием директорий со всем программным обеспечением АСУ с сетевого диска. Тогда добавление новой программы на компьютере будет заключаться в добавлении в базу данных NicaControls, откуда она автоматически добавится в Starter и систему мониторинга.

#### 8.3.10 Дополнительные сервисы АСУ.

Сервисный уровень АСУ NICA предоставляет также несколько дополнительных сервисов:

- Сервис архивации данных, позволяющий периодически сохранять в базу данных любые атрибуты TANGO (например, показания вакуумных измерений и измерений температур в сверхпроводящих магнитах комплекса). Планируется разработка или адаптация новой системы архивации с поддержкой событий.
- Сервис выполнения сценариев, позволяющий создать сценарий на языке python, сохранить или загрузить его в базу данных и выполнить. Это позволяет упростить выполнение рутинных работ, требующих большого количества действий, например, при запуске ускорителя, смене энергии или типа частиц.
- Сервис программных блокировок. Предполагается создание сервиса блокировок, который обеспечит блокировку различных систем ускорителя в зависимости от заданных условий — выходов параметров других устройств за пределы заданных диапазонов.

## ЛИТЕРАТУРА

[8.1.1] <http://www.bergoz.com>

[8.1.2] <http://www.femto.de>

[8.1.3] <http://www.vaccer.ru>

[8.1.4] <http://www.solidsealing.com/>

[8.1.5] <http://www.mdcvacuum.com/>

[8.1.6] <http://www.ceramtec.com>

[8.1.7] <http://afi.jinr.ru/BPM4100>

[8.1.8] [http://www.radiant.su/other/ar/eng/ar\\_800a3a.php](http://www.radiant.su/other/ar/eng/ar_800a3a.php)

[8.1.9] <http://russia.ni.com/>

[8.1.10] P. Forck et al., Profile Monitors Based on Residual Gas Interaction, DIPAC05, Lyon (2005).

[8.1.11] А.А. Балдин и др. Система диагностики циркулирующего пучка Нуклотрона на основе МКП. Краткие сообщения ОИЯИ № 2 [82]-97, с. 15-22.

[8.1.12] A. Baldin et al. The MCP-based system for monitoring space-time characteristics of the Nuclotron circulating beam. XXI International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems, September 10-15, 2012, JINR, Dubna, Russia.

[8.2.1] TANGO Controls home page, <http://www.tango-controls.org/>

[8.2.2] omniORB home page, <http://omniorb.sourceforge.net/index.html>

[8.2.3] MySQL home page, <http://www.oracle.com/technetwork/database/mysql/index.html>

[8.2.4] National Instruments home page, <http://www.ni.com>

[8.2.5] Open Hardware Repository home page, <http://www.ohwr.org/>

[8.2.6] <http://www.ohwr.org/projects/spexi/wiki>

[8.2.7] <http://www.ohwr.org/projects/crio-wr/wiki/Wiki>

[8.2.8] TANGO GUI toolkits, <http://www.tango-controls.org/resources/documentation/guis/>

[8.2.9] <http://en.wikipedia.org/wiki/WebSocket>

[8.2.10] <https://ru.wikipedia.org/wiki/REST>

[8.2.11] ExtJS home page, <http://www.sencha.com/products/extjs>

[8.2.12] Proxmox home page, <http://proxmox.com/en/>

# Глава 9

## Радиационная безопасность на комплексе NICA

---



## АННОТАЦИЯ

В этой главе рассмотрены следующие вопросы, определяющие радиационную обстановку на ускорительном комплексе и уровни облучения персонала и населения:

- основные радиационные источники;
- биологическая защита ускорителей;
- организация радиационных зон;
- наведённая активность и обращение с радиоактивными отходами;
- радиационные аварии;
- радиационный контроль на ускорительном комплексе.

Оценка радиационной обстановки вокруг Бустера приведена в Приложении 9.1.

### 9.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Ускорительный комплекс NICA является локальным техногенным источником повышенного радиационного риска. Радиационная безопасность работы ускорителя достигается реализацией целого комплекса мероприятий, включающих физические меры защиты людей от излучения, организационно-технические меры обеспечения безопасной работы, радиационный контроль и гарантию качества радиационной безопасности. Обеспечение радиационной безопасности требует безусловного соблюдения норм радиационной безопасности НРБ-99/2009 и положений Основных санитарных правил ОСПОРБ-99/2010. Основными дозовыми пределами являются:

- для профессионального облучения (персонала групп А и Б<sup>1</sup>) эффективная доза 20 мЗв в год, усреднённая за пять последовательных лет;
- для лиц из населения эффективная доза 1 мЗв за год.

В соответствии с этими дозовыми пределами ОСПОРБ-99/2010 устанавливает значения проектной мощности эквивалентной дозы для стандартной продолжительности пребывания в помещениях и на территориях персонала и населения с коэффициентом запаса 2 (см. Таблицу 9.1.1).

---

<sup>1</sup> Персонал — лица, непосредственно работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).

Таблица 9.1.1. Мощность эквивалентной дозы, используемая при проектировании защиты от внешнего ионизирующего излучения

Категория облучаемых зон		Назначение помещений и территорий	Продолжительность облучения, ч/год	Проектная мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч
Персонал	группа А	Помещения постоянного пребывания персонала	1700	6,0
		Помещения временного пребывания персонала	850	12
	группа Б	Помещения радиационного объекта и территория санитарно-защитной зоны, где находится персонал	2000	1,2
Население		Любые другие помещения и территории	8800	0,06

Для соблюдения указанных нормативов помещения объекта с радиационными источниками и территория вокруг него подлежат радиационному зонированию.

## 9.2 ОСНОВНЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ

Ускорительный комплекс NICA состоит из линейного ускорителя, двух синхротронов — Бустера и Нуклотрона, и двух накопительных колец Коллайдера. Комплекс предназначен для ускорения и накопления ядер — от протонов до Au<sup>79+</sup>. Максимальная энергия ядер золота 4,5 ГэВ/н. Коллайдер работает в режиме встречных пучков с регистрацией событий в детекторах MPD и SPD. Второй режим работы комплекса — ускорение и вывод ядер из Нуклотрона в корпус № 205 для экспериментов с фиксированными мишенями. В соответствии с этим основными радиационными источниками на комплексе являются:

- источники ионов;
- линейный ускоритель NILAC;
- Бустер;
- обдирочная мишень Бустера и ловушка пучка ядер нецелевой зарядности;
- Нуклотрон;
- каналы транспортировки пучка из Нуклотрона в Коллайдер;
- Коллайдер;
- система электронного охлаждения (СЭО).

Наиболее радиационно-опасным режимом работы комплекса является режим ускорения ядер <sup>197</sup>Au<sup>79+</sup> до энергии 4,5 ГэВ/н. Поэтому все закладываемые в проекте решения по обеспечению радиационной безопасности относятся именно к данному режиму работы комплекса. Принято, что для Коллайдера возможна работа с ионами золота с энергией 4,5 ГэВ/нуклон в течение всего года. Совмещение разных видов сеансов работы Коллайдера (ионы золота и другие частицы) в течение



годового эксплуатационного периода не рассматривается, так как они являются менее радиационно-опасными.

Причиной возникновения полей излучения при работе комплекса на каждом источнике (кроме СЭО) являются потери ядер на каждом этапе ускорения или циркуляции, а в СЭО — потери электронного пучка. Главным дозообразующим компонентом полей излучения на комплексе и вокруг него при его работе являются нейтроны широкого энергетического диапазона, а на СЭО — жесткое рентгеновское излучение. При неработающем комплексе радиационная опасность создается активностью, наведённой в конструкционных материалах (гамма-кванты и бета-частицы).

При аварии ускорители отключаются, поэтому радиационное воздействие ограничивается пространством каньонов Коллайдера, туннелей транспортных каналов, Нуклотрона и Бустера. В соответствии с МУ 2.6.1.2005–05, проектируемый объект относится к IV категории потенциальной опасности по классификации ОСПОРБ–99/2010.

Уровни радиации на комплексе определяются темпом потерь ядер на всех элементах комплекса в силу различных физических причин. В Таблице 9.2.1 сведены данные о планируемых темпах потерь ядер  $^{197}\text{Au}$  на всех этапах. При этом учитывалось, что в штатном режиме работы Коллайдера его подпитка пучком ядер из Нуклотрона происходит периодически с интервалом 1500 с. В каждое из двух колец Коллайдера производится по 22 цикла инжекции, и длительность подпитки Коллайдера составляет 220 с. Принято, что в промежутках между циклами подпитки Нуклотрон работает на эксперименты с фиксированными мишенями в корпусе № 205. Таким образом, Нуклотрон, как и Коллайдер, работает 5400 часов в год в режиме ускорения ядер  $^{197}\text{Au}$  до энергии 4,5 ГэВ/н.

В колонках 5 и 6 начальные и конечные интенсивности пучка ядер  $^{197}\text{Au}$  даны за 1 цикл, а темпы потери ядер (колонка 7) приведены в 1 с (частота инжекции в цепочке Бустер — Нуклотрон — Коллайдер 0,2 Гц, см. детали в Гл. 1). С учётом указанных темпов потерь на каждом элементе комплекса конечная интенсивность инжектируемого в Коллайдер пучка ядер составляет проектную величину  $2 \cdot 10^9$  ядер/цикл.

Таблица 9.2.1. Темпы потерь ядер  $^{197}\text{Au}$  на различных этапах

Источник потерь	Нач. энергия, ГэВ/н	Кон. энергия, ГэВ/н	Нач. интен.	Конеч. интен.	Суммар. потери	Где происходят	Распределение по энергии, ГэВ/н
Коллайдер, рекомбинация ионов в СЭО	4,5	4,5	$2 \cdot 10^9$		$2,52 \cdot 10^6$	Локально скреперы 1, 2, 3, 24', 23', 22'	4,5
Коллайдер, гало пучка (все скреперы)	4,5	4,5	$2 \cdot 10^9$		по $2,53 \cdot 10^5$	локально	4,5
Коллайдер равномерно по кольцам	4,5	4,5	$2 \cdot 10^9$		по $1,65 \cdot 10^4$	равномерно	4,5
Коллайдер, кикеры (септумы)	4,5	4,5	$2 \cdot 10^9$		по $2,5 \cdot 10^3$	локально	4,5
Канал транспортировки (разделённые части)	4,5	4,5	$2,09 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	по $1,9 \cdot 10^6$ (3,8 %)	равномерно по каналам	4,5
Канал транспортировки (общая часть)	4,5	4,5	$2,11 \cdot 10^9$	$2,09 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^6$ (1,2 %)	равномерно по каналу	4,5
Ускорение в кольце Нуклотрона	0,572	4,5	$2,22 \cdot 10^9$	$2,11 \cdot 10^9$	$2,2 \cdot 10^7$ (5 %)	равномерно по кольцу	равномерно $0,572 \div 4,5$
Инжекция в Нуклотрон из Бустера	0,572	0,572	$2,25 \cdot 10^9$	$2,22 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^6$ (1 %)	локально	0,572
Обдирка пучка	0,578	0,572	$2,81 \cdot 10^9$	$2,25 \cdot 10^9$	$1,12 \cdot 10^8$ (20 %)	локально в ловушке	0,572
Бустер, гало пучка (скреперы)	0,065	0,578	$3,11 \cdot 10^9$	$2,81 \cdot 10^9$	по $3,72 \cdot 10^6$ (10 %)	локально в каждом из 16 скреп.	$0,065 \div 0,578$
Бустер равномерно по кольцу	0,065	0,578	$3,12 \cdot 10^9$	$3,11 \cdot 10^9$	$2,48 \cdot 10^6$	равномерно по кольцу	равномерно $0,065 \div 0,578$
Бустер, рекомбинация ионов в СЭО	0,065	0,065	$3,9 \cdot 10^9$	$3,12 \cdot 10^9$	$1,56 \cdot 10^8$ (20 %)	локально в скреперах квадранта 4	0,065
Начальный этап ускорения в Бустере	0,0032	0,065	$4,11 \cdot 10^9$	$3,9 \cdot 10^9$	$4,2 \cdot 10^7$ (5 %)	равномерно по кольцу	равномерно $0,0032 \div 0,065$
Инжекция в Бустер	0,0032	0,0032	$5,48 \cdot 10^9$	$4,11 \cdot 10^9$	$2,74 \cdot 10^8$ (25 %)	локально	0,0032
Канал NILAC — Бустер	0,0032	0,0032	$5,77 \cdot 10^9$	$5,48 \cdot 10^9$	$5,92 \cdot 10^7$ (5 %)	равномерно по каналу	0,0032

Система электронного охлаждения пучка ядер  $^{197}\text{Au}$  с энергией 4,5 ГэВ/н в Коллайдере предусматривает ускорение электронов до энергии 2,5 МэВ, и их суммарные потери в двух пучках составляют 0,5 мА. При взаимодействии ускоренных и рассеянных электронов с элементами СЭО возникает тормозное рентгеновское излучение. Так как энергия электронов не превышает 2,5 МэВ, ускоритель электронов относится к группе ускорителей, при работе которых наведённая активация вещества не создается. Ускоритель СЭО расположен в одноэтажной части здания Коллайдера. Время его работы за год то же, что и у Коллайдера и Нуклотрона (5400 ч).

В Бустере электронное охлаждение пучка ядер  $^{197}\text{Au}$  производится при энергии ионов 65 МэВ/н (энергия электронов  $1,5 \div 35$  кэВ, ток пучка —  $0,2 \div 1,0$  А). Система электронного охлаждения размещена в 4-й прямолинейной секции Бустера. Потери пучка электронов — 30 мкА.

Из Таблицы 9.2.1 видно, что наибольшие потери сконцентрированы на локальных источниках — скреперах Бустера и Коллайдера, служащих для перехвата выбывших из процесса ускорения или циркуляции ядер золота. Другими локальными радиационными источниками являются устройства ввода-вывода пучков Бустера, Нуклотрона и Коллайдера и обдирочная мишень с ловушкой не полностью ободранных ионов, которая размещена в канале Бустер-Нуклотрон.

Потери ядер на пути их транспортировки в экспериментальный корпус № 205 и внутри него на физических установках с фиксированными мишенями в настоящем разделе не рассматриваются.

### 9.3 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА КОЛЛАЙДЕРА И РАДИАЦИОННОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ТЕРРИТОРИИ ВОКРУГ НЕГО

Проектирование здания Коллайдера выполнено ЗАО КОМЕТА с участием специалистов ЛРБ. В ходе работы над проектом NICA были выбраны размещение Коллайдера на площадке ЛФВЭ, конструкция здания Коллайдера с биологической защитой и каналов транспортировки пучка ядер из Нуклотрона в Коллайдер, утверждены радиационные зоны, решена задача создания на Коллайдере автоматизированной системы радиационного контроля.

Радиационная защита колец Коллайдера выполнена из обычного бетона ( $\rho = 2,35$  г/см<sup>3</sup>). Оба кольца Коллайдера располагаются внутри туннеля, имеющего массивные стены и верхнее перекрытие переменной толщины.

Существующие и проектируемые здания ускорительного комплекса на площадке ЛФВЭ занимают большую территорию, и в двух местах граница площадки ЛФВЭ проходит вблизи зданий комплекса. Это касается района линейного ускорителя NIIAC, где расстояние от стены здания № 1 с Бустером и Нуклотроном до границы площадки составляет 70 м, и района к Ю и ЮЗ от Коллайдера, где расстояние до границы площадки составляет 55 м. На таких расстояниях поле излучения формируется многократно рассеянными в воздухе и грунте нейтронами широкого спектра энергий и гамма-квантами (skyshine), а первопричиной этого излучения являются нейтроны утечки из защиты. На границе площадки ЛФВЭ требуется ограничить суммарный уровень излучения от всех радиационных источников комплекса не выше годовой эффективной дозы 0,5 мЗв (предел дозы для населения с учётом коэффициента 2). Это определяет требования к конструкции биологической защиты ускорителей.

На Рис. 9.1.1 приведён план здания Коллайдера и поперечное сечение туннеля с биологической защитой. При указанных в Таблице 9.2.1 темпах потерь ядер в Коллайдере, времени жизни ядер в нем 1500 с и работе на физический эксперимент 5400 часов в год требования НРБ-99/2010 и ОСПОРБ-99/2010 для населения (граница площадки ЛФВЭ) полностью соблюдаются, даже с учётом гамма-квантов skyshine, вклад которых в полную дозу составляет не более 7 %.

Вокруг здания Коллайдера выгорожена 20-метровая зона, на границе которой соблюдаются уровни мощности эффективной дозы для персонала группы Б (1,2 мкЗв/час). Радиационное зонирование на Коллайдере выполнено с учётом различных режимов работы (Коллайдер и СЭО работают, Коллайдер и СЭО не работают, Коллайдер не работает — СЭО работает, наладка Коллайдера). В зависимости от режима работы в помещениях Коллайдера и на территории внутри него устанавливаются зоны исключённого и зоны ограниченного доступа.

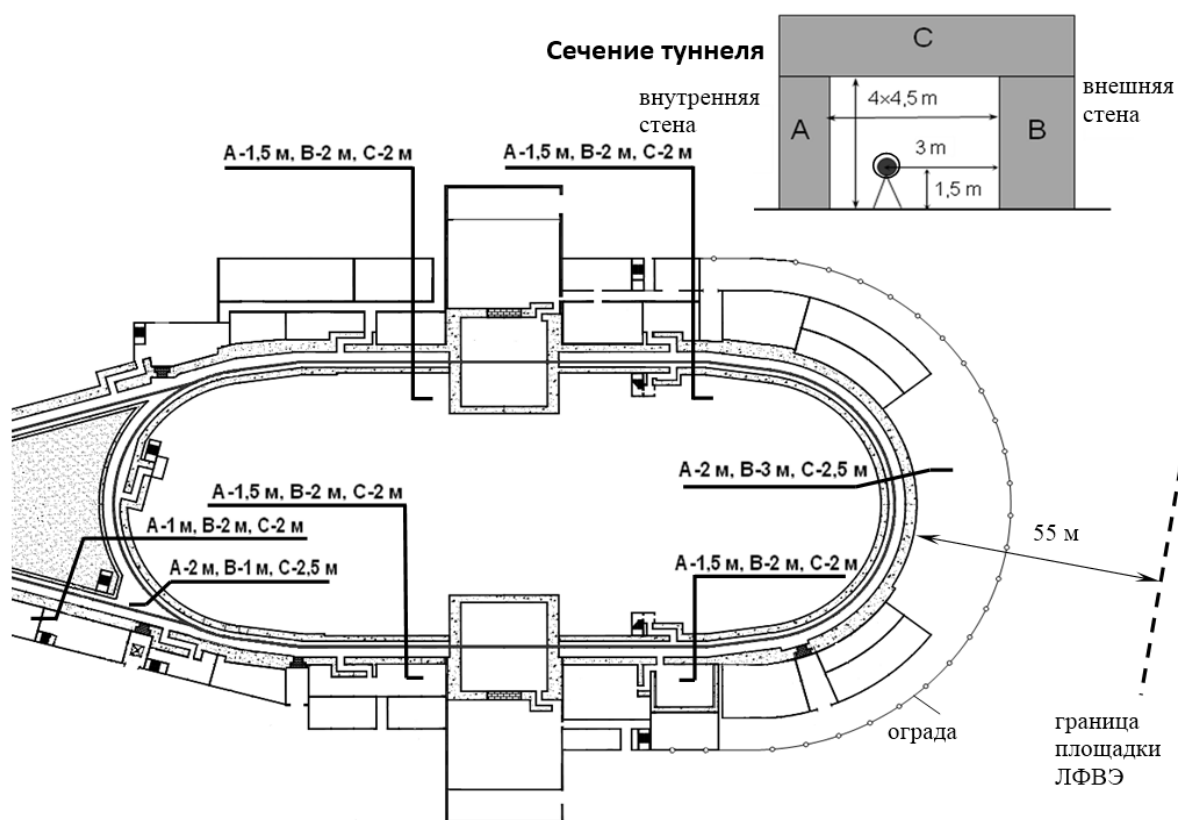


Рис. 9.3.1. План здания Коллайдера и поперечное сечение туннеля с биологической защитой

Зона исключённого доступа — та, в которой исключается возможность пребывания персонала при работе ускорителей. Зона имеет физические границы, препятствующие допуску в неё людей. Входы в зону исключённого доступа закрыты при работе ускорителей и имеют две независимые системы блокировок от датчиков радиационного контроля и от АСУ комплекса. Зона оборудована предупредительной световой и звуковой сигнализацией о готовности к включению ускорителя, а также информационным табло о состоянии радиационной обстановки в зоне. Входы в зону изнутри

имеют легко доступные кнопки разблокировки дверей для быстрого выхода персонала из зоны в случае аварийной ситуации.

При работе Коллайдера все его помещения и территория внутри него являются зоной исключённого доступа, кроме помещений MPD, SPD и СЭО и относящихся к ним бытовых помещений. Вход в туннель Коллайдера осуществляется через лабиринты, которые обеспечивают необходимое снижение мощности дозы излучения без применения массивных защитных дверей. Зона ограниченного доступа — зона, в которой допускается возможность пребывания персонала по особому наряду-допуску (мощность эффективной эквивалентной дозы в зоне может превышать 12 мкЗв/час). Длительность пребывания в ней персонала при обязательном сопровождении дозиметриста определяется мощностью дозы в месте работы и требованиями НРБ-99/2009 с учётом установленного для ЛФВЭ контрольного уровня. Зона ограниченного доступа имеет физические границы, препятствующие проникновению в неё людей.

Указанные выше помещения СЭО, детекторов MPD и SPD являются помещениями временного пребывания персонала (без оборудования в них постоянных рабочих мест). Эти помещения находятся в зоне ограниченного доступа.

При не работающем Коллайдере часть туннеля, примыкающая к СЭО, остаётся зоной исключённого доступа из-за больших уровней наведённой активности, остальные помещения Коллайдера — зона ограниченного доступа.

#### **9.4 ЗАЩИТА КАНАЛА ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА ИЗ НУКЛОТРОНА В КОЛЛАЙДЕР**

Канала транспортировки пучков из Нуклотрона в Коллайдер оборудован «тёплыми» магнитами. При расчёте его защиты рассматривались равномерные погонные потери пучка ядер золота с энергией 4,5 ГэВ/н. На Рис. 9.5.1 приведён план защиты канала и его поперечное сечение. При работе Коллайдера туннель канала и территория верхнего перекрытия над ним являются зонами исключённого доступа, а при неработающем Коллайдере Канал и территория верхнего перекрытия над ним (отметка +6,000) — зоной ограниченного доступа. Вход в туннель канала осуществляется через лабиринты.

#### **9.5 ЗАЩИТА БУСТЕРА И РАДИАЦИОННОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ЗДАНИЯ № 1 И ТЕРРИТОРИИ ВОКРУГ НЕГО**

Нуклотрон является уже существующим ускорителем комплекса NICA, а конструкция Бустера определена выбором его размещения внутри существующего ярма магнита Синхрофазотрона.

Поэтому усиление их радиационной защиты при необходимости возможно лишь частично, ограниченными мерами.

Кольцо Бустера располагается внутри массивного железного яра магнита Синхрофазотрона в полости сечением  $2,3 \times 4,3 \text{ м}^2$ . Канал перевода ионов из Бустера в Нуклотрон начинается в 3-й прямолинейной секции Бустера и заканчивается в 6-м большом прямолинейном промежутке Нуклотрона. Перезарядная мишень располагается внутри яра магнита Синхрофазотрона, а ловушка не полностью ободранных ионов (нецелевой зарядности) — снаружи яра над туннелем кольца Нуклотрона. В яре имеется большое число технологических проёмов, поэтому оно не является эффективной радиационной защитой. Расчёты показали, что яро толщиной 155 см с большими проёмами ослабляет мощность дозы всего в 1,52 раза по сравнению с ситуацией, когда яро отсутствует полностью.

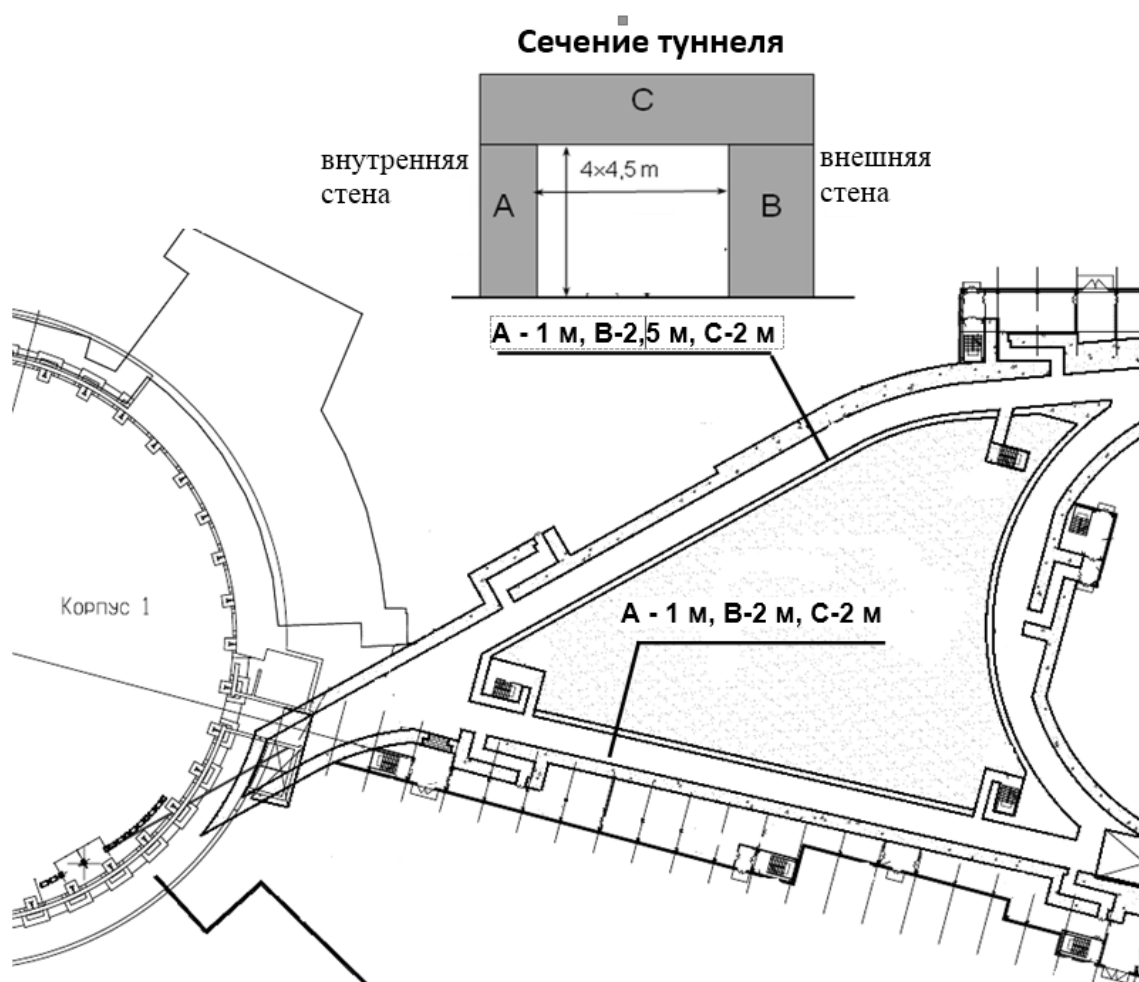


Рис. 9.5.1. План и поперечное сечение туннелей для транспортировки пучка ядер из Нуклотрона в Коллайдер

Стены здания № 1 также имеют большие оконные проёмы, а лёгкая крыша не препятствует выходу нейтронов в окружающую среду.

Наиболее критической радиационной зоной при одновременной работе Бустера и Нуклотрона является территория за зданием № 1 со стороны 4-го квадранта (между пристройкой ЛУ-20 и старым измерительным павильоном), поскольку в этом направлении расстояние до границы территории площадки ЛФВЭ минимально (113 м от центра Бустера). На Рис. 9.5.2 показано радиационное зонирование здания № 1 и территории вокруг него.

Доза нейтронов skyshine на границе площадки ЛФВЭ в этом районе формируется главным образом Бустером и Нуклотроном. При этом из-за сравнительно низкой энергии ядер  $^{197}\text{Au}$  в Бустере он представляет собой менее значимый радиационный источник по сравнению с Нуклотроном.

Потери ядер в Бустере происходят равномерно по его кольцу в 16-ти скреперах (по 4 в каждом квадранте) и в ловушке пучка ядер нецелевой зарядности. На Рис. 9.5.3 показаны радиальные распределения мощности эффективной дозы нейтронов skyshine от стены здания № 1 до границы площадки ЛФВЭ по кратчайшему расстоянию. Для расчёта дозы нейтронов skyshine рассматривался объем воздуха радиусом 1000 м от центра Бустера. Данные приведены для случая, когда на Бустере вообще не предпринимается никаких возможных мер по защите от излучения, а именно, в яме имеются открытые проёмы, прямоугольные промежутки между квадрантами не защищены, оконные проёмы в стене здания № 1 не заложены, стальная ловушка пучка ядер нецелевой зарядности внутри туннеля Нуклотрона размерами  $1 \times 1 \times 1 \text{ м}^3$  не закрыта сверху дополнительной защитой.

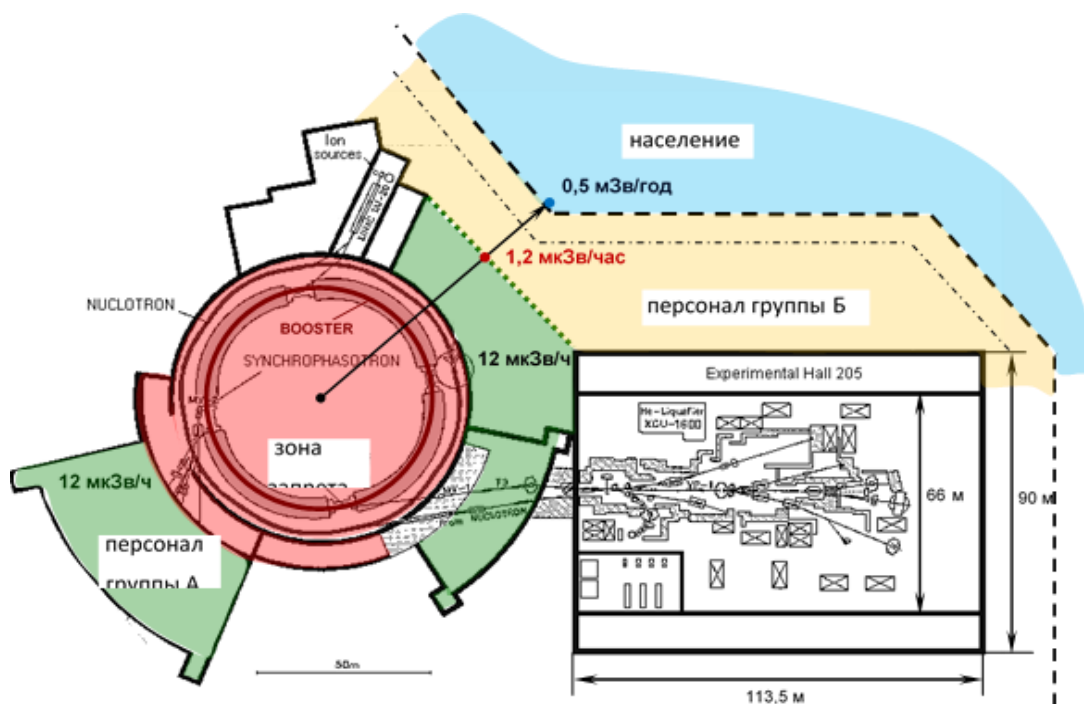


Рис. 9.5.2. Расположение радиационных зон при работе Бустера и Нуклотрона в здании № 1. Красный цвет — зона исключённого доступа (запрета), зелёный цвет — помещения временного пребывания персонала группы А, жёлтый цвет — территория пребывания персонала группы Б, голубой цвет — территория пребывания населения

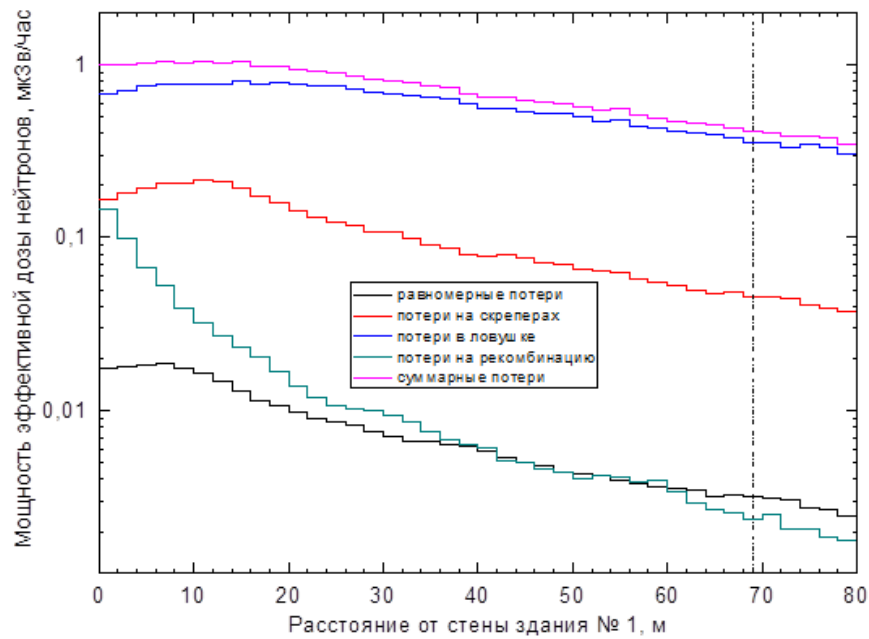


Рис. 9.5.3. Парциальные вклады в радиальное распределение эффективной дозы нейтронов skyshine, рассчитанные в отсутствие защиты Бустера. Расстояние до ближайшей точки на границе площадки ЛФВЭ показано на рисунке пунктиром

Видно, что подавляющий вклад в формирование дозы нейтронов на границе площадки ЛФВЭ создают нейтроны, генерируемые в ловушке пучка нецелевой зарядности, и потери пучка на скреперах. Мощность эффективной дозы нейтронов на границе площадки при заданных в Таблице 9.2.1 темпах потерь ядер составит 0,41 мкЗв/час, что при работе Бустера 4790 часа/год на полной интенсивности (с учётом наладки) составит 1,96 мЗв/год.

Представленные результаты показывают необходимость существенного снижения мощности дозы излучения от Бустера на границе площадки ЛФВЭ. Расчёты показали, что закладка оконных проёмов в стене здания №1 напротив 4-го квадранта не скажется заметно на значении суммарной дозы, как и закрытие прямолинейных промежутков Бустера бетонной защитой. Эти меры можно не рассматривать. Очевидны два основных пути снижения мощности дозы: заливка бетоном проёмов в яме Синхрофазотрона на протяжении 4-го квадранта и сооружение массивной ловушки пучка ядер нецелевой зарядности.

Возможное расположение ловушки над туннелем Нуклотрона в районе 3-го квадранта показано на Рис. 9.5.4 и 9.5.5. В этом районе туннель Нуклотрона перекрыт бетонной плитой толщиной 0,8 м. Канал транспортировки «голых» ядер (целевой зарядности) проходит через плиту под небольшим углом. Канал ядер нецелевой зарядности проходит над ним, и с помощью поворотного магнита поток «нецелевых» ядер разворачивается и транспортируется в ловушку параллельно плите на высоте 0,5 м (Рис. 9.5.5). Ловушка из обычного бетона размерами  $3 \times 3 \times 3 \text{ м}^3$  имеет центральный стальной сердечник объёмом  $1 \text{ м}^3$ . Справа от ловушки по ходу пучка располагается мощная



бетонная защита («амбразура») толщиной 5,8 м, отделяющая зал Синхрофазотрона от «старого измерительного павильона». Общий вес самой ловушки составит почти 69 т. Расстояние от ловушки до ближайшей точки на границе площадки ЛФВЭ примерно то же, что и от центра Бустера — 113 м.

Проведённые оценки пространственного распределения мощности эффективной дозы нейтронов от ловушки показали, что годовая эффективная доза от этих нейтронов на границе площадки ЛФВЭ из ловушки пучка Бустера составит  $\sim 0,075$  мЗв/год, что полностью удовлетворяет установленным нормативам с учётом наличия других радиационных источников.

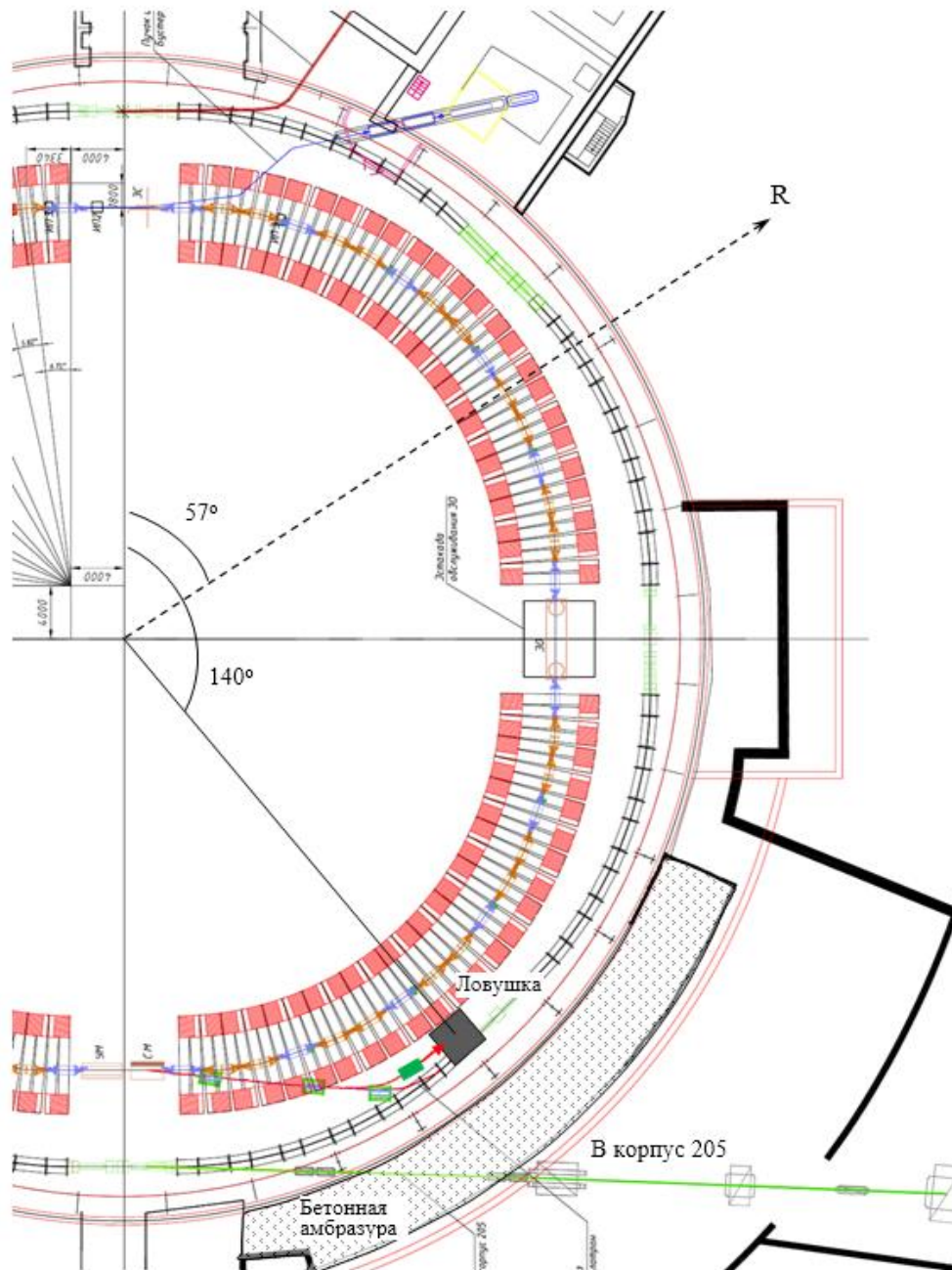


Рис. 9.5.4. Размещение ловушки ядер нецелевой зарядности. R — радиус-вектор из центра Бустера на ближайшую точку на ограде территории площадки ЛФВЭ

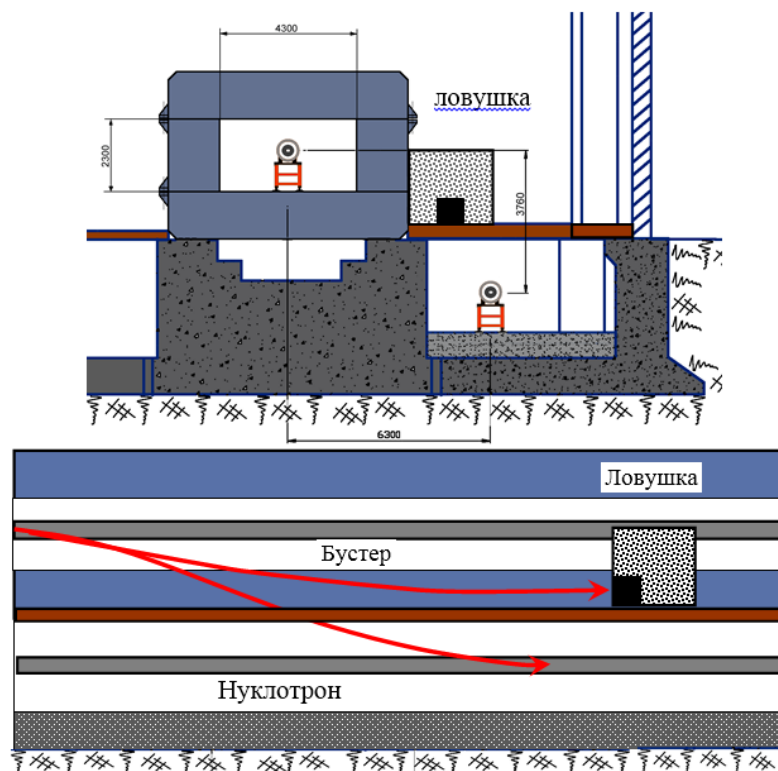


Рис. 9.5.5. Поперечные сечения Бустера и Нуклотрона в районе размещения ловушки пучка

## 9.6 ЗАЩИТА НУКЛОТРОНА

Защита Нуклотрона, предусмотренная на стадии его проектирования, не была создана. В настоящее время Нуклотрон фактически представляет собой открытый сверху источник излучения вторичных высокоэнергичных адронов. При разработке проекта NICA были выполнены расчёты радиальных распределений мощности дозы нейтронов skyshine при потерях 1 ядра  $^{197}\text{Au}^{79+}$  в секунду с энергиями от 0,45 до 4,5 ГэВ/н равномерно по кольцу Нуклотрона. Камера и элементы магнитной оптики Нуклотрона имитировались, в первом приближении, равномерным протяжённым массивом железа. Погонная масса железа примерно соответствовала средней погонной массе 300 кг/м всех деталей Нуклотрона (камеры, системы охлаждения, магнитной оптики и др.). Задавалось следующее распределение потерь пучка ядер  $^{197}\text{Au}^{79+}$  по энергии:

0,45 ГэВ/н — 25 %;

1,0 ГэВ/н — 25 %;

1,5 ГэВ/н — 10 %;

2,5 ГэВ/н — 10 %;

3,5 ГэВ/н — 10 %;

4,5 ГэВ/н — 20 %

В расчётах учитывалась реальная геометрия размещения Нуклотрона и стены здания № 1 (без оконных проёмов), окружающий воздух и грунт.

Результаты расчётов для энергетических групп ядер, нормированные на темпы потерь 1 ядро/с, показаны на Рис. 9.6.1.

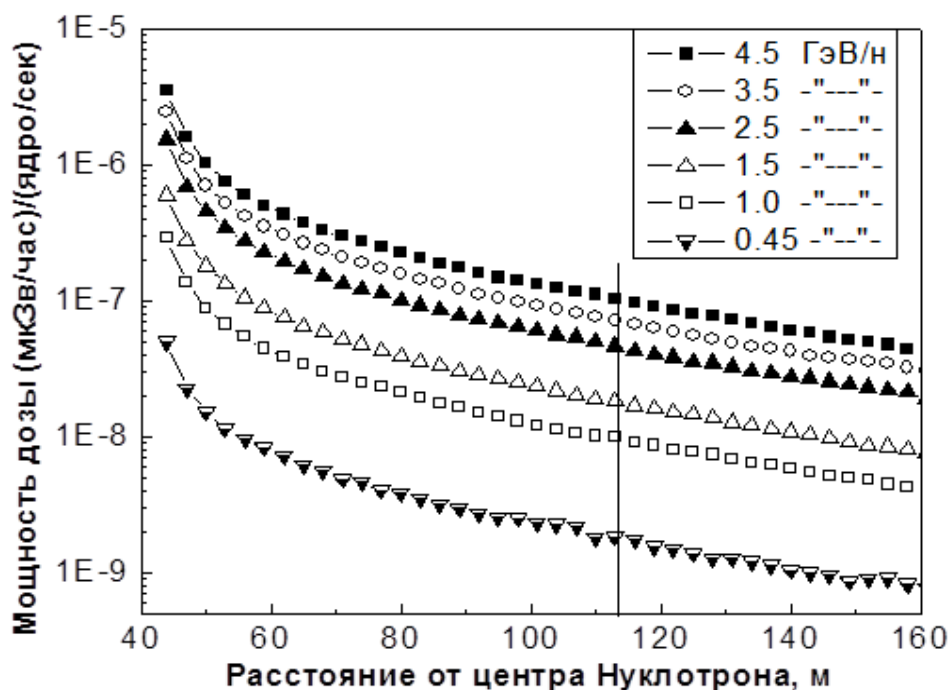


Рис. 9.6.1. Радиальное распределение мощности эффективной дозы нейтронов skyshine, формируемой из-за потерь в кольце Нуклотрона ядер различной энергии

На границе площадки ЛФВЭ в точке, ближайшей к центру Бустера и Нуклотрона (Рис. 9.5.2), мощность эффективной дозы нейтронов составляет 0,812 мкЗв/час, что, при работе Нуклотрона 4790 часа/год на полной интенсивности (с учётом наладки), составит 3,89 мЗв/год. Экстраполяция результатов эксперимента, выполненного в декабре 2013 г., дала близкие результаты. Это означает, что туннель Нуклотрона должен быть закрыт сверху эффективной защитой, иначе время его работы на эксперименты с фиксированными мишенями в корпусе № 205 должно быть существенно сокращено. Предварительные оценки показали, что сооружение верхнего перекрытия туннеля Нуклотрона бетонной защитой толщиной 1 м снижает его вклад в мощность дозы примерно в 6 – 7 раз, что позволяет соблюсти все установленные дозовые нормативы без какого-либо ущемления программы физических экспериментов на комплексе NICA.

Поскольку Бустер и Нуклотрон расположены в одном здании, радиационные зоны помещений здания № 1 и территории вокруг него одни и те же при работе обоих ускорителей (Рис. 9.5.2).

## 9.7 СИСТЕМА СИГНАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВОК

В радиационных зонах на ускорительном комплексе радиационная обстановка зависит от режима работы ускорителей, поэтому информация от датчиков стационарного дозиметрического контроля автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК) должна поступать на рабочие места персонала в виде световой и звуковой сигнализации. В рабочих помещениях комплекса необходимо установить автоматизированные табло, информирующие о состоянии ускорителя (работает, остановлен) и о радиационных зонах, действующих в данный момент. Переключение информации на табло управляется АСРК ускорительного комплекса на основе показаний датчиков радиационного контроля. Подача звукового сигнала о предстоящем включении ускорителя и, соответственно, изменении радиационной обстановки осуществляется за 120 с до включения ускорителя по команде АСУ комплекса с тем, чтобы персонал успел покинуть зоны исключённого доступа.

С целью исключения свободного входа людей в помещения зоны исключённого доступа на входных дверях этих помещений необходимо установить электромеханические замки, сблокированные с источниками, создающими зону запрета. Сигналы о состоянии электромеханических замков должны поступать в АСУ комплекса и отображаться на мнемосхеме. Ключи от электромеханических замков должны находиться в специальных приёмниках, включённых в систему блокировок и защиты ускорительного комплекса (подача высокого напряжения на элементы ускорительного комплекса, питания раздаточных магнитов и др.). До возвращения всех ключей от входных дверей в зоны запрета должна быть исключена возможность включения ускорителя и его систем, создающих зону исключённого доступа. Для персонала должна быть обеспечена возможность выхода из зоны исключённого доступа путём простой разблокировки электромеханических замков изнутри зоны.

Проходы в зоны специального допуска на время работы ускорителей закрываются, но их блокировка от АСУ или АСРК ускорителей не предусматривается.

Основным требованием к организации работ в помещениях комплекса, не относящихся к зонам исключённого или специального доступа, является проведение непрерывного контроля радиационной обстановки и наличие у персонала индивидуальных дозиметров и спецодежды.

Границы радиационных зон обозначают знаками радиационной опасности, рекомендованными ИСО.

## 9.8 НАВЕДЁННАЯ АКТИВНОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ УСКОРИТЕЛЕЙ

Активация трактов, элементов магнитной оптики, различного оборудования внутри туннелей ускорителей, Коллайдера и каналов транспортировки пучков ядер происходит за счёт их облучения интенсивными потоками вторичных адронов широкого энергетического спектра. Активируются также стены туннелей, воздух в них и охлаждающие магниты агенты. Наибольшими значениями наведённой активности будут обладать конструкционные элементы ускорителей, на которых происходят максимальные потери пучка ядер, в частности, скреперы.

Высокая активность конструкционных элементов ускорителей и трактов транспортировки пучка может препятствовать проведению персоналом ремонтно-наладочных работ внутри туннелей. Поэтому туннели Нуклотрона и Коллайдера, внутренняя полость ярма Синхрофазотрона, в которой размещено кольцо Бустера, а также каналы транспортировки пучков ядер при неработающем ускорителе являются зонами специального допуска.

Расчётная динамика накопления удельной наведённой активности в стальных скреперах Коллайдера, показана на Рис. 9.8.1 для двух временных интервалов работы Коллайдера — первого месяца и всего планового срока эксплуатации (10 лет).

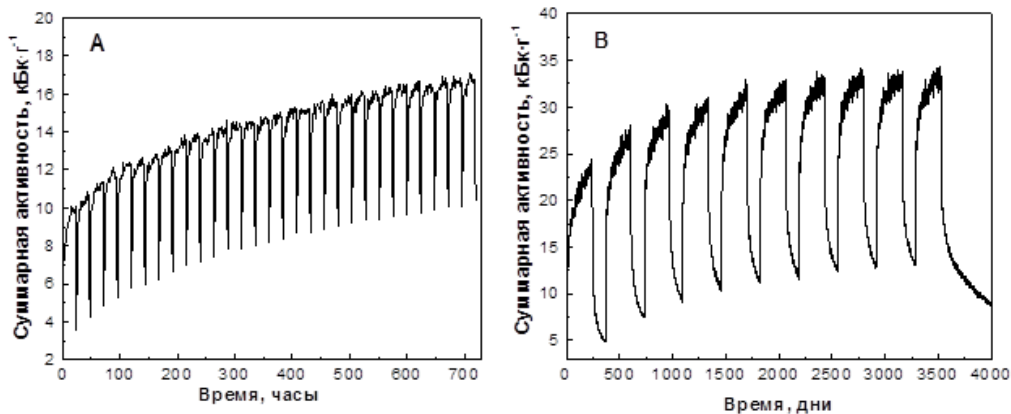


Рис. 9.8.1. Накопление удельной наведённой активности в скрепере Коллайдера за первый месяц его штатной работы (А) и за весь плановый срок эксплуатации (В)

Провалы в динамике накопления активности на Рис. 9.8.1 связаны с распадом короткоживущих радионуклидов за 2-х часовые ежедневные перерывы в работе Коллайдера (А) и 4-х месячные ежегодные перерывы на профилактику (В). Видно, что к концу первого месяца работы Коллайдера активность скреперов выйдет на уровень порядка 17 кБк/г, а за весь срок эксплуатации Коллайдера возрастёт ещё примерно в два раза.

Радионуклиды в скреперах представляют собой как фрагменты ядер мишени (большинство), так и затормозившиеся в мишени фрагменты ядра-снаряда. В Таблице 9.8.1 приведены расчётные значения парциальных удельных активностей наиболее значимых радионуклидов в составе скреперов.

Таблица 9.8.1. Парциальные удельные активности радионуклидов в скрепере Коллайдера после 1 месяца его работы и к концу срока его эксплуатации

Радионуклид	Удельная активность после 1 месяца, Бк·кг <sup>-1</sup>	Удельная активность после 10 лет, Бк·кг <sup>-1</sup>	Допустимый уровень удельной активности для не радиоактивных материалов, Бк·кг <sup>-1</sup>
<sup>35</sup> S	1.4·10 <sup>4</sup>	2.45·10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
<sup>38</sup> Cl	1.15·10 <sup>4</sup>	1.17·10 <sup>4</sup>	<b>10<sup>4</sup></b>
<sup>42</sup> K	1.6·10 <sup>4</sup>	1.65·10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
<sup>43</sup> K	1.14·10 <sup>5</sup>	1.15·10 <sup>5</sup>	<b>10<sup>4</sup></b>
<sup>45</sup> Ca	2.3·10 <sup>3</sup>	1.1·10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
<sup>47</sup> Ca	1.8·10 <sup>3</sup>	4.2·10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
<sup>46</sup> Sc	8.2·10 <sup>3</sup>	3.8·10 <sup>4</sup>	<b>10<sup>2</sup></b>
<sup>47</sup> Sc	3.3·10 <sup>4</sup>	3.3·10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
<sup>48</sup> Sc	1.4·10 <sup>4</sup>	1.4·10 <sup>4</sup>	<b>10<sup>3</sup></b>
<sup>48</sup> V	2.3·10 <sup>5</sup>	2.3·10 <sup>5</sup>	<b>10<sup>3</sup></b>
<sup>51</sup> Cr	2.8·10 <sup>5</sup>	5.7·10 <sup>5</sup>	<b>10<sup>5</sup></b>
<sup>52</sup> Mn	4.5·10 <sup>5</sup>	4.6·10 <sup>5</sup>	<b>10<sup>3</sup></b>
<sup>54</sup> Mn	3.8·10 <sup>4</sup>	5.5·10 <sup>5</sup>	<b>10<sup>2</sup></b>
<sup>52</sup> Fe	2.55·10 <sup>5</sup>	2.8·10 <sup>5</sup>	<b>10<sup>4</sup></b>
<sup>55</sup> Fe	4.2·10 <sup>4</sup>	1.5·10 <sup>6</sup>	<b>10<sup>6</sup></b>
<sup>59</sup> Fe	4.1·10 <sup>3</sup>	1.4·10 <sup>4</sup>	<b>10<sup>3</sup></b>
<sup>55</sup> Co	4.9·10 <sup>4</sup>	5.3·10 <sup>4</sup>	<b>10<sup>4</sup></b>
<sup>56</sup> Co	2.4·10 <sup>4</sup>	7.2·10 <sup>4</sup>	<b>10<sup>2</sup></b>
<sup>57</sup> Co	4.6·10 <sup>3</sup>	1.9·10 <sup>4</sup>	<b>10<sup>3</sup></b>

Примечание: жирным шрифтом и тенью выделены радионуклиды, чья активность в скреперах превышает допустимый уровень согласно ОСПОРБ-99/2010.

Видно, что уже после короткого периода работы скреперы становятся радиоактивными деталями и требуют в дальнейшем обращения с собой, как с высокоактивными отходами. То же касается и других, интенсивно облучаемых конструкционных элементов Коллайдера, Бустера и Нуклотрона. Поэтому все выносимые из туннелей ускорителей материалы следует подвергать радиационному контролю.

Мощность дозы гамма-излучения только от одного скрепера на расстоянии 1 м через месяц работы составит около 5 мкЗв/час, а общий уровень мощности дозы в туннеле Коллайдера может достигнуть десятков мкЗв/час в конце срока эксплуатации Коллайдера.

Активации подвергается и окружающая ускоритель защита (бетон). Из относительно короткоживущих нуклидов, образующихся в бетоне под воздействием нейтронов, доминирует <sup>24</sup>Na. В бетоне присутствует ~ 1 % по весу природного натрия (<sup>23</sup>Na) в различных соединениях и <sup>24</sup>Na образуется в результате реакции захвата тепловых нейтронов (основной канал) и реакций деления.

Кроме того, активация бетона, в значительно меньшей степени, обусловлена также образованием долгоживущих радионуклидов  ${}^7\text{Be}$ ,  ${}^{22}\text{Na}$ ,  ${}^{45}\text{Ca}$ ,  ${}^{32}\text{P}$ ,  ${}^{54}\text{Mn}$ .

На комплексе должно быть организовано специальное помещение для временного хранения деталей с наведённой активностью, обеспеченное постоянным радиационным контролем с помощью гамма-датчика АСРК и исключающее свободный доступ в него персонала. По мере накопления радиоактивных отходов организуется их передача на захоронение в установленном порядке.

## 9.9 АКТИВАЦИЯ ВОЗДУХА В ТУННЕЛЯХ УСКОРИТЕЛЕЙ

Активация воздуха в ограниченных помещениях внутри защиты трактов пучков создаёт возможность облучения персонала как внутреннего (через ингаляцию), так и внешнего при оперативных работах на тракте сразу же после отключения ускорителей. Оценки активации воздуха были выполнены для туннеля Коллайдера при штатных потерях ядер по двум кольцам. В Таблице 9.9.1 приведены значения парциальных активностей в насыщении радионуклидов, образующихся при активации воздуха вторичным адронным излучением внутри туннеля Коллайдера при суммарных потерях в обоих кольцах ядер  ${}^{197}\text{Au}^{79+}$  с энергией 4,5 ГэВ/н  $1,46 \cdot 10^6$  ядер/с ( $2,2 \cdot 10^9$  ядер/1500 с). Результаты расчёта приведены за двое суток без учёта воздухообмена в туннеле.

Таблица 9.9.1. Активация воздуха в туннеле Коллайдера

Время, ч	Активность, Бк/см <sup>3</sup>							
	${}^7\text{Be}$	${}^{11}\text{C}$	${}^{13}\text{N}$	${}^{15}\text{O}$	${}^{22}\text{Na}$	${}^{38}\text{Cl}$	${}^{41}\text{Ar}$	Сумма
22	2,60E-07	6,26E-05	3,58E-04	8,90E-05	7,63E-11	3,76E-06	3,76E-06	5,509E-04
24	2,60E-07	1,08E-06	8,51E-08	1,38E-22	7,63E-11	4,02E-07	4,02E-07	1,906E-05
46	5,17E-07	6,26E-05	3,58E-04	8,90E-05	1,52E-10	3,76E-06	3,76E-06	5,511E-04
48	5,17E-07	1,08E-06	8,51E-08	1,38E-22	1,52E-10	4,02E-07	4,02E-07	1,932E-05
$T_{1/2}$	53,44 дня	20,48 мин	9,97 мин	122,24 с	2,602 года	37,21 мин	1,827 ч	

Динамика накопления суммарной активности в воздухе туннеля без вентиляции за трое последовательных суток показана на Рис. 9.9.1. При этом активность воздуха медленно растёт за счет накопления  ${}^7\text{Be}$  и  ${}^{22}\text{Na}$ .

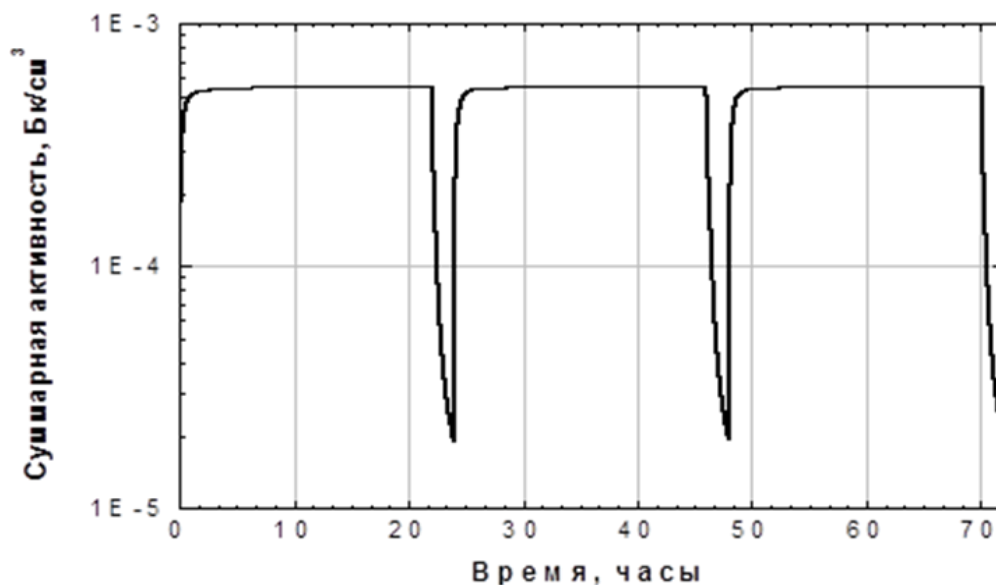


Рис. 9.9.1. Динамика накопления активности в воздухе туннеля Коллайдера без воздухообмена

Некоторые образуемые в воздухе радионуклиды нормируются по внешнему излучению (например,  $^{41}\text{Ar}$ ), другие — по внутреннему облучению (например,  $^{13}\text{N}$  и  $^{15}\text{O}$ ). Значения допустимых среднегодовых объёмных активностей радионуклидов в воздухе для персонала приведены в НРБ-99/2009. С учётом того факта, что помещения туннелей ускорителей являются зоной специального допуска при выключении ускорителей, пребывание в них персонала для ремонтных и профилактических работ ограничивается коротким временем (не более 2-х часов в сутки), и что воздухообмен в указанных помещениях предусматривается за счёт общеобменной вентиляции (в проекте Коллайдера предусмотрена кратность воздухообмена в туннеле  $K = 2 \text{ ч}^{-1}$ ), запретный период для снижения активности газов в туннеле Коллайдера не нужен. Мощность дозы гамма-квантов от радионуклидов в воздухе каньона пренебрежимо мала.

При наличии общеобменной вентиляции в туннелях транспортировки пучков все вышесказанное справедливо для них. Туннели Нуклотрона и Бустера допускают свободный воздухообмен с окружающей средой даже при отсутствии общеобменной вентиляции.

Оценки, выполненные в проекте Коллайдера, показывают, что мероприятий по отстою воздуха или его специальной очистке от радионуклидов перед выбросом в атмосферу не требуется, а величину выброса не требуется контролировать и согласовывать. Эти же оценки справедливы и для других ускорителей комплекса.



## 9.10 АКТИВАЦИЯ ГРУНТА ПОД УСКОРИТЕЛЯМИ

Активация грунта и подпочвенной воды возможна под Нуклотроном, Коллайдером и каналами транспортировки пучков ядер за счёт вторичных нейтронов, проникающих в грунт через фундамент.

В целом, почва — сравнительно слабоактивируемое вещество. Наиболее значимыми долгоживущими радионуклидами, определяющими активацию почвы, являются  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ . Из радионуклидов, играющих роль в загрязнении подпочвенных вод, можно рассматривать только  $^3\text{H}$  в составе воды и  $^{22}\text{Na}$  (образует хорошо растворимые соединения). Для ускорительного комплекса NICA проблема загрязнения подпочвенной воды не стоит, поскольку водозабор питьевой воды осуществляется из Волги и находится на расстоянии нескольких километров от места размещения ускорителей.

На основании опыта эксплуатации ускорителей высокой энергии утверждается также, что активация грунта и почвенных вод может быть сколько-нибудь значимой при плотности потока нейтронов высокой энергии в грунте более  $\sim 10^7$  н/(см<sup>2</sup>·с). Ожидаемые значения плотности потока нейтронов на ускорителях комплекса при задаваемых в проекте потерях пучков ядер на несколько порядков ниже вышеуказанной величины. Таким образом, можно утверждать, что работа комплекса NICA не создаст проблем с уровнями наведённой активности грунта и загрязнением подпочвенных вод.

## 9.11 АКТИВАЦИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Сверхпроводящие магниты Бустера, Нуклотрона и Коллайдера и соленоиды СЭО, используют для охлаждения жидкие гелий и азот. «Тёплые» магниты, ВЧ-генераторы и вакуумные посты охлаждаются дистиллированной водой. Теплоносители циркулируют по замкнутым контурам, на отдельных участках которых происходит активация теплоносителей вторичным адронным излучением. Образовавшиеся радионуклиды выносятся потоками теплоносителей из зон облучения и поступают по контурам в технические помещения вне туннелей ускорителей, где возможно облучение персонала гамма-квантами, сопровождающими распад радионуклидов.

При работе системы охлаждения гелием под действием тепловых нейтронов образуется тритий, являющийся чистым бета-излучателем с энергией электронов 18,6 кэВ. Поэтому контур циркуляции жидкого гелия не является источником внешнего облучения персонала. В проекте Коллайдера сделана оценка удельной активности трития в теплоносителе равная  $1,4 \cdot 10^{-3}$  Бк/г. Такая удельная активность не требует мероприятий по радиационной безопасности при аварии на контуре (разрыве).

При активации азота в наиболее значимых количествах образуются радионуклиды  $^{13}\text{N}$  и  $^{11}\text{C}$  (оба позитронно-активные бета-излучатели с  $T_{1/2} = 10$  и  $20$  мин, создающие аннигиляционные гамма-кванты), а также долгоживущие тритий и  $^7\text{Be}$ . В проекте Коллайдера рассмотрен вопрос о накоплении в жидком азоте активности указанных радионуклидов и получены оценки максимальной удельной активности  $^{13}\text{N}$  —  $3,4$  Бк/г, а для  $^{11}\text{C}$  —  $6,4$  Бк/г. Наибольшая концентрация активности будет происходить в накопительном баке объёмом  $500$  л системы водоохлаждения Коллайдера, а, максимальный уровень мощности дозы от короткоживущих радионуклидов составит  $0,5$  мкЗв/час (бак находится в помещении временного пребывания персонала и никаких ограничений с точки зрения радиационной безопасности не возникает).

Активация охлаждающей воды во многом зависит от её чистоты. В проекте Коллайдера предусматривается использование в качестве охлаждения дистиллированной воды с удельной электропроводностью  $200$  кОм·см. Активность такой воды-теплоносителя определяется собственными радионуклидами, образованными в реакциях адронов с кислородом, т.е. радионуклидами  $^{13}\text{N}$ ,  $^{11}\text{C}$ , короткоживущими  $^{15}\text{O}$ ,  $^{14}\text{O}$  и  $^{16}\text{N}$ , долгоживущими  $^3\text{H}$  и  $^7\text{Be}$ . В проекте Коллайдера оценены максимальные удельные активности  $^{13}\text{N}$  —  $0,1$  Бк/г,  $^{11}\text{C}$  —  $0,11$  Бк/г и  $^7\text{Be}$  —  $0,11$  Бк/г в воде при работе Коллайдера (большая часть короткоживущих радионуклидов распадается за время движения воды в контуре). Удельная активность воды меньше уровня вмешательства, установленного в НРБ-99/2010 для воды и равного  $4,9$  Бк/г по  $^7\text{Be}$ , т.е. разгерметизация контура не будет являться инцидентом с точки зрения радиационной безопасности. Мощность дозы гамма излучения у накопительного бака с водой также незначительна.

## 9.12 АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА КОМПЛЕКСЕ

Аварийные ситуации на комплексе связаны, главным образом, с отказами работы элементов магнитной оптики и мгновенной высадке пучка ядер на деталях колец ускорителей или трактов транспортировки пучков. Причиной этого могут быть срывы состояния сверхпроводимости в «холодных» магнитах Бустера, Нуклотрона и Коллайдера и отключение питания «тёплых» магнитов в трактах транспортировки пучков. Отключение магнитов приводит к мгновенному прекращению процесса ускорения ядер и отключению ускорителей. Поэтому аварии, связанные с отказами магнитов, не приводят к ухудшению радиационной обстановки на комплексе и, тем более, в окружающей комплекс среде. Разгерметизация контуров теплоносителей также не приводит к радиационному загрязнению помещений из-за незначительной наведённой активности теплоносителей. Выбросы радиоактивности в окружающую среду (воздуха из технологических помещений ускорителей, содержащего радионуклиды) весьма незначительны, и не подлежат радиационному контролю ни при штатной работе ускорителей, ни при возникновении аварийных

ситуаций. Поэтому ускорительный комплекс NICA не является источником потенциальной опасности для населения при авариях.

### 9.13 РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НА КОМПЛЕКСЕ

Радиационный контроль является неотъемлемой частью системы радиационной безопасности, обеспечивающей получение необходимой и достоверной информации о состоянии радиационной обстановки на комплексе, динамике её изменения и об уровнях облучения персонала. В состав оборудования и мероприятий радиационного контроля входят:

- стационарный (зонный) непрерывный автоматизированный контроль радиационной обстановки в помещениях комплекса и на окружающей его территории;
- периодический (плановый) контроль радиационной обстановки стационарными, переносными и лабораторными техническими средствами, осуществляемый персоналом службы радиационной безопасности комплекса;
- периодический (инспекционный) радиационный контроль на территории площадки ЛФВЭ, осуществляемый персоналом службы радиационной безопасности ОИЯИ;
- индивидуальный дозиметрический контроль посредством применения персональных носимых дозиметров нейтронного и гамма-излучения, включающий в себя оперативный индивидуальный контроль и контроль профессионального облучения.

Стационарный непрерывный автоматизированный контроль радиационной обстановки в помещениях комплекса и на окружающей его территории производится с помощью автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК), целью которой является получение достаточной и достоверной информации, характеризующей текущее состояние радиационной обстановки в помещениях зданий комплекса и территорий вокруг него, оценки доз облучения персонала и населения как при нормальной эксплуатации технологического оборудования, так и в случае радиационной аварии.

Основные задачи АСРК:

- 1) измерение мощности амбиентной дозы нейтронов и гамма-квантов в фиксированных точках на комплексе при различных режимах его работы с помощью стационарных средств (датчиков) радиационного контроля. Точки расположения датчиков выбираются в зонах временного и постоянного пребывания персонала групп А и Б, а также на границе площадки ЛФВЭ в районах, прилегающих к ускорительному комплексу;

- 2) индикация возникновения полей излучения внутри зон исключённого доступа и зон ограниченного доступа для организации блокировок доступа персонала в эти зоны и сигнализации о режиме работы ускорителей;
- 3) измерение уровней мощности дозы гамма-излучения от наведённой активности в туннелях ускорителей после их выключения;
- 4) визуализация получаемой информации о радиационной обстановке на комплексе (мнемосхемы), хранение и документирование данных о текущей радиационной обстановке, выдача информации о превышении установленных контрольных уровней по дозе;
- 5) управление световой и звуковой сигнализацией о текущем состоянии радиационной обстановки на комплекса;
- 6) передача необходимых сигналов в АСУ ускорительного комплекса.

В проекте Коллайдера NICA для стационарного непрерывного автоматизированного контроля дозы и мощности дозы гамма- и нейтронного излучения предусмотрен современный комплекс технических средств (КТС) автоматизированной системы радиационного контроля АСРК производства ЗАО «АСПЕКТ», г. Дубна.

В состав КТС входят технические средства сбора, преобразования, обработки, хранения, отображения информации и её передачи по интерфейсной связи RS-485 сети Ethernet, а именно:

- интеллектуальные устройства детектирования нейтронного излучения (УДБН), обеспечивающие измерение мощности дозы нейтронного излучения в диапазоне  $0,1 \div 10^4$  мкЗв/ч, в диапазоне регистрируемых энергий  $10^{-3} \div 14$  МэВ. УДБН предусматривают возможность подключения блока сигнализации (БС) для выдачи звуковой и двухуровневой световой (красный-зелёный) сигнализации;
- интеллектуальные устройства детектирования гамма-излучения (УДБГ), обеспечивающие измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в диапазоне  $0,1 \div 10^5$  мкЗв/ч, в диапазоне регистрируемых энергий  $0,06 \div 3,0$  МэВ. УДБГ предусматривают возможность подключения блока сигнализации (БС) для выдачи звуковой и двухуровневой световой (красный-зелёный) сигнализации;
- блоки питания и коммутации (БПК), предназначенные для преобразования переменного напряжения питающей сети в постоянное напряжение 15 В и обеспечения питания устройств детектирования и блоков сигнализации, подключённых к изделию. Кроме преобразователя напряжения в корпусе БПК предусматриваются модули для протяжённой линии RS-485;
- интеллектуальные БС для выдачи звуковой и двухуровневой световой (красный-зелёный) сигнализации от одного или группы устройств детектирования. Интеллектуальные БС

предусматривают возможность подключения табло световой сигнализации с надписью «Не входить» и связи интерфейса RS-485;

- автоматизированное рабочее место оператора системы радиационного контроля (АРМ АСРК), включающий в себя персональный компьютер, монитор, принтер и сервер.

Для слежения за рабочим режимом и предотвращения аварийных ситуаций на ускорительном комплексе в систему АСРК Коллайдера поступают входные сигналы из системы блокировки и сигнализации о состоянии дверей в зону исключённого доступа, сигналы из АСУ ускорительного комплекса о состоянии элементов, определяющих работу Нуклотрона, и сигналы из СЭО о состоянии элементов, определяющих работу СЭО. В свою очередь, АСРК Коллайдера передаёт в АСУ ускорительного комплекса сигналы:

- «разрешение» на включение элементов, определяющих работу СЭО;
- «разрешение» на ввод пучка из Нуклотрона в Коллайдер.

На Нуклотроне и в корпусе № 205 в настоящее время действует двухуровневая АСРК, разработанная в ОИЯИ на базе датчиков нейтронов с СНМ-14 в комбинированном замедлителе. На следующем этапе действующая на Нуклотроне АСРК будет заменена на такую же АСРК производства ЗАО «АСПЕКТ», что предусмотрена в проекте Коллайдера. При этом число устройств детектирования нейтронов и гамма-квантов, блоков сигнализации, питания и коммутации в ней будет увеличено с учётом обслуживания работы Бустера Нуклотрона и НИЛАС. На ускорительном комплексе НИСА в итоге должна быть создана единая АСРК комплекса, включающая в себя как подсистемы АСРК Коллайдера, Нуклотрона Бустера, НИЛАС и экспериментального корпуса № 205. Таким образом, предусмотренные проектной документацией технические средства радиационного контроля будут иметь сертификат соответствия требованиям соответствующих нормативных документов по метрологическому обеспечению, надёжности, стойкости к внешним воздействиям, конструктивным требованиям и требованиям безопасности. Метрологическое обслуживание средств радиационного контроля и их поверка будет осуществляться силами Отдела радиационной безопасности ОИЯИ.

Размещение автоматизированного рабочего места оператора АСРК комплекса предусматривается в помещении дозиметристов в корпусе № 205.

Помимо АСРК на комплексе должен быть организован контроль несанкционированного выноса материалов с наведённой активностью или радиационно загрязнённых материалов из помещений ускорителей с помощью стационарных постов дозиметрического контроля на входах (воротах). Дозиметрический пост представляет собой стационарно установленный измеритель скорости счета

двухканальный УИМ2-2Д (производство НПП «Доза») с блоками детектирования гамма-излучения БДМГ-100 и плотности потока бета-излучения БДЗБ-100.

Периодический и инспекционный радиационный контроль осуществляется следующими приборами:

- универсальным дозиметром-радиометром ДКС-96 (производства НПП «Доза», г. Зеленоград) с набором сменных блоков детектирования гамма-, бета-, альфа и нейтронного излучения (БДМН-96, БДМГ-96, БДЗА-96, БДЗБ-99, БДКС-96);
- альфа-бета-радиометром УМФ-2000 (производства НПП «Доза») для измерения активности проб;
- нейтронными дозиметрами ДВГН-01 производства ОАО «АЭХК», г. Ангарск для интегрального контроля дозы нейтронов на территории комплекса;
- переносным НРГ гамма-спектрометром типа Bruker Baltic для измерений в окружающей среде.

Поскольку энергия нейтронов в реальных полях излучения на ускорителях комплекса простирается до нескольких ГэВ, а верхняя граница рабочего диапазона блоков детектирования нейтронов УДБН, используемых в АСРК, и блока детектирования нейтронов БДМН-96 дозиметра-радиометра ДКС-96, используемого в оперативном контроле не превышает  $10 \div 14$  МэВ, то для корректного учёта вклада в дозу высокоэнергетичных нейтронов необходимо использовать специализированные средства радиационного контроля типа WENDI-2 фирмы "Thermoscientific", США или же разработать силами Института подобный прибор. С помощью такого прибора может быть осуществлена корректировка показаний блоков детектирования нейтронов АСРК в реальных полях излучения.

В индивидуальном контроле профессионального гамма-облучения персонала комплекса предусматривается применение индивидуальных ТЛ-дозиметров (производства ОАО «АЭХК»). Предусматривается применение ТЛ-дозиметров ДВГ-01 для измерения индивидуальной эквивалентной дозы гамма-излучения и ДВГН-01 для измерения индивидуальной эквивалентной дозы нейтронного излучения в смешанных гамма-нейтронных полях. Для считывания показаний индивидуальных ТЛ-дозиметров предусматривается применение автоматизированного комплекса индивидуального дозиметрического контроля АКВДК-301.

Для оперативного индивидуального контроля полученной дозы гамма- и нейтронного облучения персонала предусматривается использование прямо показывающего гамма-нейтронного дозиметра ДВС-01С (производства НПП «Доза»).

# Приложение 1

## к Главе 9

---





## П.9.1 ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ВОКРУГ БУСТЕРА НУКЛОТРОНА ПРИ УСКОРЕНИИ ИОНОВ $^{197}\text{Au}^{31+}$

Оценка радиационной обстановки вокруг Бустера Нуклотрона при ускорении ионов  $^{197}\text{Au}^{31+}$  до энергии 572 МэВ/н проводилась расчётным путём с помощью универсальной программы транспорта излучений в веществе на основе метода Монте-Карло, являющейся на сегодняшний день наиболее разработанным инструментом для сложных физических расчётов полей излучения в 3D геометрии. Основная исходная информация для выполнения расчётов содержится в Техническом задании на проектирование радиационной защиты Бустера и в Исходных данных для технического задания на разработку проектной документации на капитальный ремонт здания № 1 для размещения инжектора тяжелых ионов Нуклотрона.

Поскольку формирование полей вторичных и рассеянных полей излучения вокруг Бустера при его работе и вокруг здания № 1 происходит сложным образом за счёт большого числа радиационных источников различного вида (протяжённых или локальных), возникающих как при взаимодействии первичных ионов  $^{197}\text{Au}$  разных энергий с конструкционными деталями ускорителя, так и вторичных нуклонов с окружающим оборудованием, стенами, средой и т.д. для корректного описания результирующего дозного распределения вокруг ускорителя необходимо задать детальные трёхмерные геометрии Бустера и здания № 1.

В геометрии расчётов учитывались в реальном масштабе:

- камера Бустера, где происходит первичное взаимодействие ускоренных ионов с веществом и элементы магнитной оптики, в которых происходит перерассеяние вторичного нуклонного излучения;
- скреперы пучка для устранения выбывших из процесса ускорения ионов пучка;
- железное ярмо Синхрофазотрона с имеющимися щелями и проёмами;
- здание № 1 (стены, оконные проёмы);
- окружающая среда (грунт, воздух), в которой происходит многократное рассеяние излучения.

На Рис. П.9.1.1 показаны упрощённые сечения камеры Бустера, дипольного магнита и квадрупольной линзы, принятые в расчётах.

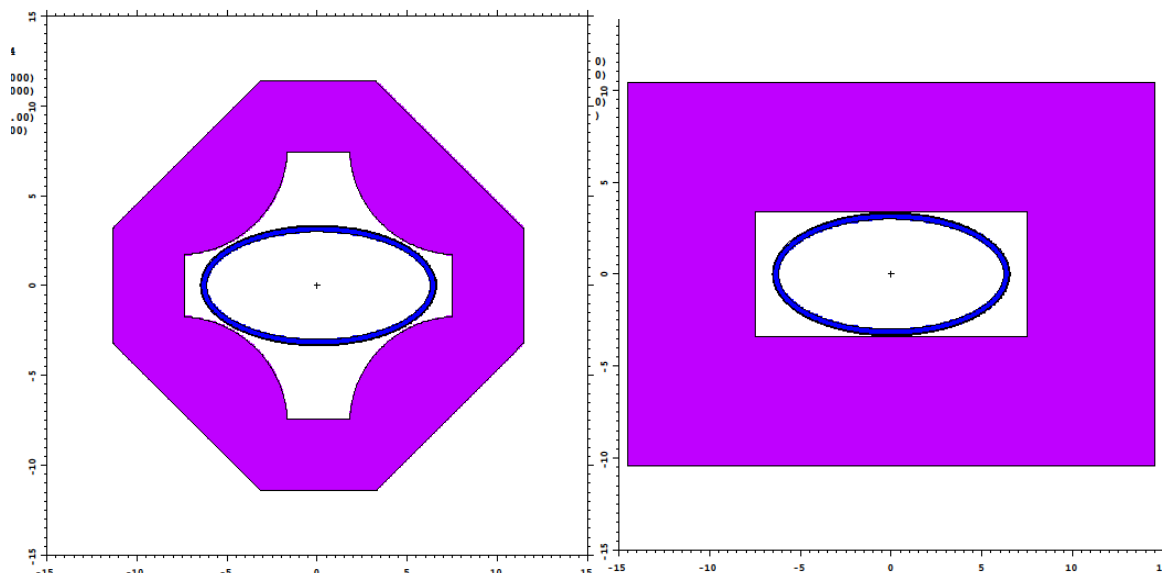


Рис. П.9.1.1. Сечения дипольного магнита и квадрупольной линзы

Длина магнитов 220 см, а линз — 47 см. Также на этом рисунке видна пучковая камера, которая имеет вид эллиптического тороида с внешними размерами 130 × 64 мм. Стенки камеры толщиной 3 мм выполнены из нержавеющей стали. Размещение элементов магнитной оптики с периодом FODO внутри ярма магнита одного квадранта Синхрофазотрона показано на Рис. П.9.1.2.

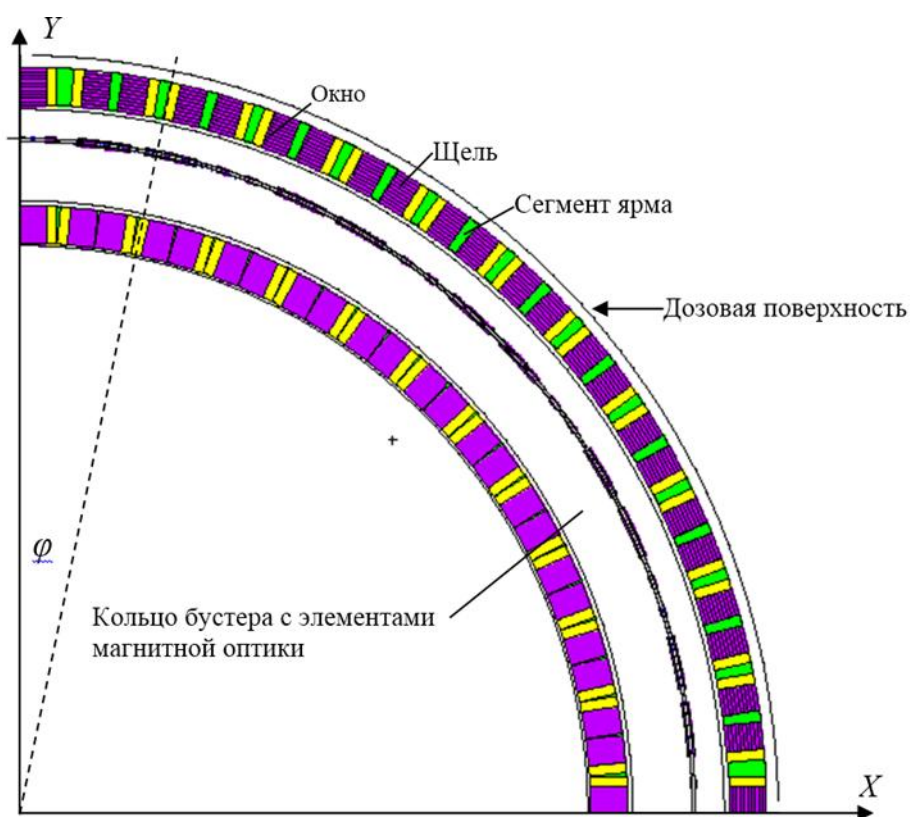


Рис. П.9.1.2. Горизонтальное сечение квадранта Бустера с магнитной оптикой и ярмом, включая имеющиеся щели (зелёный цвет) и окна (жёлтый цвет). Для оценки дозы в непосредственной близости от Бустера, введена дозовая поверхность, отстоящая от внешней стороны ярма на 1 м

В каждом квадранте по 24 сегмента ярма. Половинка внешнего окна в ярме представляет собой часть цилиндра и имеет ширину 42 см, а высоту 162,6 см. На внешней поверхности ярма щель имеет ширину 41,4 см.

Общий вид сечения здания № 1 (без пристроек) с размещённым внутри Бустером (4 квадранта + прямолинейные промежутки) показан на Рис. П.9.1.3.

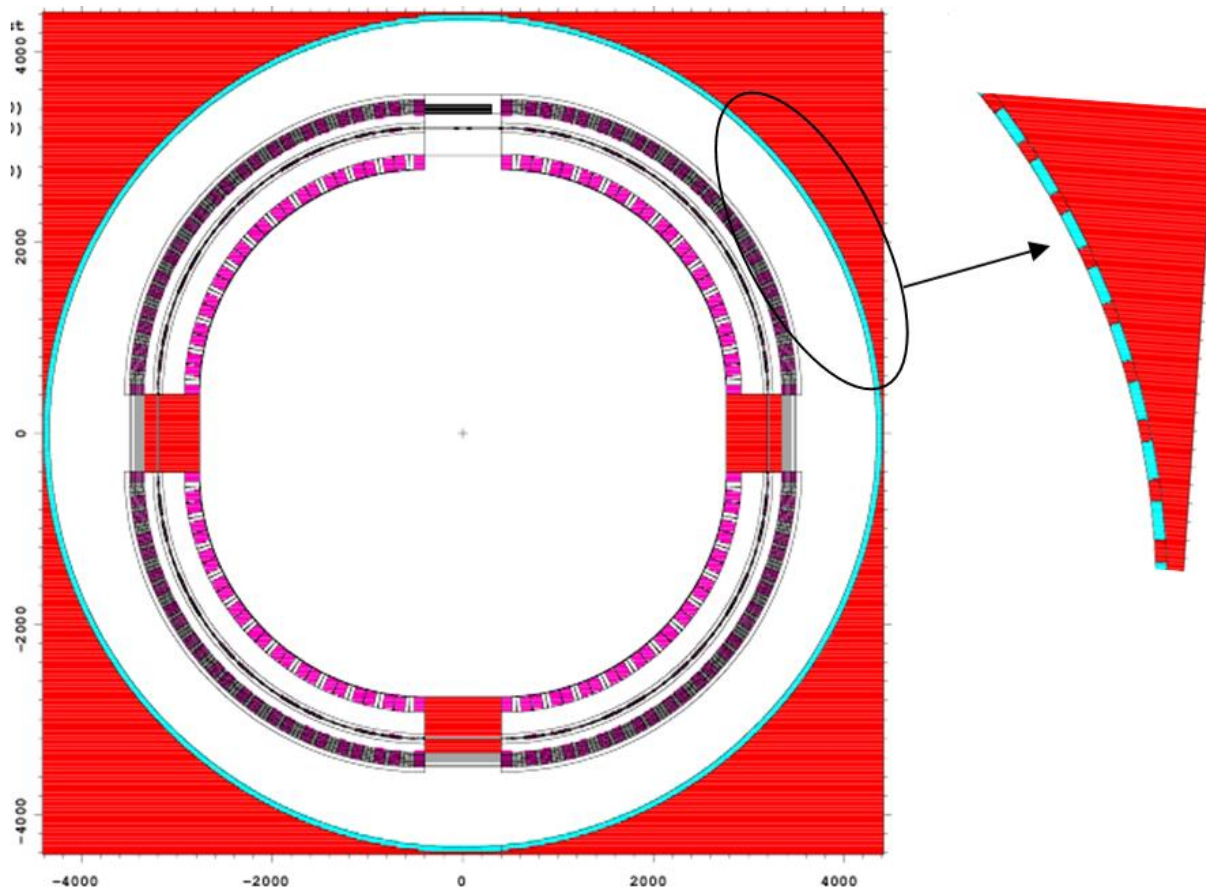


Рис. П.9.1.3. Сечение здания № 1 с Бустером внутри. Голубая линия — кольцевая стена здания. Красным цветом обозначена территория вне здания. На вставке справа — увеличенный участок стены с оконными проёмами

Высота стены здания № 1 — 15,7 м, толщина — 0,6 м кирпича. На высоте 7,6 м от земли в стене имеются оконные проёмы шириной 1,2 м и высотой 7,5 м.

В центре каждого квадранта размещается по 4 скрепера, представляющих в первом приближении стальные пластины справа-слева и сверху-снизу от пучка, ограничивающие его апертуру. В расчётах задавался в каждом квадранте «объединённый» скрепер в виде железного цилиндра длиной 10 см и диаметром 5 см, в центр которого падал пучок ионов.

В качестве рассеивающей среды внутри здания № 1 и вокруг него задавался воздух при нормальном давлении и температуре. Вокруг здания учитывалось также наличие грунта толщиной 1 м ( $\text{SiO}_2$  плотностью  $1,7 \text{ г/см}^3$ ) и объёма воздуха радиусом 1000 м от центра Бустера.

Темпы потерь ядер  $^{197}\text{Au}$  в Бустере (ядер/с), определяющие радиационную обстановку, задавались согласно Таблице П.9.1.1.

Таблица П.9.1.1. Темпы потерь и энергии ядер  $^{197}\text{Au}$  на различных этапах ускорения

Источник потерь	Нач. энергия ГэВ/н	Кон. энергия, ГэВ/н	Нач. интен.	Конеч. интен.	Суммар. потери	Где происходят	Распределение по энергии, ГэВ/н
Инжекция в Нуклотрон из Бустера	0,572	0,572	$2,25 \cdot 10^9$	$2,22 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^6$ (1 %)	локально	0,572
Обдирка пучка	0,578	0,572	$2,81 \cdot 10^9$	$2,25 \cdot 10^9$	$1,12 \cdot 10^8$ (20 %)	локально в ловушке	0,572
Бустер, гало пучка (скреперы)	0,065	0,578	$3,11 \cdot 10^9$	$2,81 \cdot 10^9$	по $3,72 \cdot 10^6$ (10 %)	Локально в каждом из 16 скреп.	$0,065 \div 0,578$
Бустер равномерно по кольцу	0,065	0,578	$3,12 \cdot 10^9$	$3,11 \cdot 10^9$	$2,48 \cdot 10^6$	равномерно по кольцу	равномерно $0,065 \div 0,578$
Бустер, рекомбинация ионов в СЭО	0,065	0,065	$3,9 \cdot 10^9$	$3,12 \cdot 10^9$	$1,56 \cdot 10^8$ (20 %)	локально в скреперах квадранта 4	0,065
Начальный этап ускорения в Бустере	0,0032	0,065	$4,11 \cdot 10^9$	$3,9 \cdot 10^9$	$4,2 \cdot 10^7$ (5 %)	равномерно по кольцу	равномерно $0,0032 \div 0,065$
Инжекция в Бустер	0,0032	0,0032	$5,48 \cdot 10^9$	$4,11 \cdot 10^9$	$2,74 \cdot 10^8$ (25 %)	локально	0,0032

Основным дозообразующим компонентом радиационных полей на Бустере являются нейтроны широкого спектра энергии. Для оценки эффективности ярма Синхрофазотрона как радиационной защиты Бустера были рассчитаны пространственные распределения дозы вдоль дозовой поверхности (Рис. П.9.1.2) при равномерных потерях пучка вдоль кольца Бустера в дух вариантах: без ярма Синхрофазотрона и с ярмом, имеющем реальные щели и окна. На Рис. П.9.1.4 показано, для примера, пространственное распределение мощности дозы нейтронов вдоль дозовой поверхности одного квадранта при наличии ярма с проёмами, нормированное на темп потерь ядер  $^{197}\text{Au}$  с энергией 578 МэВ/н в квадранте  $10^7$  ядер/с. По оси абсцисс отложен угол  $\varphi$ , отсчитываемый от оси Y (см. Рис. П.9.1.2).

Обращает на себя внимание резкое возрастание мощности дозы напротив щелей и, особенно, окон в ярме Синхрофазотрона. На сниженное значение мощности дозы под углами около  $90^\circ$  (начало квадранта) не надо обращать внимание, поскольку моделировался только один квадрант, и низкое значение мощности дозы в начале квадранта обусловлено направленностью вторичного нуклонного излучения вперёд по направлению пучка. Колебания значений мощности дозы напротив щелей и проёмов возникают из-за взаимного расположения элементов магнитной оптики по кольцу и проёмов в ярме. Проведённые расчёты показали, что в реальности ярмо магнита

Синхрофазотрона, несмотря на толщину, не является эффективной радиационной защитой из-за наличия проёмов. Сравнение максимальных значений мощности дозы в двух вариантах расчёта показало, что яро толщиной 155 см с проёмами ослабляет мощность дозы всего в 1,52 раза по сравнению с ситуацией, когда яро отсутствует полностью.

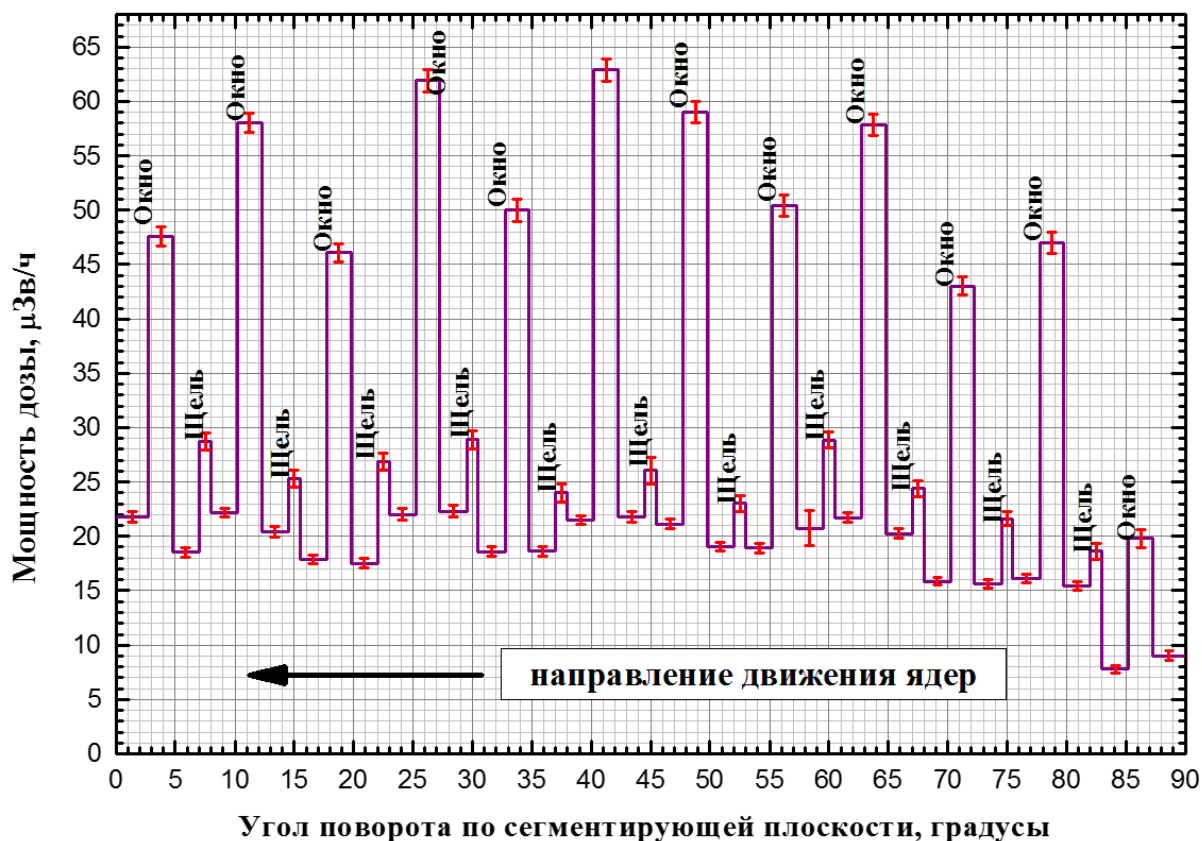


Рис. П.9.1.4. Пространственное распределение мощности дозы нейтронов вдоль внешней поверхности яра Синхрофазотрона (один квадрант) при равномерном темпе потерь в нем ядер  $^{197}\text{Au}$  с энергией 578 МэВ/н  $10^7$  ядер/с

Был рассмотрен также вариант заливки щелей и окон в яре обычным бетоном с плотностью  $2,3 \text{ г/см}^3$ . Это приводит к снижению максимальной мощности дозы нейтронов на дозовой поверхности примерно в 100 раз при прочих одинаковых условиях (Рис. П.9.1.5).

Радиационное зонирование помещений Бустера и территории вокруг него показано на Рис. П.9.1.6. При работе Бустера здание № 1 будет являться зоной исключённого доступа (зоной запрета), помещения корпуса № 1Б и старого измерительного предусматривают временное пребывание персонала (мощность дозы в них не должна превышать  $7,2 \text{ мкЗв/час}$ ). Рабочие места персонала в них отсутствуют. С целью ограничения облучения персонала группы Б выгораживается забором территория от здания линейного ускорителя до угла корпуса № 205 (пунктир на Рис. П.9.1. 6). Внутри неё мощность дозы также не должна превышать  $7,2 \text{ мкЗв/час}$ . На остальной территории площадки ЛФВЭ вокруг корпуса № 1 и прилегающих к нему зданий возможно нахождение персонала группы Б, соответственно мощность дозы не может превышать  $0,72 \text{ мкЗв/час}$ .

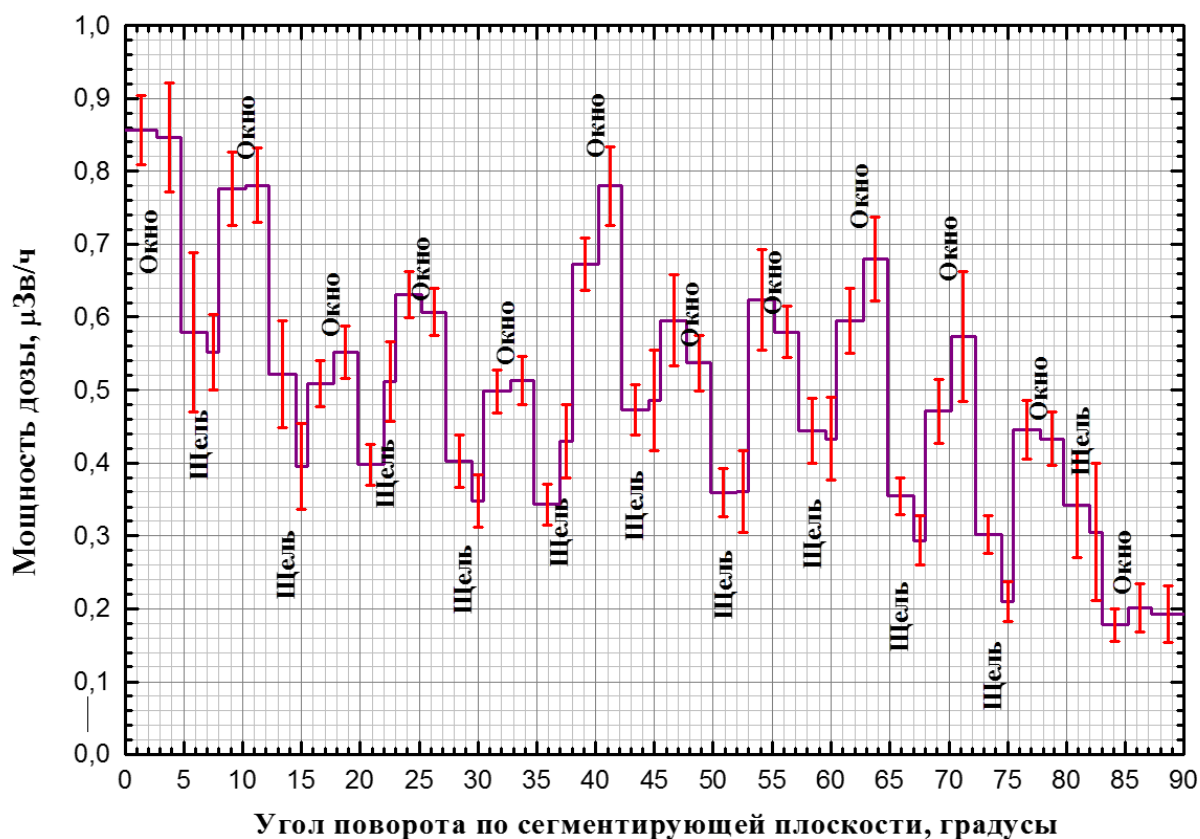


Рис. П.9.1.5. Распределение мощности дозы нейтронов по дозовой поверхности яра с заполненными бетоном окнами и щелями при равномерном темпе потерь в нем ядер  $^{197}\text{Au}$  с энергией 578 МэВ/н  $10^7$  ядер/с

Наиболее критической радиационной зоной при работе Бустера является территория за зданием № 1 со стороны 4-го квадранта (между пристройкой ЛУ-20 и старым измерительным павильоном), поскольку в этом направлении расстояние до границы территории площадки ЛФВЭ минимально (113 м от центра Бустера). На ограде территории площадки ЛФВЭ в этом районе годовая доза не может превысить 0,15 мЗв. Данное значение взято с учётом предполагаемой квоты Бустера 30 % в суммарную годовую дозу от Бустера и Нуклотрона на границе площадки ЛФВЭ — 0,5 мЗв/год с коэффициентом запаса 2 согласно ОСПОРБ-99/2010.

Для оценки радиационной обстановки вокруг Бустера наиболее важным является расчёт радиального распределения мощности дозы в кратчайшем направлении на забор территории техплощадки ЛФВЭ. Это направление соответствует углу  $\varphi$  примерно  $57^\circ$ . Радиационное поле вокруг здания № 1 формируется за счёт нейтронов утечки из яра Синхрофазотрона, падающих на внутреннюю поверхность стены здания № 1, проходящих через оконные проёмы в стене и выходящих вверх из здания (верхнее перекрытие здания практически отсутствует). В окружающей среде нейтроны многократно рассеиваются в воздухе и грунте и формируют вокруг ускорителя так называемое поле нейтронов skyshine широкого энергетического спектра. Расчёт радиального распределения мощности дозы нейтронов skyshine вёлся в растворе угла  $\varphi \pm 3^\circ$ . Это сделано из-за необходимости обеспечить хорошую статистику энергетического распределения флюенса

нейтронов на большом расстоянии от ускорителя. Ячейки, в пределах которой рассчитывались энергетические распределения флюенсов нейтронов ограничивались с одной стороны раствором угла  $\varphi$ , с другой стороны — шагом по радиусу-вектору  $R$  равным 2 м. Высота ячеек — 2 м над уровнем грунта (высота человека). Далее энергетические распределения флюенса сворачивались с энергетической зависимостью удельной эффективной дозы нейтронов. Схема расчёта радиального распределения мощности эффективной дозы нейтронов skyshine показана на Рис. П.9.1.7.

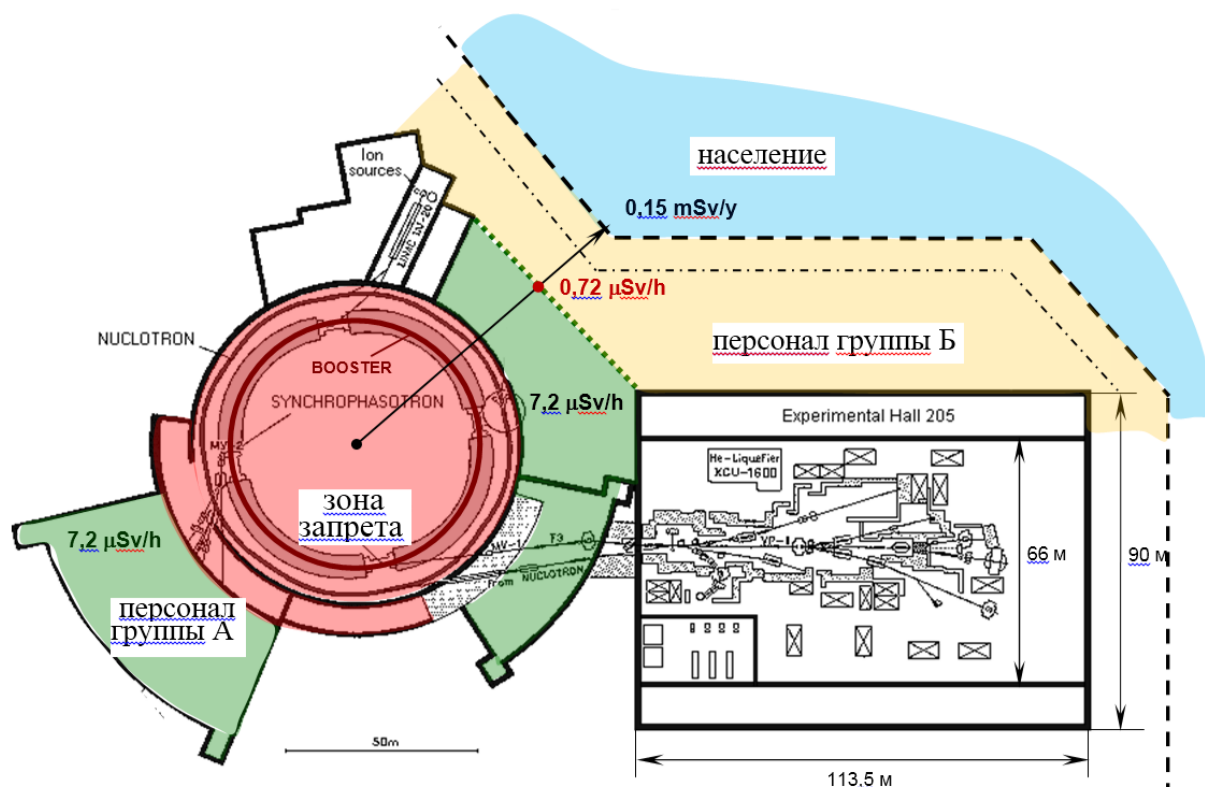


Рис. П.9.1.6. Расположение радиационных зон при работе одного Бустера. Красный цвет — зона исключённого доступа, зелёный цвет — помещения временного пребывания персонала группы А, жёлтый цвет — территория пребывания персонала группы Б, голубой цвет — территория пребывания населения

При расчёте радиального распределения мощности эффективной дозы нейтронов skyshine учитывались следующие радиационные источники:

- равномерные потери ядер вдоль всего кольца Бустера ( $2,48 \cdot 10^6$  ядер/с с энергетическим распределением от 65 до 578 МэВ/н);
- потери ядер в четырёх объединённых скреперах в каждом квадранте (по  $1,49 \cdot 10^7$  ядер/с на 1 скрепер с энергетическим распределением 65 до 578 МэВ/н);
- потери ядер в одном скрепере в 4-м квадранте с энергией 65 МэВ/н ( $1,56 \cdot 10^8$  ядер/с) за счёт рекомбинации ионов и электронов СЭО;
- потери ядер с энергией 572 МэВ/н в ловушке пучка ядер нецелевой зарядности ( $1,12 \cdot 10^8$  ядер/с).

Электронное охлаждение пучка будет осуществляться при энергии ионов 65 МэВ/н в 4-м прямолинейном промежутке (перед 4-м квадрантом), при этом часть ионов (до 20 %) могут рекомбинироваться. Предполагалось, что все рекомбинировавшие в результате захвата электронов ионы высадятся на скрепоре в 4-м квадранте.

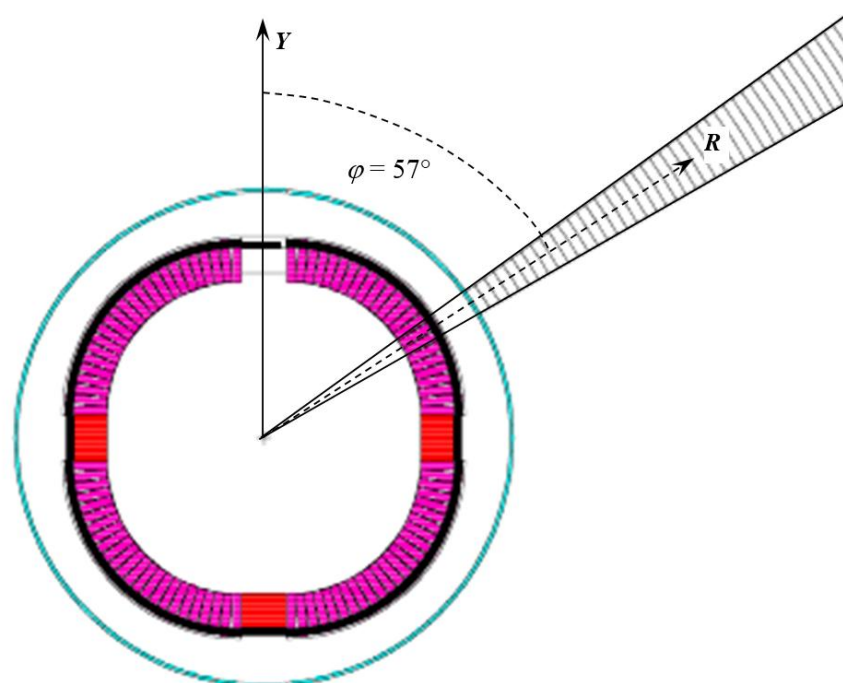


Рис. П.9.1.7. Расчёт радиального распределения мощности эффективной дозы нейтронов skyshine в направлении на ближайшую точку на заборе техплощадки ЛФВЭ

Обдирка ускоренного до энергии 578 МэВ/н пучка ионов  $^{197}\text{Au}$  с зарядностью 31+ до зарядности 79+ будет производится с помощью обдирочной мишени (фольги), расположенной в 3-м прямолинейном промежутке. Эффективность обдирки предполагается равной 80 %. Оставшиеся 20 % ионов нецелевой зарядности с энергией 572 МэВ/н будут отклоняться и направляться по каналу в ловушку пучка, расположенную в туннеле Нуклотрона. Туннель в районе ввода пучка ядер Бустера в Нуклотрон перекрыт монолитной бетонной плитой толщиной 60 см на протяжении  $\sim 15 \div 20$  м. Разместить массивную ловушку пучка в туннеле невозможно из-за недостатка места, поэтому в качестве ловушки рассматривался стальной куб  $100 \times 100 \times 100 \text{ см}^3$  с 20 см входным каналом (Рис. П.9.1.8).



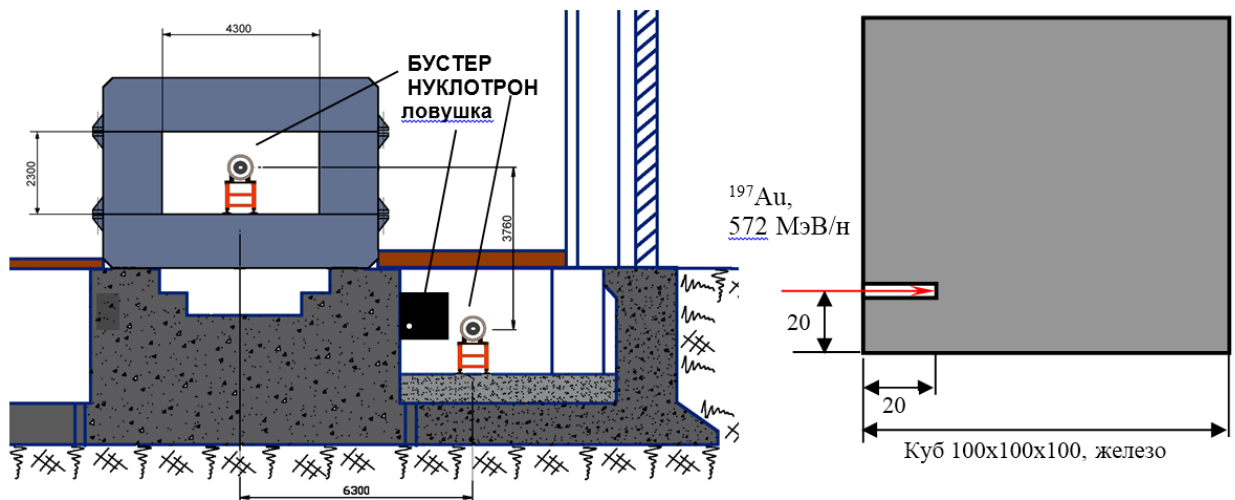


Рис. П.9.1.8. Расположение ловушки пучка ионов (слева) и её конструкция (справа). Над мишенью положение плит локальной защиты, снижающей выход вторичных нейтронов в здание № 1

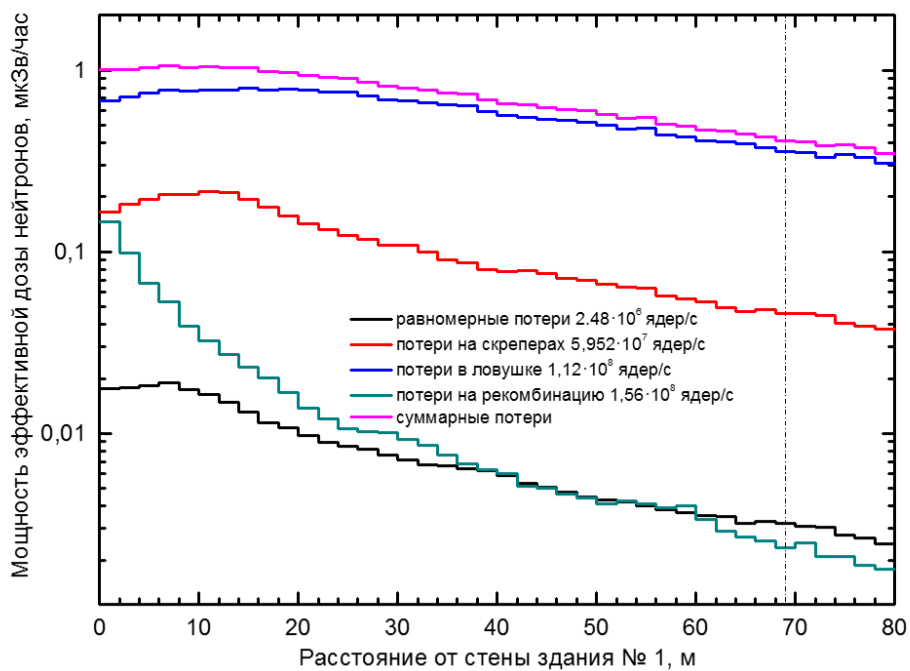


Рис. П.9.1.9. Парциальные вклады в радиальное распределение эффективной дозы нейтронов skyshine, рассчитанные в отсутствие защиты Бустера. Расстояние до ближайшей точки на границе площадки ЛФВЭ показано пунктиром

На Рис. П.9.1.9 показаны парциальные вклады от каждого вышеуказанного источника в радиальное распределение суммарной мощности эффективной дозы нейтронов skyshine, рассчитанные без принятия каких-либо мер по защите Бустера (открытые щели и окна в яре Синхрофазотрона, открытые прямолинейные промежутки, не перекрытая защитой ловушка нецелевых ионов, не заложенные окна в здании № 1 в районе 4-го квадранта).

Вблизи стены здания № 1 наблюдается характерный максимум («эффект тени»). Скорость спада парциальных мощностей дозы от разных источников несколько различается в зависимости от «жёсткости» первичных нейтронов. Наибольшей «жёсткостью» обладает спектр нейтронов из

ловушки пучка ядер нецелевой зарядности, вклад которого в суммарную мощность дозы является определяющим. Наименьшая «жесткость» у спектра нейтронов из скреперов 4-го квадранта, на котором высаживаются ядра рекомбинировавшие с электронами СЭО.

Расчёты показывают, что в отсутствии какой-либо дополнительной защиты Бустера, мощность эффективной дозы нейтронов на границе площадки ЛФВЭ составит 0,41 мкЗв/час вместо допустимого значения 0,06 мкЗв/ч (ОСПОРБ-99/2010). За годовое время работы комплекса на номинальной интенсивности 4790 часа/г (с учётом наладки) годовая доза в этом месте составит 1,96 мЗв/г только от Бустера.

Таким образом, необходимо существенное снижение мощности дозы от Бустера на границе площадки ЛФВЭ. Для возможного принятия решений о конкретных мерах по защите Бустера, был рассмотрен отдельно вопросы о парциальных вкладах оконных проёмов в стене здания № 1 напротив 4-го квадранта и прямолинейных промежутков в мощность дозы нейтронов на границе площадки (вопрос о влиянии заливки бетоном проёмов в ярме Синхрофазотрона был рассмотрен ранее).

На Рис. П.9.1.10 на примере равномерно распределённых по кольцу в пределах квадранта 4 потерь ядер показаны радиальные распределения эффективных доз только от нейтронов skyshine, выходящих через оконные проёмы в стене, всех нейтронов skyshine (без учёта прямопроходящих нейтронов) и суммарное распределение.

Видно, что вклад в полную дозу нейтронов skyshine растёт с расстоянием (на расстоянии 113 м от центра Бустера вклад в дозу нейтронов skyshine составляет уже 95 %), а роль оконных проёмов в стене снижается. На границе площадки нейтроны, выходящие через окна, создают только несколько процентов от полной дозы, поэтому закладка оконных проёмов не эффективна с точки зрения снижения дозы на границе площадки. То же самое наблюдается и для других радиационных источников.

Роль открытых прямолинейных промежутков между квадрантами ярма Синхрофазотрона также весьма незначительна. Они создают лишь 20 ÷ 25 % от дозы нейтронов за счёт равномерных по кольцу Бустера потерь ядер, а вклад данного радиационного источника сам по себе мал в сравнении с остальными.

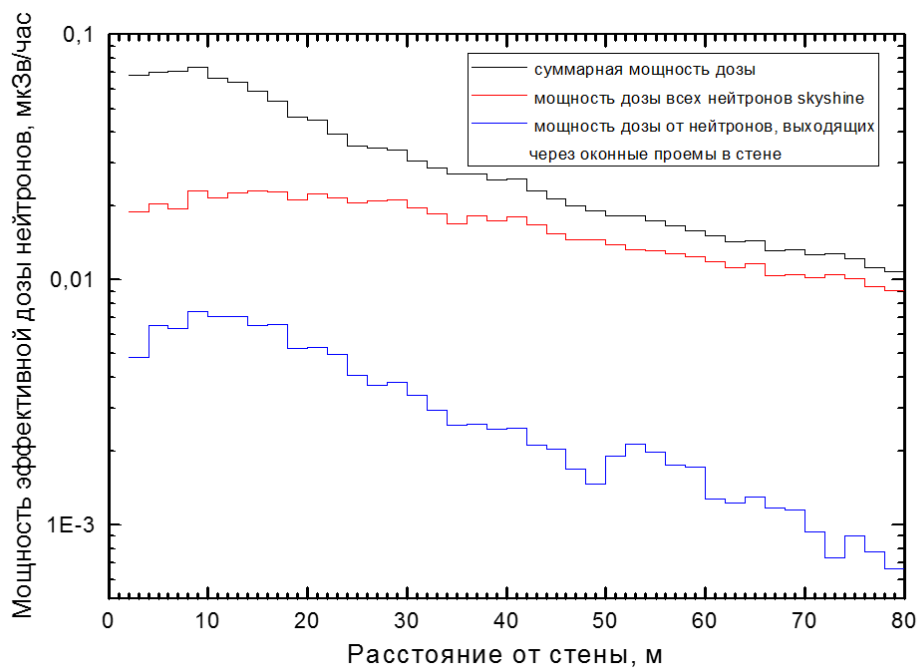


Рис. П.9.1.10. Роль оконных проёмов в стене здания № 1 в формировании дозы нейтронов skyshine на расстоянии от здания

Очевидны два основных пути снижения мощности дозы: заливка бетоном проёмов в яме Синхрофазотрона на протяжении 4-го квадранта и монтаж массивной бетонной ловушки пучка ядер нецелевой зарядности. Были рассчитаны радиальные распределения мощности эффективных доз нейтронов, обусловленных равномерными потерями в Бустере (Рис. П.9.1.11) и потерями на скреперах (Рис. П.9.1.12) при залитых бетоном щелях и окнах яма Синхрофазотрона (прямолинейные промежутки между квадрантами открыты). Вклад от равномерных потерь на границе территории площадки ЛФВЭ в этом случае составит  $\sim 0,0017$  мкЗв/ч, а вклад от скреперов  $\sim 0,003$  мкЗв/ч. В обоих вариантах до 80 % вклада в эти дозы дадут нейтроны skyshine.

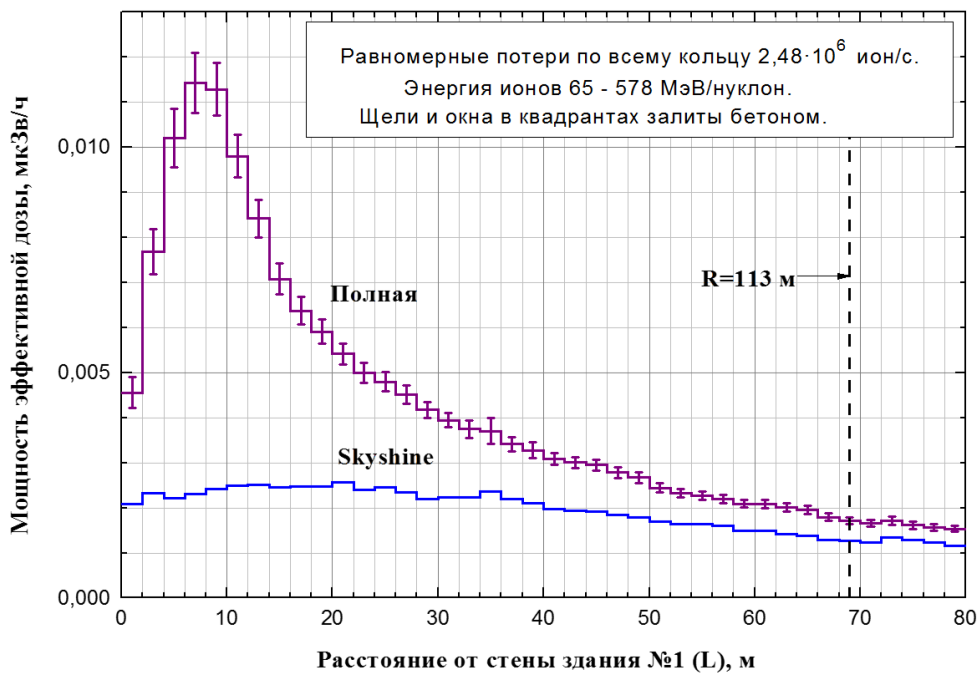


Рис. П.9.1.11. Радиальное распределение мощности эффективной дозы нейтронов от равномерных потерь ядер золота при залитых бетоном щелях и окнах ярма Синхрофазотрона

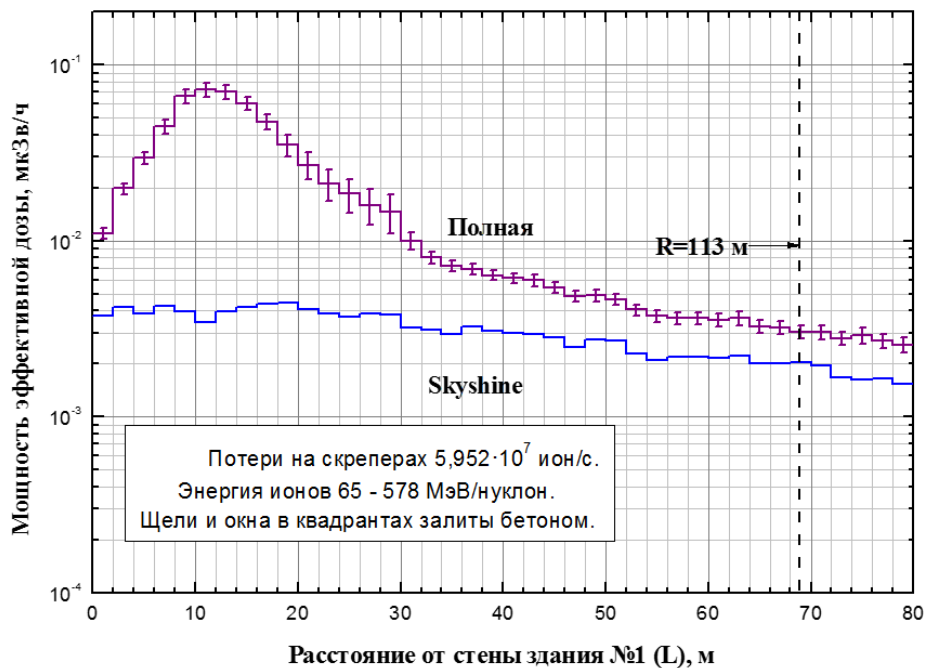


Рис. П.9.1.12. Радиальное распределение мощности эффективной дозы нейтронов от потерь ядер в скреперах при залитых бетоном щелях и окнах ярма Синхрофазотрона

Таким образом, заливка бетоном щелей и окон в ярме понизит вклад от потерь ядер внутри Бустера на границе площадки ЛФВЭ примерно в 10 раз. Дополнительная защита прямолинейных промежутков бетоном толщиной 1 м сбоку и сверху приведёт к снижению вклада от потерь в Бустере на границе площадки в 15 раз (до значения  $\sim 0,0035$  мкЗв/ч).

Рассмотрим другой вариант ловушки пучка ядер нецелевой зарядности, размещённой над туннелем Нуклотрона, перекрытом в этом районе бетонной плитой толщиной 0,8 м. Геометрия разводки пучков ядер целевой и нецелевой зарядности и поперечные разрезы Бустера и Нуклотрона в районе ловушки пучка показаны на Рис. П.9.1.13. В этом случае размеры ловушки можно увеличить, значительно снизив при этом вклад от неё в мощность дозы на границе территории ЛФВЭ.

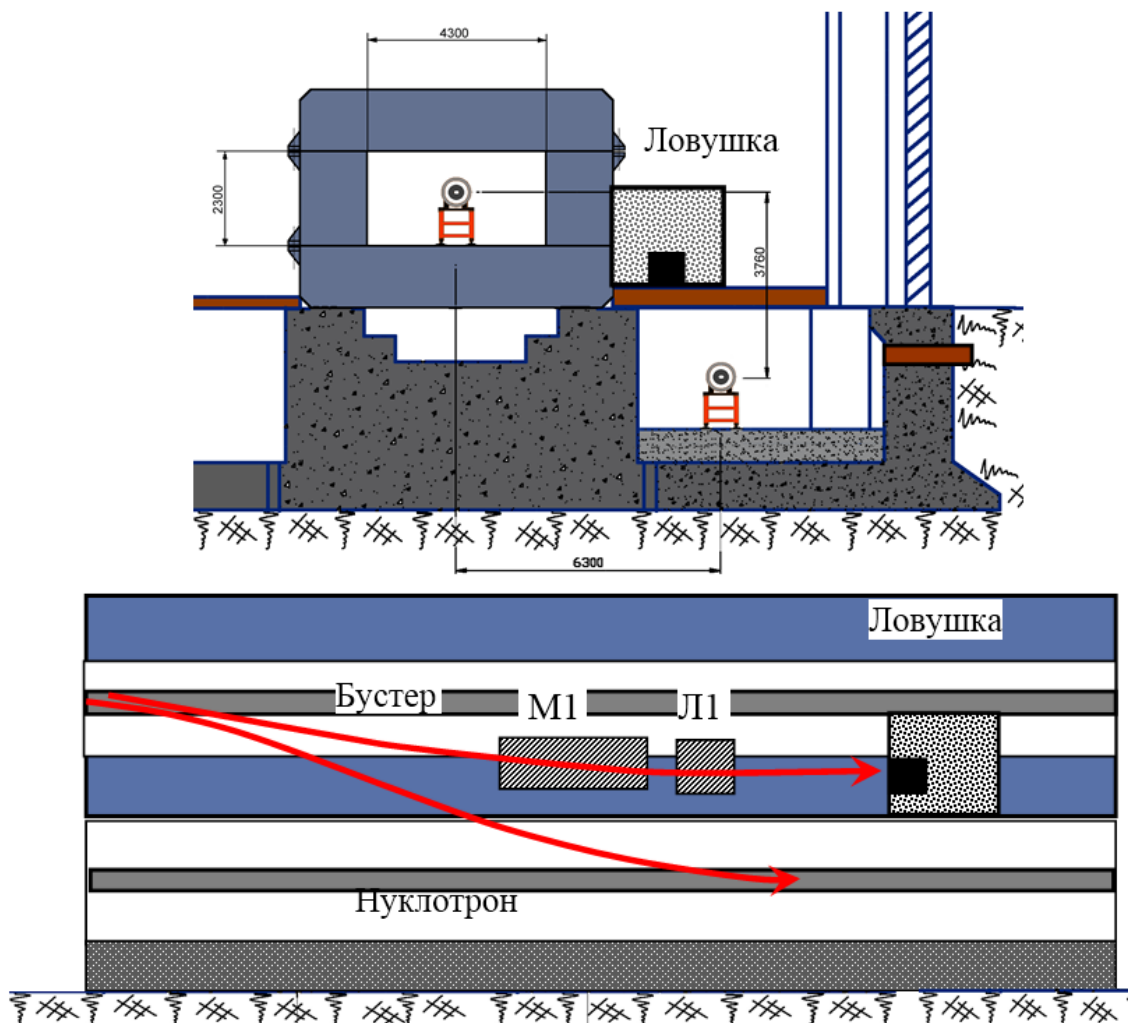


Рис. П.9.1.13. Поперечные разрезы Бустера и Нуклотрона в районе размещения ловушки пучка, M1 — поворотный магнит, L1 — квадрупольная линза

В расчётах рассматривалась ловушка в виде бетонного куба размерами  $3 \times 3 \times 3$  м, внутри которого имеется железный поглотитель объёмом  $1 \text{ м}^3$ , углублённый внутрь ловушки на 0,2 м. Общий вес ловушки при этом составит  $\sim 69$  т. На Рис. П.9.1.14 показаны расчётные геометрии ловушки в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

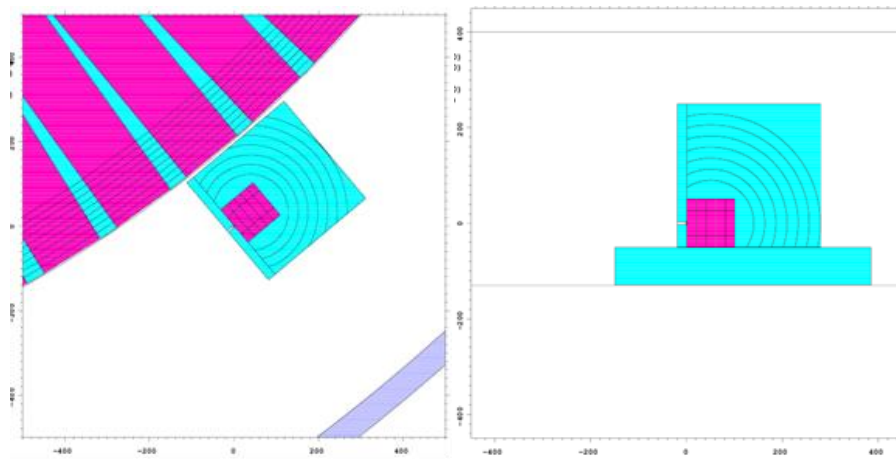


Рис. П.9.1.14. Геометрия ловушки над туннелем Нуклотрона, принятая в расчётах

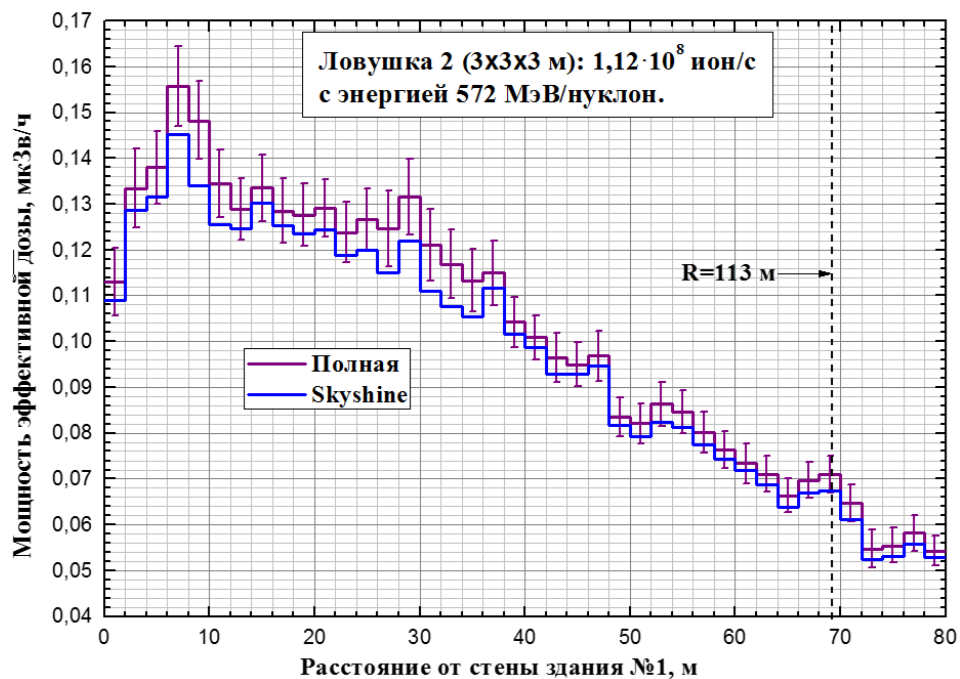


Рис. П.9.1.15. Радиальное распределение мощности эффективной дозы нейтронов от потерь ядер в ловушке 2 над туннелем Нуклотрона (3 × 3 × 3 м)

Для такой ловушки значение дозы нейтронов skyshine от неё на границе площадки ЛФВЭ равно  $\sim 0,065$  мкЗв/ч (Рис. П.9.1.15), а суммарная мощность дозы всех нейтронов составит  $0,065 + 0,0035 = 0,0685$  мкЗв/ч. При эффективной длительности годового сеанса 4790 часов это даст значение годовой дозы на границе площадки 0,33 мЗв.

Примерное размещение ловушки пучка над туннелем Нуклотрона приведено на Рис. П.9.1.16. Кратчайшее расстояние от ловушки до границы площадки ЛФВЭ будет примерно таким же, что и из центра Бустера ( $\sim 110 \div 115$  м).

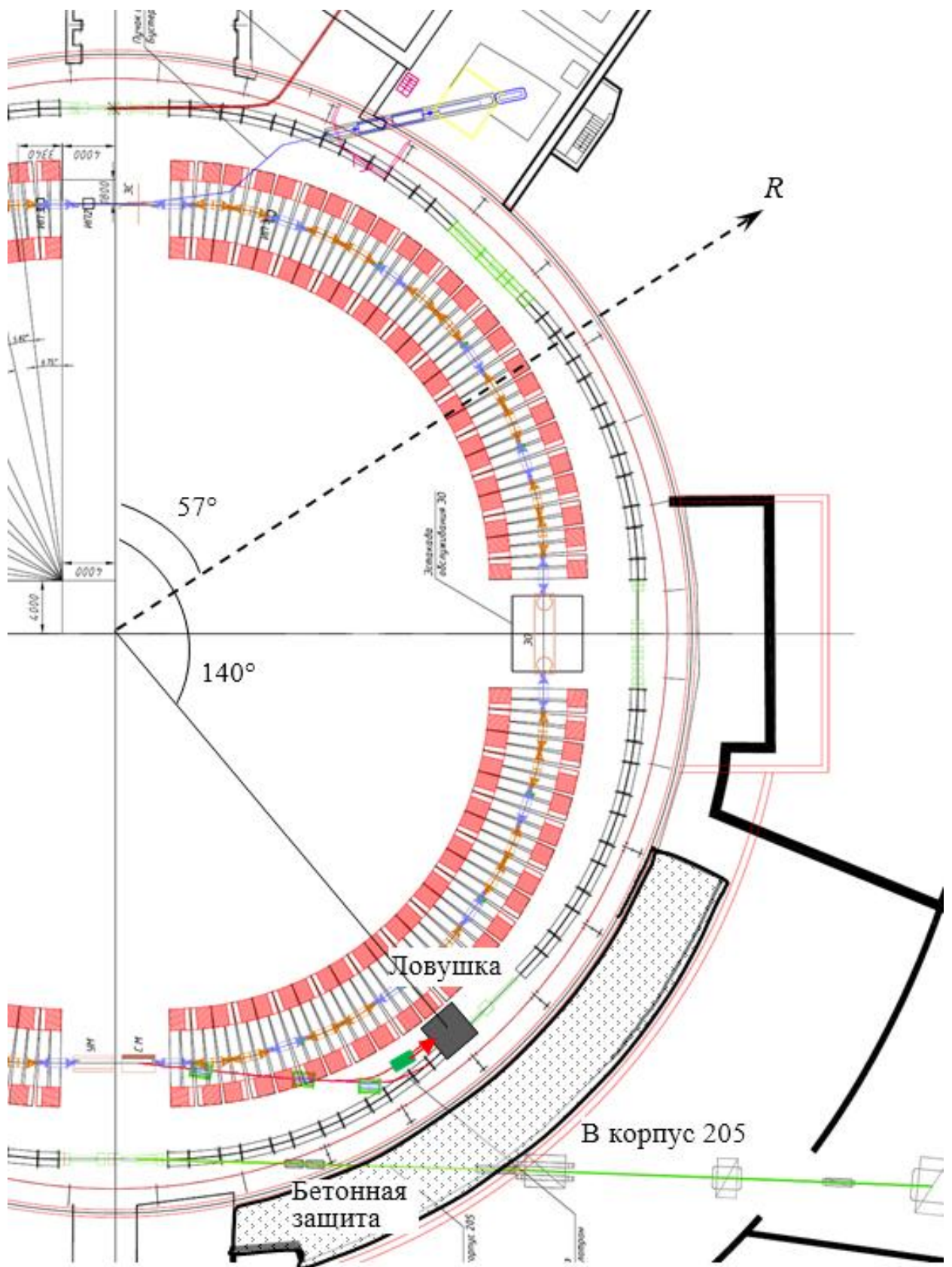


Рис. П.9.1.16. Размещение ловушки ядер нецелевой зарядности над туннелем Нуклотрона

Анализ расчётов показал, что основная часть нейтронов утечки из ловушки — это альбедные нейтроны из её передней стенки. Это означает, что заглублиния канала пучка внутрь ловушки на

0,2 м недостаточно. Эффективное подавление нейтронов утечки из ловушки можно достигнуть, нарастив продольную длину ловушки на 0,8 м и сделав длину канала пучка равной 1 м. Такой вариант ловушки тоже был рассмотрен и результат расчёта радиального распределения мощности дозы нейтронов от неё показан на Рис. П.9.1.17. Из-за больших размеров ловушки и расстояния набор статистики при расчётах требует очень большого времени. Поэтому статистическая обеспеченность расчётов на расстоянии около 70 м составляет примерно 20 %. Значение мощности дозы нейтронов на границе площадки ЛФВЭ для ловушки 3 оценивается в  $\sim 2,3 \cdot 10^{-3}$  мкЗв/час.

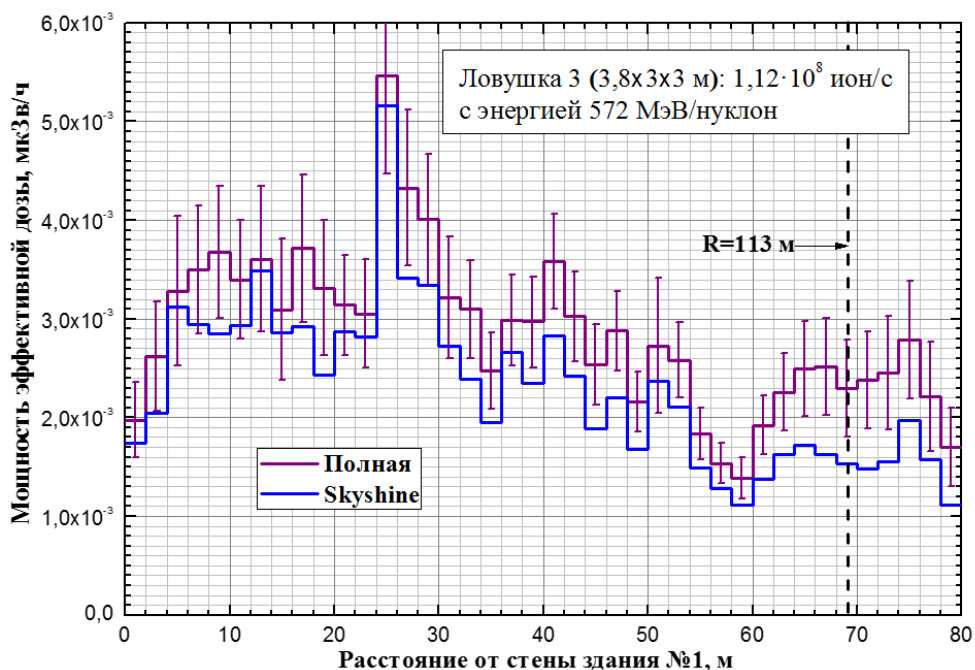


Рис. П.9.1.17. Радиальное распределение мощности эффективной дозы нейтронов от потерь ядер в ловушке 3 над туннелем Нуклотрона (3,8 × 3 × 3 м)

Годовая доза нейтронов от ловушки 3 на границе площадки составит 11 мкЗв, а суммарная доза нейтронов от всего Бустера (с закрытыми щелями, проёмами и прямолинейными промежутками) — 27,8 мкЗв.

Существует ещё один вариант решения проблемы с гашением пучка ядер нецелевой зарядности. Этот пучок ядер уже внутри туннеля Нуклотрона можно отвернуть вправо после магнита Ламбертсона и по короткому каналу транспортировать внутрь мощной защиты толщиной 8 м, разделяющей зал Синхрофазотрона и старый измерительный павильон. Такой вариант схематически показан на Рис.П.9.1.18. При этом потребуется монтаж дополнительного поворотного магнита и квадрупольной линзы.



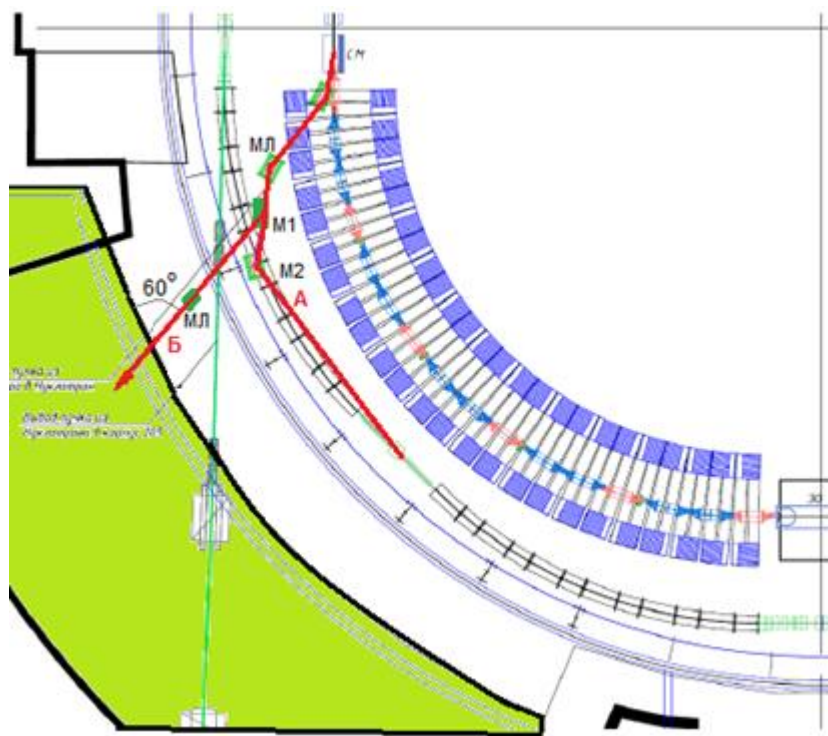


Рис. П.9.1.18. Схематическое изображение схемы разводки пучков ядер целевой и нецелевой зарядности. Зелёным цветом показана массивная бетонная защита между старым измерительным павильоном и залом Синхрофазотрона

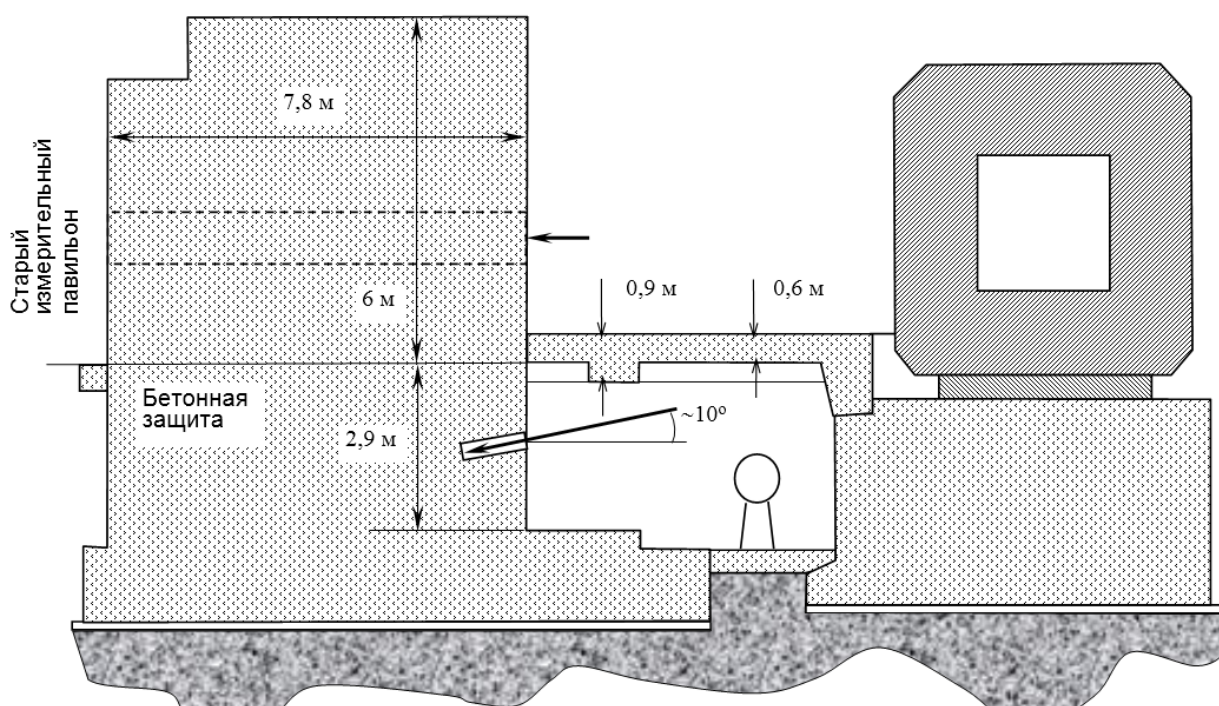


Рис. П.9.1.19. Геометрия падения пучка ядер нецелевой зарядности в защиту, разделяющую зал Синхрофазотрона и старый измерительный павильон

В этом случае все вторичное излучение от взаимодействия пучка ядер с защитой будет полностью поглощено в массиве бетона и не будет создавать вклада в мощность дозы на границе площадки ЛФВЭ. Единственным условием для этого является заглубление точки входа пучка ядер нецелевой

направленности в защиту, по крайней мере, на 1 м (как показано на Рис. П.9.1.19), чтобы подавить выход из защиты альбедных нейтронов. Рассчитать по имеющейся МК программе статистически обеспеченное значение столь малой дозы от нейтронов из этой защиты не представляется возможным.

Таким образом, в этом варианте гашения пучка ядер нецелевой зарядности мощность дозы в ближайшей точке на границе площадки ЛФВЭ будет определяться только нейтронами из Бустера и составит  $\sim 0,0035$  мкЗв/ч. При эффективном времени работы комплекса 4790 часов в году суммарная годовая доза нейтронов в этой точке от Бустера оценивается всего в 17 мкЗв.

Даже с учётом дозы от гамма-квантов и небольшого вклада нейтронов skyshine от Коллайдера и канала транспортировки пучка в Коллайдер из Нуклотрона, суммарная годовая доза не превысит  $20 \div 25$  мкЗв.

### П.9.1. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При выполнении ряда защитных мероприятий, а именно:
  - а) заливки (закладки) обычным бетоном щелей и окон в яме Синхрофазотрона (в первую очередь в 4-м квадранте и в начале 1-го квадранта напротив пристройки линейного ускорителя);
  - б) закрытия сбоку и сверху прямолинейных промежутков блоками из обычного бетона толщиной 1 м (в первую очередь между 3-м и 4-м, а также 4-м и 1-м квадрантами);
  - в) сооружения мощной ловушки пучка ядер нецелевой зарядности (3-й вариант) или гашения пучка в массивной защите между залом Синхрофазотрона и старым измерительным павильоном,

величина вклада Бустера в годовую эффективную дозу излучения в ближайшей точке на границе площадки ЛФВЭ может быть сделана много меньшей, чем предусматривалось с учётом квоты на Бустер (20 мкЗв по сравнению с 150 мкЗв).

2. Значение мощности дозы на ограждении между пристройкой линейного ускорителя и корпусом 205, за пределом которого может находиться персонал группы Б, не превысит в этом случае  $3,5 \cdot 10^{-2}$  мкЗв/ч, что полностью удовлетворяет установленным уровням для персонала Б с учётом квоты Бустера.
3. Малый вклад Бустера в годовую дозу в критической точке на границе площадки ЛФВЭ создаёт большой запас для вклада в дозу в этой точке от Нуклотрона, защиту которого трудно сделать эффективной, и от корпуса № 205, в котором будут проводиться эксперименты с фиксированными мишенями.

# Глава 10

## Инфраструктура, здания, геодезия

---



## АННОТАЦИЯ

Коллайдер ускорительного комплекса NICA и каналы транспортировки пучков из Нуклотрона в Коллайдер располагаются во вновь возводимом здании № 17. В данной главе приводится описание помещений и состава оборудования, каналов транспортировки, Коллайдера, детектора MPD, сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, содержание технологических решений в соответствии с техническим проектом здания. Чертежи здания приводятся в Приложении 10.1.

### 10.1 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

#### 10.1.1 Общее описание здания

Здание № 17 запроектировано из одноэтажных помещений туннеля Коллайдера, в виде двух полуколец E и W, а также пристроенных и надстроенных к ним трёх блоков А, Б, В с техническими и бытовыми помещениями.

Помещение полукольца W туннеля Коллайдера пристроено к помещениям детекторов SPD и MPD в осях 20<sub>2</sub>-21<sub>2</sub>, А<sub>2</sub>-П<sub>2</sub>; 27<sub>3</sub>-28<sub>3</sub>, А<sub>3</sub>-П<sub>3</sub> высотой 9,610; 23,300, далее от помещений детекторов запроектировано помещение полукольца E, которое пристраивается к существующему зданию № 1 (здание Нуклотрона) в осях 29-34.

Блок А — двухэтажный, запроектирован в осях 1<sub>1</sub>-24<sub>1</sub>, А<sub>1</sub>-С<sub>1</sub>, высота 1 этажа — 6,1 м, 2 этажа — 5,19 м. В блоке А запроектированы технические помещения.

Одноэтажные блоки Б (м/о 1<sub>2</sub>-37<sub>2</sub>, А<sub>2</sub>-П<sub>2</sub>) и В (м/о 1<sub>3</sub>-30<sub>3</sub>, А<sub>3</sub>-П<sub>3</sub>) с техническими и бытовыми помещениями высотой 6,100; 5,920; 6,690 пристраиваются к туннелю Коллайдера. Туннели Коллайдера в здании № 17 запроектированы с массивными защитными стенами из бетона и покрытием из монолитного железобетона. Высота помещений туннелей 4 м, 4,5 м. Для прохода персонала и заноса негабаритного оборудования в защитных стенах туннеля Коллайдера предусмотрены лабиринты для защиты от ионизирующего излучения (двери не защитные), а для вноса крупногабаритного оборудования монтажные проёмы, с последующей их закладкой железобетонными блоками.

Помещение детектора SPD в осях 20<sub>2</sub>-21<sub>2</sub>, А<sub>2</sub>-П<sub>2</sub> запроектировано на два пусковых комплекса.

В первый пусковой комплекс входят следующие мероприятия и работы:

- выполнение свайного поля и кустов свай под фундаменты каньона и помещения детектора SPD;

- выполнение ростверков и фундаментной силовой плиты под монолитные бетонные стены каньона до отм. 0,000 в осях А<sub>2</sub>-П<sub>2</sub>, 20<sub>2</sub>-21<sub>2</sub>;
- возведение конструкций помещения каньона Коллайдера блока Б в осях 20<sub>2</sub>-21<sub>2</sub>, Л<sub>2</sub>-Н<sub>2</sub> из сборных железобетонных блоков и плит с облицовкой панелями «сэндвич» по стальному фахверку.

Во второй пусковой комплекс входят следующие мероприятия и работы:

- выполнение фундаментной плиты и ростверков под конструкции помещения детектора SPD;
- возведение монолитных железобетонных защитных стен, колонн и покрытия помещения детектора SPD;
- возведение конструкций стального каркаса помещения детектора SPD и его облицовка панелями «сэндвич».

Помещение сателлитных рефрижераторов (пом. 170) отделено от здания № 17 капитальной кирпичной стеной, в соответствии с п. 6.1.2 постановления Госгортехнадзора России от 11.06.2003 г. № 91.

В туннелях Коллайдера для обслуживания технологического оборудования в местах расположения магнитов предусмотрены подвесные краны грузоподъёмностью 3,2 т.

Помещения площадок для сборки детекторов MPD, SPD снабжены мостовыми кранами с грузоподъёмностью 50 т. Краны обеспечивают перемещение компонентов магнитов с разгрузочных площадок на сборочные площадки, а также используются для сборки магнитов.

Для прохода из помещений туннеля Коллайдера с отм. 0,000 на отм. +6,100 блока А предусмотрены три лестничные клетки, которые не являются эвакуационными.

Запроектирована частичная реконструкция здания № 1 в местах прохождения канала транспортировки пучка с возведением дополнительной защиты.

К зданию № 1 пристраиваются туннели Коллайдера, которые являются продолжением полукольца Е, для размещения оборудования каналов транспортировки пучка из Нуклотрона в Коллайдер. Размещение основного оборудования Коллайдера осуществляется в кольцевом туннеле. Периметр кольца Коллайдера — 503 м. Вновь возводимые наружные стены в здании № 1 из теплоэффективной кирпичной кладки толщиной 640 мм (тип «А-64» по серии 2.13 0-8, в.1) с утеплением пенополистиролом (ГОСТ 15588-86) толщиной 120 мм.

Покрытие туннеля Коллайдера и частично реконструируемое покрытие здания № 1 из монолитного железобетона, над техническими помещениями из стального профилированного настила по стальным прогонам и балкам, кровля — плоская, рулонная с внутренними и наружными водостоками, гидроизоляционный слой состоит из двух слоёв «Техноэласта» (ТУ 5774-003-00287852-99) «ЭКП» верхний, «ЭПП» нижний. Утеплитель — минераловатные плиты на синтетическом связующем по ГОСТ 9573-96 толщиной 200 мм.

Наружное стеновое ограждение здания № 17 (в т.ч. облицовка и утепление наружных монолитных железобетонных стен туннелей Коллайдера) запроектировано из навесных трёхслойных стальных панелей типа «Сэндвич» толщиной 150 мм вертикальной разрезки по горизонтальному фахверку из стальных гнутых и трубчатых профилей.

Цоколь — теплоэффективная кирпичная кладка толщиной 380 мм (тип «А-38» по серии 2.130-8, в. 1) с утеплением пенополистиролом (ГОСТ 15588-86) толщиной 120 мм. Наружная облицовка цоколя из керамогранитных плиток. Оконные блоки и витражи — алюминиевые с заполнением двухкамерными стеклопакетами. Двери деревянные по ГОСТ 6629-88, стальные по ГОСТ 31173-2003 и противопожарные по каталогу «МПФ Фаер» ТУ 5284-017-18160980-012. Здание № 17 оборудуется металлическими распашными внутренними и наружными воротами по ГОСТ 31174-2003. Перегородки из керамического кирпича по ГОСТ 530-2007 толщиной 120 мм. Кирпичные перегородки возводятся в стальном фахверке из стальных прокатных профилей.

#### 10.1.2 Объёмно-пространственные и архитектурно-художественные решения

Объёмно-пространственные параметры здания № 17 обусловлены функционально-технологическими, противопожарными и эстетическими требованиями, а также существующей коммуникационной галереей от здания № 205 к корпусу № 1А и пристройкой туннелей Коллайдера к зданию № 1 в месте прохождения канала транспортировки пучка.

Решение фасадов здания № 17 строится на контрасте протяжённых горизонталей стеновых плоскостей и пластически выявленных вертикальных объёмов лестничных клеток. За счёт использования панелей «сэндвич» различных цветов, плоскостные фасады здания гармонично разбиваются, подчёркивая конструктивную схему сооружения и объединяя протяжённые фасады здания № 17 в единое целое. Расположение цветовых акцентов увязано с размещением витражей и оконных проёмов. Внутренняя отделка помещений запроектирована в соответствии с технологическими, противопожарными, санитарно-гигиеническими и эстетическими требованиями и обеспечивает удобство и долговечность в процессе эксплуатации здания.

В соответствии с условиями работы и санитарно-гигиеническими требованиями, специальных требований к освещённости в здании № 17 не предъявляется. Проектной документацией

предусматривается совмещённое освещение. В здании № 17 помещения, предназначенные для постоянного пребывания людей, имеют естественное освещение через окна в наружных стенах. Без естественного освещения решены помещения без постоянного пребывания людей. Эвакуационные лестничные клетки в здании № 17 имеют освещение через окна в наружных стенах на каждом этаже.

## 10.2 СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЖЕНЕРНОМ ОБОРУДОВАНИИ, О СЕТЯХ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

### 10.2.1 Технологические решения. Ускорительно-накопительный комплекс NICA

«Разработка проектной документации размещения тяжёло-ионного Коллайдера NICA на площадке ЛФВЭ ОИЯИ в г. Дубна с частичной реконструкцией здания № 1» осуществляется во исполнение проекта создания ускорительно-накопительного комплекса NICA и экспериментальных установок для проведения исследований по изучению фундаментальных свойств барионной материи.

Комплекс NICA создается на базе существующего ускорителя Нуклотрон-М. Комплекс NICA предназначен для проведения исследований в области релятивистской ядерной физики и спиновой физики и состоит из систем и элементов, составляющих инжекционную цепочку Коллайдера и собственно Коллайдер. Перечень элементов представлен в Таблице 10.2.1.

Таблица 10.2.1. Перечень элементов ускорительного комплекса NICA

№ п/п	Элемент комплекса	Функциональное назначение	Статус
1	Heavy Ion Linear Accelerator (HILAC)	Инжектор тяжелых ионов	Вновь разрабатываемые
2	Канал транспортировки HILAC — Бустер	Канал транспортировки ионов в Бустер	
3	ЛУ-20	Инжектор лёгких ионов и поляризованных протонов и дейтронов	Существующие
4	Канал транспортировки ЛУ-20-Нуклотрон	Канал транспортировки частиц в Нуклотрон	
5	Бустерный синхротрон (Бустер)	Быстроциклирующий СП ионный синхротрон	Вновь разрабатываемый
6	Канал транспортировки Бустера-Нуклотрон	Канал транспортировки пучка из Бустера в Нуклотрон со станцией обдирки ионов	Вновь разрабатываемый
7	Нуклотрон-М	СП ионный синхротрон	Существующий
8	Каналы транспортировки Нуклотрон — Коллайдер	Каналы транспортировки пучка из Нуклотрона в кольца Коллайдера	Вновь разрабатываемый
9	Коллайдер NICA	Коллайдер ионов — от протонов до $^{328}\text{U}^{92+}$ (в т.ч. поляризованных протонов и дейтронов)	Вновь разрабатываемый

### 10.2.2 Основные решения

Проектируемый Коллайдер предназначен для накопления и дальнейшего столкновения встречных пучков ионов, пучков поляризованных протонов и дейтронов.



Программа экспериментов на Коллайдере предполагает проведение двух сеансов по 4 месяца в год (5400 час/год) с тяжёлыми ионами с энергией  $1 \div 4,5$  ГэВ/н, протонами (дейтронами) с энергией  $5 \div 12$  ГэВ (до 6 ГэВ/н).

Основное технологическое оборудование размещается в защитных каньонах. Абсолютная отметка пола каньонов 121,35 м. Проемы в защитных стенах каньона предполагается выполнить двух видов. Проемы для транспортировки оборудования (на момент монтажа и наладки) — по размеру самого габаритного элемента, после монтажа закладываются разборными блоками. Проемы для прохода персонала и текущего обслуживания оборудования — в соответствии с правилами пожарной безопасности, с лабиринтом для защиты от ионизирующего излучения (двери не защитные).

Предусмотрена частичная реконструкция корпуса № 1 в местах прохождения канала транспортировки пучка с возведением дополнительной местной защиты.

К корпусу № 1 пристраиваются каньоны (туннели) для размещения оборудования Каналов транспортировки пучка из Нуклотрона в Коллайдер. Основное оборудование Коллайдера размещается в кольцевом каньоне (туннеле). Периметр кольца Коллайдера по осевой линии — 503 м.

На прямолинейных участках кольца Коллайдера размещаются два детектора MPD и SPD. Детекторы размещаются в отдельных каньонах (павильонах), расположенных на периметре Коллайдера. Данные по детекторам и их размещению представлены в соответствующих частях данной проектной документации.

На периметре кольца также располагаются встроенные элементы. Встроенные элементы представляют собой устройства для накопления, уплотнения, диагностики и корректировки пучков частиц и их характеристик. Устройства, по месту их расположения, делятся на размещаемые внутри защиты Коллайдера и устанавливаемые за пределами защиты.

Для обслуживания аппаратуры и систем внутри тоннеля Коллайдера предусмотрено грузоподъёмное оборудование.

По внешнему периметру защиты Коллайдера размещены помещения для инженерного оборудования и персонала: помещения размещения источников питания, вентиляторы, технические помещения, бытовые помещения и т.д. Компонировка помещений здания № 17 представлена на чертежах 318Б-063К-ИОС7.1.К-ТО листы 6, 7 (см. Приложение 10.1).

В соответствии с Федеральным законом об использовании атомной энергии (ФЗ 170 от 21.11.95 г.) размещаемый объект классифицируется как радиационный источник (т.е. как не относящиеся к

ядерным установкам комплексы, установки, аппараты, оборудование и изделия, в которых содержатся радиоактивные вещества, или генерируется ионизирующее излучение).

Проектируемый объект относится к объектам IV категории по потенциальной радиационной опасности при авариях по классификации ОСПОРБ-99. Дополнительной организации санитарно-защитной зоны от радиационных факторов не требуется.

### 10.2.3 Краткое описание технологического процесса

Для пуска Коллайдера в режиме встречных пучков производится проверка и отладка всех систем, а также проведение технического осмотра в период остановки Коллайдера. Персонал проходит в здание № 17 через 4 специально предусмотренных входа, оборудованных персонализированной системой контроля доступа. Вход и выход персонала фиксируется системой контроля доступа и передаётся на центральный пульт управления в корпус № 2.

После завершения работ по проверке и отладке систем и технического осмотра принимается решение о готовности систем к пуску Коллайдера в одном из режимов, представленных в п. 12.2.3 Технического проекта. В соответствии с требованиями безопасности специально обученный персонал осуществляет поэтапный осмотр помещений с одновременной блокировкой дверей в зону исключённого доступа. Информация об отсутствии людей в зоне исключённого доступа передаётся на центральный пульт управления в корпус № 2. После завершения осмотра персонал покидает здание № 17. Часть персонала может быть направлена в специально предусмотренные Помещения оперативных пунктов, размещаемые в здании № 17 в зоне ограниченного доступа для контроля пуска систем и элементов Коллайдера.

Пуск Коллайдера осуществляется с центрального пульта управления, расположенного в корпусе № 2. Для получения разрешения на пуск Коллайдера оператор проводит опрос всех систем, в том числе систем безопасности, системы блокировки дверей и системы радиационного контроля. Пуск Коллайдера возможен только после получения разрешения на пуск от всех систем.

Частицы, сформированные в ионном источнике, ускоряются в инжекционной цепочке: Линейный ускоритель — Бустер — Нуклотрон. Из Нуклотрона частицы через систему быстрого вывода поступают в Канал транспортировки пучка.

Головная часть канала транспортировки пучка обеспечивает перевод пучка из тоннеля Нуклотрона в горизонтальную плоскость на высоту 1,5 м относительно уровня чистого пола здания № 17. Перевод пучка обеспечивается дипольными магнитами (поз. 1/1). Общая часть Канала обеспечивает горизонтальную транспортировку пучка в пристройке корпуса № 1 и разветвление (выдачу пучка в правую и левую ветви канала транспортировки пучка). После секции разветвления

пучок передаётся в правую и левую ветви Каналов транспортировки пучка, откуда частицы поступают в нижнее и верхнее кольца Коллайдера. Передача частиц осуществляется циклически, с периодом цикла 5 с.

Информация о всех неисправностях в работе систем или об отклонениях от принятого режима работы выводится на центральный пульт управления в корпусе № 2.

После завершения сеанса оператор с центрального пульта управления подтверждает прекращение работы Коллайдера и по согласованию со службой радиационной безопасности объекта даёт разрешение на вход персонала в зону исключённого доступа.

### 10.3 СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ КАНАЛА НУКЛОТРОН — КОЛЛАЙДЕР

Канал транспортировки пучка включает в себя следующие основные элементы и системы:

- Магнитно-оптическая система канала: магниты поворотные и корректирующие, квадрупольные линзы.
- Аппаратура диагностики пучка: пикап электроды, профилометры, быстрые трансформаторы.
- Секции инжекции пучка в Коллайдер: прямолинейные участки канала непосредственно перед входом пучка в систему инжекции Коллайдера.
- Вакуумная система канала: вакуумные посты, вакуумные затворы, система прогрева пучковой камеры.
- Системы электропитания канала транспортировки пучка:
  - источники электропитания магнитов;
  - блоки питания вакуумных постов;
  - источники питания маломощной электроники системы диагностики пучка.

#### 10.3.1 Территориальное деление на участки каналов транспортировки пучка

Размещение технологического оборудования во вновь возводимых сооружениях представлено на Рис. 10.3.1, 10.3.2.

В связи с размещением оборудования канала транспортировки пучка как в существующих, так и во вновь возводимых зданиях и сооружениях канал разбит на участки.

Перечень участков размещения канала транспортировки пучка:

- Головная часть (от системы быстрого вывода из Нуклотрона до выхода из корпуса № 1).
- Общий участок (от выхода из корпуса № 1 до секции разветвления, включительно).

- Северная (N) ветвь канала (от секции разветвления до секции инъекции в нижнее кольцо Коллайдера).
- Южная (S) ветвь канала (от секции разветвления до секции инъекции в нижнее кольцо Коллайдера).

Головная часть канала транспортировки пучка. Располагается в корпусе № 1 и обеспечивает перевод пучка из тоннеля Нуклотрона в горизонтальную плоскость на высоте 1,5 м над поверхностью земли. Головная часть включает в себя участок от системы быстрого вывода из Нуклотрона до выхода из корпуса № 1. Представляет собой пучковую камеру с минимальным набором структурных элементов (квадрупольные линзы — 2 шт., поворотные магниты — 2 шт., корректирующие магниты — 6 шт.).

Общий участок канала транспортировки пучка. Располагается за головной частью и заканчивается секцией разветвления. Участок обеспечивает транспортировку пучка в горизонтальной плоскости на отметке +1,500 м в пристройке корпуса № 1. Секция разветвления содержит переключающий дипольный магнит, служащий для перевода пучка в ту или иную ветвь канала.

Южная (S) и северная (N) ветви канала транспортировки пучка состоят из горизонтальных арок, прямолинейных секций, согласующих секций вертикального переноса и секций инъекции. Большая горизонтальная арка S-ветви обеспечивает поворот пучка в горизонтальной плоскости на угол  $24,2^\circ$ , большая горизонтальная арка N-ветви — поворот пучка на угол  $42,2^\circ$ . Малая горизонтальная арка S-ветви обеспечивает поворот пучка на угол  $1,2^\circ$  и включает в себя 1 дипольный магнит. Малая горизонтальная арка N-ветви обеспечивает поворот пучка на угол  $6,7^\circ$ . Большая и малая прямолинейные секции S-ветви имеют длины 97,2 м и 31,8 м соответственно. N-ветвь имеет только одну (большую) прямолинейную секцию длиной 99,6 м. Согласующие секции вертикального переноса располагаются в больших прямолинейных секциях ветвей Канала. Две согласующие секции вертикального переноса S-ветви в два этапа выводят пучок на уровень верхнего кольца Коллайдера. Транспортировка пучка в большой прямолинейной секции S-ветви производится на отметках +1,500 м, +0,500 м и +1,660 м над уровнем чистого пола здания № 17. Две согласующие секции вертикального переноса N-ветви в два этапа выводят пучок на уровень нижнего кольца Коллайдера. Транспортировка пучка в большой прямолинейной секции N-ветви производится на отметках +1,500 м, +0,500 м и +1,340 м над уровнем чистого пола здания № 17. Секции инъекции представляют собой короткие прямолинейные участки в концах ветвей Канала непосредственно перед входами пучка в криостатный вакуумный кожух Коллайдера.

Длина головной части и общего участка — 27 м. Длина левой ветви — 154 м. Длина правой ветви — 144 м. Полная длина Канала — 325 м.

### 10.3.2 Размещение элементов и систем канала транспортировки пучка

Размещение основных элементов и систем Канала транспортировки пучка осуществляется в зданиях и сооружениях, перечисленных в Таблице 10.3.1.

Таблица 10.3.1. Размещение элементов Канала Нуклотрон — Коллайдер

Элементы канала	Здание
Головная часть Канала — структурные элементы	Корпус № 1 (существующий), каньон со вновь возводимой биологической защитой
Головная часть Канала — элементы питания	Пристройка к корпусу № 1, перестраиваемое
Общий участок и ветви Канала: <ul style="list-style-type: none"><li>– структурные элементы,</li><li>– аппаратура диагностики пучка,</li><li>– элементы вакуумной системы кроме блоков питания и элементов управления</li></ul>	Защитный каньон, вновь возводимый
Система электропитания элементов Канала, блоки питания и управления вакуумной системы	Сооружение, смежное с Каналом (2-ой этаж здания № 17)

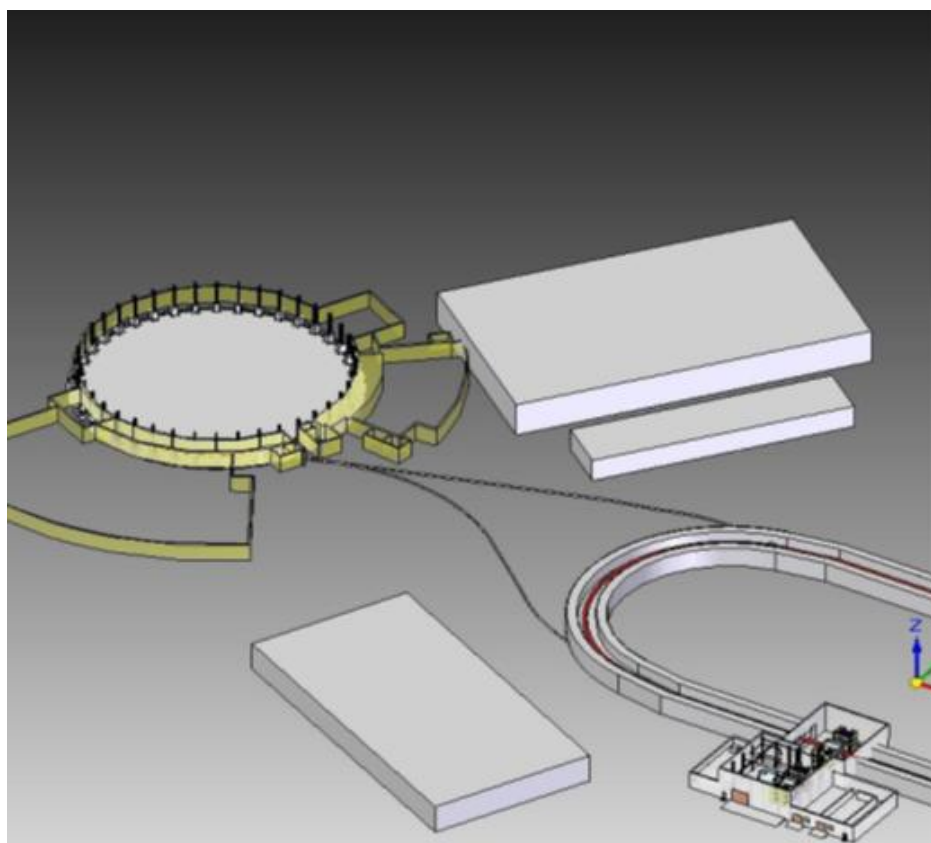


Рис. 10.3.1. Общий вид канала

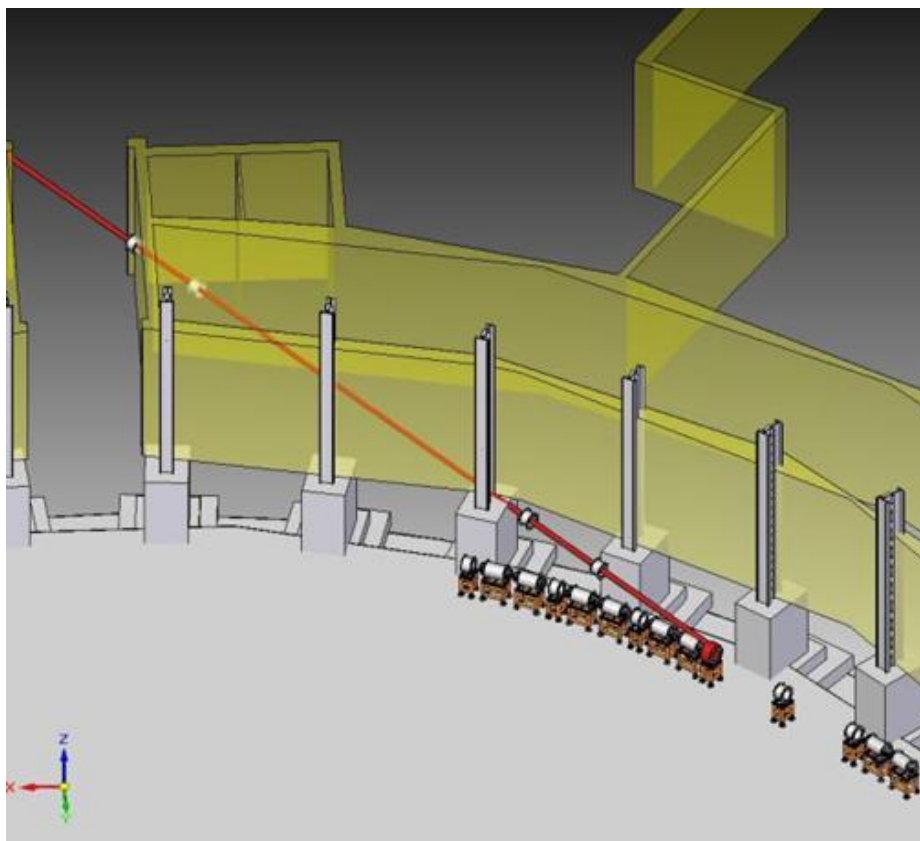


Рис. 10.3.2. Головная часть канала в туннеле Нуклотрона

Все элементы магнитно-оптической системы канала транспортировки пучка размещаются в корпусе № 1 (туннель Нуклотрона), в перестраиваемой пристройке к корпусу № 1 и на 1-м этаже вновь возводимого здания в помещении туннеля Коллайдера (Полукольцо W) (пом. 151).

Размещение основных элементов магнитно-оптической системы канала транспортировки пучка с привязкой к точке вывода пучка из Нуклотрона представлено на чертеже 318Б-063К-ИОС7.1-ТО лист 2 (схема) и на чертежах 318Б-063К-ИОС7.1.К-ТО листы 8, 13 (см. Приложение 10.1).

## 10.4 СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ КОЛЛАЙДЕРА

Коллайдер NICA включает в себя следующие системы:

- Магнитно-оптическая (магнитно-криостатная) система Коллайдера.
- Система инжекции пучка.
- Система сброса пучка.
- Включённые устройства (подробный перечень данных систем и информация по системам представлены в п. 6.3).
- Детекторы.
- Элементы питания (система электропитания и защиты структурных магнитов и линз колец Коллайдера, источники импульсного питания ударных магнитов).

- Элементы диагностики пучка.
- Система вакуумной откачки.
- Система охлаждения обессоленной водой.
- Система снабжения сжатым воздухом.
- Системы управления.

#### 10.4.1 Размещение систем и элементов Коллайдера

Все элементы и системы Коллайдера, кроме пультов управления, размещаются во вновь возводимых зданиях и сооружениях (Таблица 10.4.1). Магнито-оптическая структура размещена в Помещениях каньона Коллайдера — полукольцах E и W (пом. 150, 151), стены и перекрытия которого являются радиационной защитой, которых являются радиационной защитой, выполняемой частично из монолитного бетона, частично из железобетонных блоков индивидуального изготовления. Толщина радиационной защиты представлена на чертежах 318Б-063К-ИОС7.1-ТО лист 8, 9, 11, 13 (см. Приложение 10.1).

Таблица 10.4.1. Размещение элементов и систем Коллайдера

Элемент/система	Местоположение
Магнитооптическая структура Коллайдера: – структурные элементы, – аппаратура диагностики пучка, – элементы вакуумной системы откачки, кроме блоков питания и элементов управления	Кольцевой каньон (вновь возводимый) — полукольца E и W
Блоки питания и управления вакуумной системы	Сооружения смежные с кольцевым каньоном
Магнитооптическая структура Коллайдера (электропитание — измерительный полупериод)	Павильон в непосредственной близости от кольцевого каньона
Детектор MPD	Защитный каньон
	Сооружения для технического обслуживания
Детектор SPD	Защитный каньон
	Сооружения для технического обслуживания
Система электронного охлаждения	Кольцевой каньон (вновь возводимый)
	Защитный каньон
	техническое помещение, операторская
ВЧ система	Кольцевой каньон (вновь возводимый)
	Сооружение смежное с кольцевым каньоном

#### 10.4.2 Размещение общих инженерных систем

Размещение общих систем, обеспечивающих работу канала транспортировки пучка и Коллайдера, представлено в Таблице 10.4.2.

Таблица 10.4.2. Размещение инженерных систем Коллайдера

Элемент/система	Местоположение
Система охлаждения обессоленной водой	Технические помещения
Элементы системы управления Коллайдера	Здание № 2
Система электропитания (главные распределительные щиты)	Корпус № 1А, № 1Б (существующие)
Криогенная система (рефрижераторы)	Пристройка к зданию № 17

#### 10.4.3 Система инъекции пучка в Коллайдер

Система инъекции пучка в Коллайдер представляет собой набор магнитных элементов, обеспечивающих ввод (инъекцию) частиц из канала транспортировки в кольца Коллайдера.

Магнитные элементы системы инъекции размещаются в защитном каньоне на стыке ветвей канала транспортировки пучка и Коллайдера. Система питания данных элементов размещается за пределами защиты в технических помещениях (пом. 109, 137).



#### 10.4.4 Основные технико-экономические показатели систем Коллайдера

Таблица 10.4.3. Основные технико-экономические показатели

Наименование элемента/системы	Единица измерения	Величина показателя
1	2	3
Основное технологическое оборудование:		
Канал транспортировки пучка — режим работы:		
– число часов в сутки	ч/сут	22
– число месяцев в году	–	8
– продолжительность работы за год	ч/год	5400
Коллайдер — режим работы:		
– в число часов в сутки	ч/сут	22
– число месяцев в году	–	8
– продолжительность работы за год	ч/год	5400
Детектор MPD/SPD — режим работы:		
– в число часов в сутки	ч/сут	22
– число месяцев в году	–	8
– продолжительность работы за год	ч/год	5400
Энергопотребление		
Установленная мощность	кВт	4160
Потребляемая мощность	кВт	2640
Вода хоз.-питьевая	м <sup>3</sup> /год	90,950
Вода обессоленная (на охлаждение)	тыс. м <sup>3</sup> /год	270
Сжатый воздух 3 класса качества	тыс. нм <sup>3</sup> /год	1740
Сжатый воздух 6 класса качества	тыс. нм <sup>3</sup> /год	145
Азот	нм <sup>3</sup> /год	520
Гелий (99,999 %)	нм <sup>3</sup> /год	530
Гелий (99,996 %)	нм <sup>3</sup> /год	4000
Элегаз	нм <sup>3</sup> /год	20
Режим работы во время эксперимента		
Количество рабочих дней в году	дней/год	240
Количество рабочих смен в сутки	смен/сут	3
Продолжительность смены	час	8
Режим работы во время остановки:		
Количество рабочих дней в году	дней/год	125
Количество рабочих смен в сутки	смен/сутки	1
Продолжительность смены	час	8
Состав работающих		
В режиме эксперимента	чел.	150
В режиме остановки	чел.	50
Отходы		
Масло вакуумное	т/год	0,2
Обтирочный материал, загрязнённый маслами (содержание масел менее 15 %)	т/год	0,13
Резиновые изделия незагрязнённые, потерявшие потребительские свойства	т/год	0,045
Отходы смешанного волокна	т/год	0,148
Лампы люминесцентные	кг/год	*
Лампы металлогалогенные	кг/год	*

#### 10.4.5 Включённые устройства Коллайдера

К так называемым включённым элементам относятся:

- система электронного охлаждения пучков в кольцах Коллайдера (Гл. 7);

- система высокочастотного (ВЧ) ускоряющего напряжения (там же);
- система стохастического охлаждения (пикапы и кикеры) (там же);
- устройства поглощения частиц пучка, имеющих большие амплитуды колебаний (там же);
- устройства управлением ориентацией спина частиц (спиновый ротатор, «сибирская змейка») и поляриметры (там же);
- многоцелевой детектор MPD (п. 10.5 ниже);
- детектор для исследования физики спина SPD (п. 10.5 ниже).

Система электронного охлаждения (СЭО) пучка частиц представляет собой электростатический ускоритель электронов, работающий в режиме рекуперации энергии электронного пучка. СЭО предназначена для управления фазовым объёмом пучков тяжелых ионов, циркулирующих в Коллайдере, и относится к I группе ускорителей (энергия электронов не превышает 10 МэВ).

СЭО размещается в северо-западной части здания Коллайдера на его прямолинейном участке. Для размещения оборудования СЭО предусмотрены помещения во вновь возводимом здании.

Система высокочастотного ускоряющего напряжения предназначена для накопления частиц в кольцах Коллайдера, формирования в сгустки в течение определённого цикла эксперимента.

ВЧ система включает себя три подсистемы.

- Первая ступень — ВЧ система барьерного напряжения;
- Вторая ступень — группирующая ВЧ система низкой частоты;
- Третья ступень — основная ВЧ система на высокой частоте.

Резонаторы 1 ступени располагаются на прямых участках в каньоне Коллайдера (полукольцо E). Резонаторы 2 и 3 ступени располагаются группами по 4 шт. на прямых участках в каньоне Коллайдера (полукольцо E).

Резонаторы устанавливаются непосредственно на оси магнитно-криостатной структуры Коллайдера. Источники питания (ИП) ВЧ-резонаторов, стойки ВЧ и УБС, стойки электроники размещаются за пределами защиты Коллайдера в помещениях ИП ВЧ-системы. Питание резонаторов осуществляется от ИП, размещённых за защитой, в непосредственной близости от мест установки резонаторов. Подвод электропитания из помещений ИП ВЧ-систем производится в подпольных кабельных каналах.

## 10.5 ДЕТЕКТОРЫ MPD/SPD

Детекторы MPD и SPD предназначены для регистрации частиц, рождающихся на участках встречи пучков, циркулирующих в кольцах Коллайдера. Оба детектора состоят из различных детектирующих подсистем, которые обеспечивают эффективную регистрацию продуктов реакций, образующихся при столкновении частиц.

Детекторы и технологическое оборудование, необходимое для их сборки и наладки, размещаются в павильонах в прямолинейных секциях каньона Коллайдера: в северной секции — MPD, в южной — SPD. Детекторы имеют различную конструкцию, однако павильоны для их размещения полностью идентичны, поэтому далее приводятся требования только к зданию детектора MPD.

Для размещения детектора MPD предусмотрены помещения в здании № 17. Сам детектор в рабочем положении размещается в помещении 101/1 (см. чертежи Коллайдера, Гл. 7). Сборка и обслуживание детектора осуществляются в том же помещении до сеансов и в перерывах между ними. Вся зона детектора располагается в приямке глубиной 3,19 м от медианной плоскости Коллайдера. В зоне предусмотрено место для складирования элементов детектора после разгрузки и для подготовки их к сборке. Размер зоны составляет 28 × 34 м. В помещении 101/2 размещается также криостатная станция детектора.

Главным конструктивным элементом MPD является сверхпроводящий соленоид, в апертуре которого размещены все внутренние детекторы. Магнитопровод соленоида состоит из 12 стальных балок, образующих «бочку» магнита и опирающихся на два опорных кольца, обеспечивающих общую структурную жёсткость магнитной системы. Внутри опорных колец магнитопровода размещены полюса магнита. В цилиндрических выточках в полюсных наконечниках размещены две корректирующие катушки, выполненные из полого алюминиевого проводника и охлаждаемые деминерализованной оборотной водой. Магнит размещён на двух ложементов, каждый из которых опирается на три гидравлические опоры, закреплённые на роликовых тележках, которые перемещаются по рельсам.

Для охлаждения сверхпроводящей обмотки и термических экранов соленоида MPD предусмотрен гелиевый рефрижератор с эквивалентной мощностью  $\sim 220$  Вт на уровне 4,5 °К. Данное оборудование размещается за пределами защиты в пом. 101/2.

## 10.6 СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЖЕНЕРНОМ ОБОРУДОВАНИИ, О СЕТЯХ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ПЕРЕЧЕНЬ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ, СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Технологическое оборудование Коллайдера представляет собой уникальный комплекс электрофизического оборудования, который включает в себя, в том числе, источники питания систем и элементов Коллайдера (силовые шкафы с преобразователями, трансформаторами, аппаратами защиты). Техническим проектом предусматривается электропитание перечисленных источников питания и электрические сети к ним.

Технические решения, принятые в проекте, соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивают безопасную для жизни людей эксплуатацию объекта при соблюдении предусмотренных проектом технических решений (мероприятий).

### 10.6.1 Технологическое оборудование

Основными потребителями электроэнергии Коллайдера на напряжении 0,4 кВ, 50 Гц являются источники питания систем и элементов Коллайдера. Технологическое оборудование Коллайдера — его состав и характеристики кратко описаны в разделах 10.2-10.4 и подробно в Гл. 7.

Размещение технологического оборудования представлено в разделах 10.4.1-10.4.3. Данным проектом предусмотрены силовые распределительные щиты для питания перечисленных там источников, а именно

- источники питания вакуумных постов;
- импульсные источники питания системы инъекции;
- источники питания магнито-оптической системы Коллайдера;
- источники питания резонаторов ВЧ-системы.

Исключение составляют мощные источники питания магнитов и линз Коллайдера, которые размещаются в примыкающем здании № 1А, и их питание предусматривается от щита низкого напряжения существующей подстанции здания № 1А.

Силовые распределительные шкафы предусмотрены также в павильонах и каньонах детекторов.

### 10.6.2 Инженерное оборудование

Основными электроприёмниками инженерных систем являются:

- вентиляторы и насосы приточных и вытяжных вентсистем единичной мощностью до 11 кВт;
- электрокалориферы приточных вентсистем единичной мощностью до 23 кВт;

- противопожарные клапаны;
- вентиляторы аварийных вентсистем единичной мощностью до 30 кВт;
- вентиляторы и клапаны системы противодымной защиты единичной мощностью до 30 кВт;
- насосы и задвижки системы сбора трапных вод и дренажной системы;
- насосы, холодильная установка и градирня системы холодоснабжения ХС-1 единичной мощностью до 204 кВт. Система ХС-1 предназначена для холодоснабжения приточных вентсистем;
- насосы, холодильные агрегаты и градирни систем холодоснабжения ХС-2, ХС-3 и ХС-4 единичной мощностью до 408 кВт. Системы предназначены для охлаждения технологического оборудования;
- система охлаждения технологического оборудования с насосами мощностью до 5,5 кВт;
- сателлитные рефрижераторы;
- компрессорный агрегат мощностью 37 кВт;
- рабочее и аварийное освещение;
- грузоподъёмное оборудование;
- розеточная сеть;
- технические средства телефонной и громкоговорящей связи;
- технические средства автоматизированной системы управления (АСУ) и радиационного контроля (РК).

Перечисленные электроприёмники относятся, в основном, к II категории надёжности электроснабжения по ПУЭ.

К I категории надёжности электроснабжения относятся:

- аварийные вентсистемы;
- вентсистемы дымоудаления;
- аварийное освещение.

К особой группе I категории надёжности относятся:

- технические средства АСУ и РК;
- сателлитные рефрижераторы.

Установленная мощность технологического оборудования составляет 4568 кВт. Установленная мощность инженерного оборудования составляет 3388 кВт.

Общая установленная мощность электрооборудования по зданию составляет 7956 кВт в том числе:

- особая группа I категории надёжности составляет 71 кВт;
- I категория надёжности составляет 686 кВт;
- II категория надёжности составляет 7105 кВт;
- III категория надёжности составляет 94 кВт.

Расчётная мощность по технологическому оборудованию составляет 2618 кВт. Расчётная мощность по инженерному оборудованию составляет 1808 кВт. Годовой расход электроэнергии по зданию Коллайдера составляет 24259 тысяч кВт·ч.

Электроснабжение комплекса на напряжении 0,4 кВ, 50 Гц предусматривается от двух вновь сооружаемых примыкающих двух трансформаторных подстанций ТП-171 и ТП-181, а также от существующей подстанции здания № 1А. Каждая вновь сооружаемая подстанция на напряжении 0,4 кВ имеет 2 секции шин и секционный выключатель. Разные секции подстанции, в свою очередь, присоединяется к разным секциям распределительного устройства 6 кВ. Таким образом, обеспечивается II категория надёжности электроснабжения.

### 10.6.3 Система электроснабжения

Среда всех помещений здания невзрыво- и непожароопасная по классификации ПУЭ за исключением помещений 101/1, 101/2, 128/1, 128/2 (помещения детекторов MPD и SPD), которые имеют пожароопасные зоны класса П-I, а также помещений кладовых, которые относятся к категории П-IIa по классификации ПУЭ.

Питание оборудования системы электронного охлаждения (СЭО) решается данным проектом от силовых распределительных щитов, которые размещаются в техническом помещении СЭО.

Данным проектом предусматривается электропитание перечисленных выше источников питания и электрические сети к ним.

Всё отдельно стоящее электрооборудование, аппаратура и светильники — защищённого исполнения, со степенью защиты, соответствующей требованиям места их размещения по ПУЭ, с учётом сред помещений, климатических факторов и условий окружающей среды.

Проектом используется электрооборудование, светильники и кабельная продукция заводов РФ, а также иностранных фирм.

Для потребителей особой группы I категории надёжности проектом предусмотрены агрегаты бесперебойного питания со встроенными аккумуляторными батареями.

Компенсация реактивной мощности предусмотрена на проектируемых подстанциях ТП-171 и ТП-181.

Проектом принята система общего освещения. В системе общего электроосвещения предусмотрено рабочее, аварийное (безопасности и эвакуационное) и ремонтное освещение. Рабочее электроосвещение выполняется во всех помещениях.

Аварийное эвакуационное предусматривается во всех технологических и технических помещениях, а также по путям эвакуации — в коридорах и на лестничных клетках, аварийное безопасности — в операторских, в электрощитовых, в венткамерах, в помещениях водоохлаждения и в узле ввода.

В помещениях систем инженерного обеспечения (в электрощитовых, в помещениях водоохлаждения, в узле ввода и в венткамерах) предусматривается ремонтное переносное электроосвещение, питающееся от понижающих трансформаторов на напряжение 42 В переменного тока.

В качестве молниеприёмника используется кровля. Для защиты от прямых ударов молнии на кровлю укладывается молниеприёмная сетка из стали диаметром 8 мм с шагом ячеек сетки не более 12 × 12 м. Элементы здания, возвышающиеся над кровлей, присоединяются к молниеприёмной сетке.

От молниеприёмника выполняются вертикальные токоотводы к наружному контуру заземления и молниезащиты, который выполняется из горизонтальных заземлителей, укладываемых на глубине не менее 0,5 м в виде замкнутой петли вокруг здания.

Проектом принята система заземления TN-C-S для сетей с глухозаземленной нейтралью. Кабели от подстанций до щитов питания здания приняты 4-х проводными. Разделение PEN-проводников от подстанции на PE- и N-проводники предусмотрено на щитах питания. Далее PE- и N-проводники работают отдельно: сети выполняются 5-ти проводными для трёхфазных электроприёмников и 3-х проводными для однофазных электроприёмников.

Электроснабжение комплекса NICA предусмотрено от вновь проектируемых КТП 2 × 2500 МВт.

Подробное описание системы электроснабжения приведено в альбомах Проектной Документации ЗАО «КОМЕТА»: 318Б-063-ИОС1.1; 318Б-063К-ИОС1.2.

#### 10.6.4 Система водоснабжения

В соответствии с имеющимися внешними сетями, а также техническими, санитарными и противопожарными требованиями переоборудуемая часть здания оборудуется следующими системами:

- хозяйственно-питьевого противопожарного водопровода;
- горячего водоснабжения;
- обратного водоснабжения для охлаждения оборудования ускорителя.

Подробное описание системы водоснабжения приведено в альбомах Проектной Документации ЗАО «КОМЕТА»: 318Б-063К-ИОС2.1, 318Б-063К-ИОС2.2.

#### 10.6.5 Система водоотведения

Проектируемый Коллайдер NICA размещается на территории ЛФВЭ ОИЯИ в г. Дубне, где имеются внутримплощадочные действующие сети бытовой и дождевой канализации, подключённые к сетям города. Существующие сети канализации обеспечат приём и отведение сточных вод от устанавливаемого оборудования в проектируемом здании. В соответствии с условием отведения сточных вод от проектируемого здания № 17 предусматривается устройство следующих внутренних систем канализации:

- бытовой;
- контролируемой;
- дождевой.

Подробное описание системы водоотведения приведено в альбомах Проектной Документации ЗАО «КОМЕТА»: 318Б-063К-ИОС3.1; 318Б063К-ИОС3.2; 318Б-063К-ИОС3.3.

Подробное описание систем Отопления, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловых сетей, сетей связи и пр. приведено в соответствующих томах и разделах Проектной Документации ЗАО «КОМЕТА».

### 10.7 Геодезия

#### 10.7.1 Измерения на Синхрофазотроне 56-90 гг.

В процессе строительства и в первые годы эксплуатации Синхрофазотрона был выполнен большой объем геодезических работ для определения надёжности основания ускорителя. Контроль за осадкой электромагнита в 1955 г. показал максимальную величину прогиба фундамента порядка 23 мм. В 1956 г. эта величина уменьшилась до 18 мм, и был сделан вывод, что по окончании



перераспределения и выравнивания нагрузок деформации фундамента прекратились, и установилось равновесие.

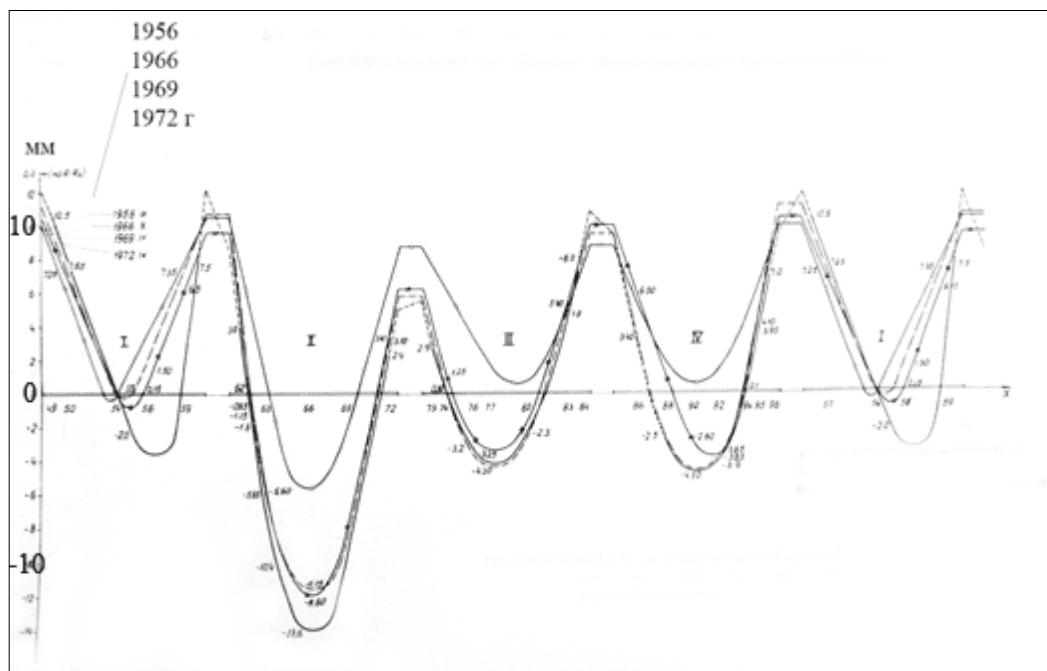


Рис. 10.7.1. Изменение формы геометрической поверхности электромагнита синхрофазотрона по данным нивелирования, начиная с 1956 г.

В дальнейшем контроль за осадкой электромагнита проводился несистематически, в основном, по причине отсутствия постоянной геодезической службы. Статистика этих измерений показала, что процесс не только не прекратился, но продолжает прогрессировать [19]. Поэтому, в 1972-74 гг. среди других мероприятий по повышению интенсивности ускорителя Синхрофазотрон был выполнен большой объем работ по более точным наблюдениям за стабильностью положения электромагнита.

Анализ данных показал, что основание электромагнита периодически деформируется, в зависимости от времени года. Во время подъёма грунтовых вод (апрель) наружные радиусы всех квадрантов магнита поднимаются относительно положения при низком уровне воды (февраль), а внутренние опускаются. Наибольший подъем наружных стоек электромагнита составил 1,2 мм, а наибольшее опускание внутренних — 0,3 мм. К летнему периоду (июнь) деформации возвращались на уровень февраля.

При появлении дополнительных нагрузок происходили и аperiodические осадки. Например, строительство здания экспериментального зала (корпус № 205) привело к дополнительной осадке третьего квадранта на величину  $1 \div 1,2$  мм.

В результате измерений на Синхрофазотроне в 1973-85 гг. установлено, что за этот период плоскость ускорителя опустилась на 2,16 мм относительно окружающей местности [20]. В результате измерений на Синхрофазотроне в 1986-90 гг. установлено, что в этот период продолжалось равномерное оседание плоскостей квадрантов 1, 3 и 4. В тоже время положения пунктов на 2-м квадранте изменились на величину до 1,2 мм, что объяснялось строительством здания компрессорной станции. Наблюдения в этот период выполнялись только в весенне-летний период, что не позволило выявить зависимость от изменения уровня грунтовых вод и температуры. Был сделан вывод, что положение магнита Синхрофазотрона не стабилизировалось [21].

### 10.7.2 Измерения на Нуклотроне в 90-91 гг.

При строительстве Нуклотрона магнитные элементы ускорителя были установлены и выровнены по высоте с точностью до 0,2 мм. В 1990-91 гг. были выполнены работы по наблюдению за стабильностью высотного положения основания Нуклотрона, поскольку постоянный доступ к самим магнитным элементам невозможен из-за конструктивных ограничений. В результате была установлена величина сезонных колебаний до 0,5 мм и подтверждено наличие аperiodических изменений.

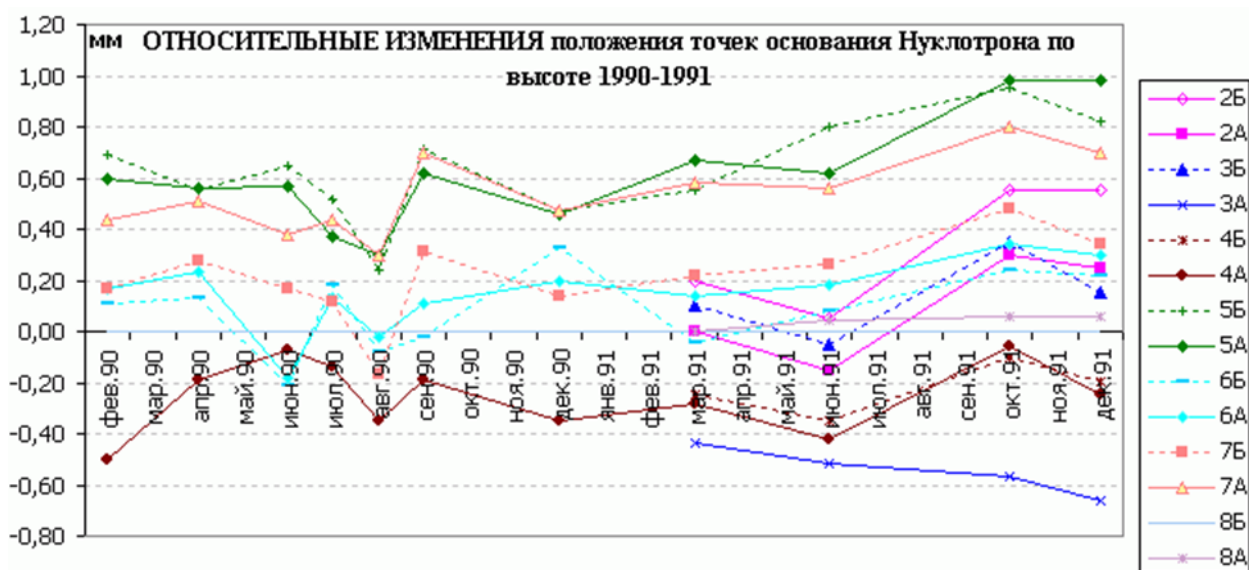


Рис. 10.7.2. Относительное изменение положения точек основания Нуклотрона по высоте в 1990-91 гг.

### 10.7.3 Измерения на Нуклотроне в 2008 г.

Весной 2008 г. была начата новая серия наблюдений за стабильностью высотного положения оснований магнитных элементов Нуклотрона. Измерялось взаимное положение 12-и точек (Рис. 10.7.3, 10.7.4), равномерно расположенных по кольцу. Абсолютное изменение положения точек кольца как целого относительно внешних реперов не измерялись. К настоящему времени выполнено 4 серии таких наблюдений (не считая трёх предварительных по другим точкам). По предварительным результатам в настоящее время видно, что величина периодических колебаний

достигает 0,8 мм. Для определения характера аperiodических (монотонных) изменений недостаточно имеющихся в настоящее время данных. Необходимо продолжить эту серию измерений.

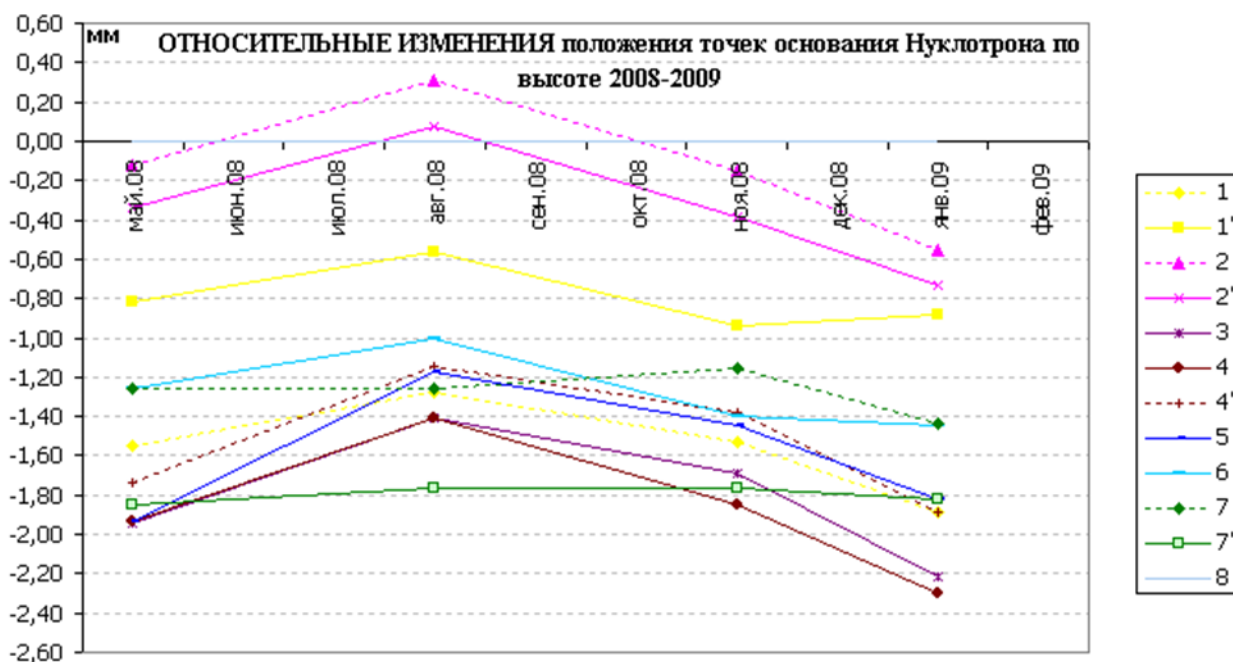


Рис. 10.7.3. Относительное изменение положения точек основания Нуклотрона (8 октантов) по высоте в 2008-09 годах

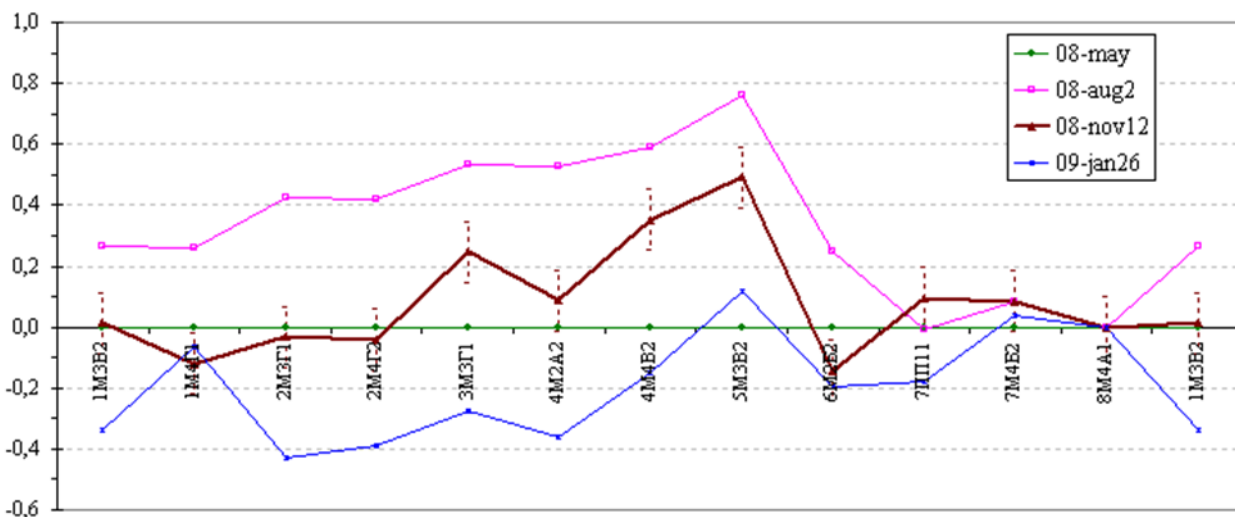


Рис. 10.7.4. Изменения положений точек основания Нуклотрона по высоте в 2008-09 годах относительно точки основания 8M4A1 с мая по январь

#### 10.7.4 Анализ результатов

В связи с изменением уровня грунтовых вод и температурного режима в течение года происходит изменение положения точек основания Нуклотрона (и, соответственно, магнитных элементов, расположенных на нем) на величину до  $0,6 \div 0,8$  мм друг относительно друга. Предположительно, изменения эти носят периодический характер.

С момента строительства Синхрофазотрона и до 1990 г. происходило постоянное проседание его здания и связанных с ним установок. Нет никаких оснований считать, что этот процесс завершился в 1990 г. В силу различных причин это проседание может быть неравномерным по периметру ускорителя. В связи с этим проседанием, а также другими причинами и отсутствием систематических наблюдений за высотным положением в течение последних 17 лет, мы не имеем данных о взаимном высотном расположении магнитных элементов Нуклотрона. На основании косвенных данных можно сделать предположение о вероятном уходе вертикального положения магнитных элементов Нуклотрона от проектных значений на величину до  $2 \div 3$  мм.

Изменение взаимного высотного положения магнитных элементов Нуклотрона относительно проектных на величины до 0,8 мм в течении года и до  $2 \div 3$  мм постоянно (что влияет на динамику частиц в ускорителе) требует определения их точной величины и выполнения постоянных (периодических) геодезических наблюдений за текущим состоянием ускорителя. Это даст возможность провести мероприятия по устранению этих изменений или по компенсации их другими средствами. Измерение взаимного высотного положения магнитных элементов возможно только при открытом к ним доступе. Способ дальнейшего контроля высотного положения Нуклотрона можно установить после определения всех причин, влияющих на него.

Конструкции новых магнитов должны предусматривать возможность свободного измерения положения магнитных элементов.

Направление дальнейших геодезических измерений на ускорителе определяется программой развития комплекса.

Для повышения эффективности ускорения Нуклотрона следует:

- продолжить наблюдение за изменением высотного положения оснований магнитных элементов с целью определения величины сезонных колебаний и непериодичной составляющей;
- определить реальное высотное положение магнитных элементов.

#### 10.7.5 Технические требования на геодезическое обеспечение ускорительного комплекса NICA

Геодезическое обеспечение ускорительного комплекса требует:

1. Создание пунктов сети, обеспечивающих проведение работ по монтажу и юстировке оборудования.
2. Создание контрольных (реперных) точек на магнитных элементах.
3. Выполнение геодезических работ по монтажу ускорителей с требуемой точностью.

#### 4. Слежение за текущим положением магнитных элементов и обеспечение их юстировки.

Создание геодезической сети и монтаж магнитных элементов (п. 1 и 2) должно выполняться специализированной организацией. Поскольку существует несколько возможных технических вариантов выполнения задачи, то конкретный проект должен представить исполнитель работ.

Создание контрольных точек на магнитных элементах, их расположение, должно быть увязано с конкретным техническим проектом.

Контроль за выполнением геодезических работ, контрольные измерения и последующее слежение за текущим положением магнитных элементов с их юстировкой должна выполнять геодезическая служба ускорительного комплекса.

#### 10.7.6 Создание пунктов сети

Несмотря на то, что для осуществления ускорения нет необходимости измерять абсолютные смещения магнитных элементов, а достаточно знать их относительные колебания, наличие нескольких разнесённых на значительное расстояние колец и соединяющих их ионопроводов делают целесообразным создание сети опорных пунктов, общих для всего комплекса.

Под пунктами сетей подразумеваются как высотные так и плановые пункты, которые могут быть совмещены.

#### 10.7.7 Опорная сеть

Опорная сеть служит для связи между независимыми рабочими сетями и обеспечения положения промежуточных ионопроводов между объектами.

Опорная сеть не служит для основы независимых рабочих сетей и не требует повышенной точности.

Создание опорной сети может выполняться параллельно с рабочими сетями, не предваряя их.

Требования к опорной сети:

- Опорная сеть должна охватывать площадь всего комплекса и связывать все рабочие сети.
- Должна обеспечивать монтаж оборудования в промежутках между рабочими сетями.
- Желательна привязка опорной сети к устойчивому к колебаниям пункту.
- Точность создания опорной сети соответствует точности рабочих сетей.

#### 10.7.8 Рабочие сети

Рабочие сети служат для обеспечения монтажа оборудования и высокоточной юстировки. Могут быть созданы для конкретных объектов независимо друг от друга.

Требования к рабочим сетям:

- Сети каждого отдельного объекта, предназначенные для монтажа и юстировки, должны быть связаны с единой опорной сетью.
- Точность каждой рабочей сети рассчитывается исходя из требуемой точности расположения магнитных элементов на объекте.
- Пункты рабочих сетей должны быть доступны для наблюдений после установки оборудования, целесообразно создание избыточных пунктов.
- Рабочие сети должны обеспечивать монтаж оборудования и его последующую юстировку.

#### 10.7.9 Создание контрольных точек на магнитных элементах

Каждый магнитный элемент должен конструктивно содержать контрольные точки, требуемые для монтажа и юстировки. Контрольные точки должны не только обеспечивать возможность определения магнитного элемента, но и служить инструментом для монтажа и юстировки, в первую очередь методом створных измерений.

Требования к контрольным точкам:

- При использовании сверхпроводящих конструкций контрольные точки на внешнем кожухе должны быть жёстко связаны с магнитными элементами.
- Контрольные точки должны быть расположены так, чтобы быть доступными для наблюдений после монтажа оборудования в процессе эксплуатации.
- Точность расположения контрольных точек должна соответствовать требуемой точности расположения магнитных элементов.
- Расположение контрольных точек должно быть согласовано с техническим проектом по монтажу оборудования.

#### 10.7.10 Выполнение геодезических работ по монтажу ускорителей с требуемой точностью

Основным критическим местом ускорительного комплекса является положение линз относительно оси пучка. Точность установки других элементов значительно ниже (магниты), либо может быть компенсирована (в ионопроводах). Однако выставление отдельных требований к разным магнитным элементам не имеет смысла, поскольку юстировка будет выполняться одним методом, применительно ко всему комплексу.

Требования точности установки элементов относительно друг друга недостаточно. При таком варианте возможно искажение центральной оси канала и, как следствие, искажение орбиты пучка и его характеристик. Необходимое требование — соответствие установленных координат ключевых точек (поворотов, пересечений, замыканий) расчётным.

Требования к выполнению работ по установке магнитных элементов:

- Допустимая погрешность установки линз — средняя линза относительно двух соседних поперёк пучка — 0,2 мм.
- Допустимая погрешность установки линз — средняя линза относительно двух соседних вдоль пучка — 0,5 мм.
- Допустимая погрешность установки магнитов — средний магнит относительно двух соседних — 0,5 мм.
- Допустимая погрешность установки магнитов — поворот магнитов вокруг пучка — 0,5 мрад.
- Допустимая погрешность установки магнитных элементов — точки поворотов, пересечений и замыканий — не должны отличаться от расчётных более чем на — 0,5 мм.

#### 10.7.11 Слежение за текущим положением магнитных элементов и обеспечение их юстировки

В зависимости от полученных данных о колебаниях оснований магнитных элементов необходимо создать систему, обеспечивающую юстировку. Есть все основания предполагать, что колебания оснований в течение года и на длительный период значительно превышают допустимые для ускорения значения. Это означает, что юстировка должна быть не разовой, а постоянной. Что предусматривает лёгкие для доступа и применения юстировочные механизмы и систему постоянного наблюдения за положением магнитных элементов. Геодезические (визуальные) наблюдения в этом случае неприменимы, поскольку занимают длительное время.

Поскольку основное влияние на положение магнитных элементов будет оказывать движение почв, то инструментальное наблюдение достаточно вести не на каждом элементе ускорителей, а на отдельных контрольных точках (допустим, на линзах). Выполнение юстировки возможно в варианте использования визуальных наблюдений от этих контрольных точек, либо при установке датчиков на каждый магнитный элемент. Второй вариант менее трудозатратен, но потребует больше вложений.

Требования к системе наблюдения и юстировке:

- Механизмы юстировки каждого магнитного элемента должны быть легко доступны.
- Конструкция механизмов юстировки должна давать возможность выполнять её быстро и легко, возможно меньшим количеством приспособлений.
- Системы наблюдений за всеми частями ускорительного комплекса должны быть унифицированными.
- Системы наблюдений должны иметь возможность дистанционного и постоянного цифрового контроля положения элементов или основных контрольных точек.

#### 10.7.12 Общие вопросы

1. Из-за значительных ( $1,0 \div 1,5$  мм) колебаний основания Нуклотрона существующая система его геодезического обеспечения не может обеспечить текущую требуемую (плановую) точность расположения магнитных элементов. Соответственно, запланированные показатели работы ускорителя (потери интенсивности) не могут быть достигнуты запланированными средствами. Для снижения этих потерь требуются технические решения по возможности контроля текущего положения элементов Нуклотрона и их оперативной юстировке.
2. Конструкция оснований и системы юстировки Бустера, Коллайдера, линейного ускорителя и ионопроводов может быть различна в зависимости от величины колебаний почвы и их периода. Юстировка с периодичностью раз в год на величины до 0,2 мм или раз в месяц до 1,0 мм предусматривают разные технические и организационные решения. Однако в настоящее время нет достоверных данных о колебаниях оснований на предполагаемых объектах (за исключением Нуклотрона). Необходимо учитывать, что получение этих данных занимает длительный период ( $1 \div 1,5$  года), и что они должны быть выполнены до начала конструирования магнитных элементов, оснований, систем юстировки и геодезических работ, включая создание технического проекта. Работы по выполнению наблюдений за колебаниями оснований Бустера, корпуса № 205 и других объектов следует начать во время составления технического проекта.



# Приложение 1 к Главе 10

---



## П.10.1 Компоновка помещений здания № 17

На следующих листах ниже приведены чертежи компоновки помещений здания № 17 и размещение основных элементов магнитно-оптической системы канала транспортировки пучка с привязкой к точке вывода пучка из Нуклотрона и др.



# Глава 11

## Криогенная система

---



## 11.1 ВВЕДЕНИЕ

Криогенная система ускорительного комплекса NICA создается на базе модернизированной установки по производству жидкого гелия, построенной в начале 90-х годов для сверхпроводящего синхротрона — Нуклотрон. Основные цели модернизации — повышение общей холодопроизводительности от 4000 Вт до 8000 Вт на температурном уровне 4,5 °К, создание новой системы распределения жидкого гелия, а также обеспечение кратчайшего времени охлаждения всего комплекса. Эти цели достигаются посредством ввода в эксплуатацию дополнительного 1000 л/час гелиевого ожижителя и «сателлитных» рефрижераторов, расположенных рядом с ускорительными кольцами. Все оборудование криогенной системы NICA будет располагаться на существующих производственных площадях.

Существующая криогенная система Нуклотрона состоит из двух гелиевых рефрижераторов КГУ-1600/4,5 (к) (Рис. 11.1.1) с холодопроизводительностью каждого 2000 Вт при 4,5 °К. Вновь вводимые ускорительные кольца (Бустер и Коллайдер) будут охлаждаться рефрижераторами с избыточным обратным потоком — сателлитами РГС-1600 (h, l). Рефрижераторы работают за счёт жидкого гелия, получаемого от центральной криогенной станции — ожижителя ОГ-1000 (j). С центральным ожижителем гелия и компрессорным цехом они соединяются тремя магистральными трубопроводами: сжатого, обратного и жидкого гелия, имеющего вакуумную суперизоляция и теплозащитный экран.

Будет сохранена существующая система хранения газообразного гелия, состоящая из 10-ти ресиверов (g) по 20 м<sup>3</sup> с давлением до 30 кг/см<sup>2</sup>. Суммарная вместимость этого хранилища составляет 6000 м<sup>3</sup>. В дополнение к этой системе планируется приобрести автотранспортный контейнер на 40 м<sup>3</sup> жидкого гелия (d). Это позволит решить сразу несколько задач: увеличить вместимость существующего оборудования для хранения гелия более чем в 4 раза; наладить экономичную доставку гелия от производителя своим транспортом; сглаживать внештатные ситуации, которые могут возникать на ускорительном комплексе; иметь дополнительный источник холода.

Буферный объём гелия для поддержания некоторого избыточного давления на всасывании компрессоров в настоящее время обеспечивается системой из трёх маслонеполненных газгольдеров с суммарным объёмом 60 м<sup>3</sup>. Эти газгольдеры находятся в отдельном, специально построенном для них здании. В процессе запуска крупных винтовых компрессоров дополнительно используется демпферный ресивер объёмом 100 м<sup>3</sup>. В ходе модернизации эти газгольдеры и ресивер будут заменены двумя мягкими газгольдерами (f) вместимостью каждого 100 м<sup>3</sup>.

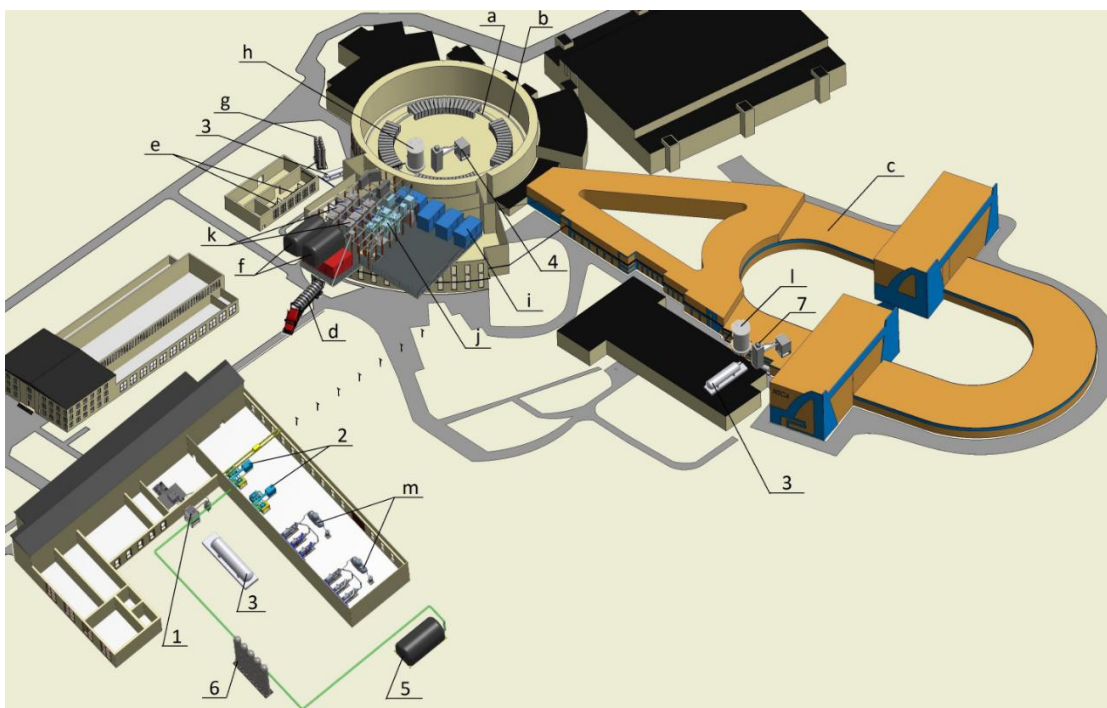


Рис. 11.1.1. Общий вид криогеники ускорительного комплекса NICA: Элементы гелиевой криогенной системы NICA: а — Бустер; b — Нуклотрон; с — Коллайдер; d — 40 м<sup>3</sup> транспортный гелиевый криогенный резервуар; e — два 5040 нм<sup>3</sup>/ч винтовых компрессора «Каскад-80/25»; f — два 100 м<sup>3</sup> газгольдера; g — десять 20 м<sup>3</sup> ресиверов сжатого гелия; h — «спутниковый» рефрижератор Бустера РГС-600; i — четыре блока маслоочистки МО-800; j — 1000 /ч гелиевый ожижитель ОГ-1000; k — два гелиевых рефрижератора КГУ-1600/4,5; l — «спутниковый» рефрижератор Коллайдера; m — два 6600 нм<sup>3</sup>/ч винтовых компрессора «Каскад-110/30». Элементы азотной криогенной системы: 1 — 1300 кг/ч азотный ожижитель ОА-1,3; 2 — два 11500 нм<sup>3</sup>/ч азотных компрессорных агрегата «Аэроком2-197/18»; 3 — три 30 м<sup>3</sup> криогенный танка жидкого азота; 4 — 500 кг/ч азотный реконденсатор Нуклотрона и Бустера РА-0,5; 5 — 200 м<sup>3</sup> газгольдер, 6 — пять 20 м<sup>3</sup> ресиверов сжатого азота; 7 — 500 кг/ч азотный реконденсатор Коллайдера РА-0,5

В криогенной системе ускорительного комплекса NICA будет задействован ряд компрессоров различных типов и модификаций. В качестве основных будут служить два имеющихся на Нуклотроне винтовых компрессорных агрегата «Каскад-80/25» (e) с производительностью 5040 нм<sup>3</sup>/ч и два вновь изготовленных агрегата «Каскад-110/30» (m) с производительностью 6600 нм<sup>3</sup>/ч каждый. Компрессорная установка «Каскад-110/30» спроектирована с учётом новых требований, предъявляемых к ускорительному комплексу NICA, и на основании многолетнего опыта эксплуатации установки «Каскад-80/25».

В настоящее время для очистки сжатого гелия от примесей масла и влаги используется блок маслоочистки МО-800 (i) с производительностью 800 кг/ч газообразного гелия. Окончательная очистка от паров масла осуществляется посредством двух угольных адсорберов, а очистка от влаги посредством двух цеолитовых адсорберов этого блока. Каждый из них рассчитан на работу в течение 10 суток и затем подвергается регенерации.

Для обеспечения потребностей по очистке гелия создаваемой криогенной системы комплекса NICA планируется ввод в эксплуатацию ещё трёх блоков МО-800, а также замена существующего блока маслоочистки, срок эксплуатации которого истекает в 2018 году, на новый.



Помимо модернизации гелиевой криогенной системы, будет создаваться новая замкнутая система для производства и распределения жидкого азота и реконденсации его паров. Азотная криогенная система используется для охлаждения теплозащитных экранов ускорителей при температуре 77 °К и на первом этапе охлаждения трёх ускорительных колец с общей протяжённостью около 1 км и холодной массой порядка 290 т.

Азотная криогенная система производительностью 2300 кг/ч будет создаваться на базе двух компрессорных агрегатов «Аэроком2-197/18» (2) с производительностью каждого 11500 нм<sup>3</sup>/ч, и включать в себя ожижитель азота АО-1,3 (1) и два реконденсатора паров азота РА-0,5 (4, 7) с производительностями 1300 кг/ч и 500 кг/ч жидкого азота, соответственно.

## 11.2 РАЗВИТИЕ ГЕЛИЕВОГО КРИОГЕННОГО КОМПЛЕКСА В КОРПУСЕ 1Б: ОЖИЖИТЕЛЬ ГЕЛИЯ ОГ-1000, РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ГЕЛИЯ, МЯГКИЕ ГАЗГОЛЬДЕРЫ

### 11.2.1 Ожижитель гелия ОГ-1000

Для охлаждения сверхпроводящих колец Бустера и Коллайдера предприятием ОАО «НПО Гелиймаш» был разработан и изготовлен ожижитель гелия ОГ-1000, производительностью 1000 л жидкого гелия в час.

Установка состоит из пяти основных блоков: предварительного охлаждения, очистки от примесей кислорода и азота, охлаждения гелия, сжижения гелия, турбодетандерного агрегата. Каждый блок заключён в собственный вакуумный теплоизолирующий кожух и соединён с другими посредством теплоизолированных трубопроводов.

Ожижитель гелия ОГ-1000 построен по циклу с предварительным азотным охлаждением, двумя последовательными турбодетандерами и одним парожидкостным турбодетандером в концевой ступени. Технологические параметры ожижителя приведены в Таблице 11.1.1.

Таблица 11.2.1. Технологические параметры ОГ-1000

Рабочий газ	Гелий
Производительность, л/ч	1100 ± 100
Потребление жидкого азота не более, кг/ч	560
Удельные энергозатраты, кВт·ч/л	1,6
Давление гелия в цикле, МПа (абс.)	2,5
Расход гелия (на входе в ОГ-1000), кг/ч	1200
Давление жидкого гелия (на выходе), МПа (абс.)	0,15
Время непрерывной работы не менее, ч	3000
Назначенный срок службы, лет	20

Установка ожижения гелия является автоматизированной. Система управления обеспечивает автоматический пуск, останов, а также переключение и регенерацию адсорберов очистки гелия от примесей азота и кислорода.

Система управления предоставляет возможность управления процессами установки с пульта оператора в ручном режиме с применением отдельных контуров регулирования. Система управления обеспечивает все необходимые действия по аварийному останову, а также защитным блокировкам. Система управления укомплектована двумя равноправными операторскими станциями.

### **Параметры теплообменных аппаратов**

Для ожижителя гелия ОГ-1000 выбран тип теплообменников — витые из труб, оребренных проволокой ( $\varnothing 5 \times 0,5/0,8$  — медь). Достоинства, определившие выбор типа теплообменников следующие:

- возможность за счёт подбора геометрических параметров оребренных труб с неизменным направлением их намотки создать надёжный компактный теплообменный аппарат со стабильной структурой теплообменной поверхности, обеспечивающий высокий тепловой КПД;
- высокая надёжность такой конструкции, достигаемая за счёт использования прочных каналов (труб круглого сечения), возможности контроля качества труб до их намотки; малой протяжённости паяных (сварных) соединений. Паяные (сварные) соединения труб с трубной решёткой имеют не только малую протяжённость, но и находятся в однородном температурном поле, создающем условия для обеспечения высокой надёжности шва;
- наличие свойства самокомпенсации температурных напряжений, которые гасятся свободными концами труб, выходящими их намотки;
- высокая компактность, достигаемая за счёт возможности использования труб малого диаметра без нарушения геометрии структуры теплообменной поверхности. Компактность теплообменной поверхности из труб диаметром  $0,3 \div 10$  мм составляет соответственно  $15000 \div 5000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ;
- возможность работы теплообменника с малыми разностями температур, соответственно, с высоким тепловым КПД, что достигается следующим: при односторонней намотке оребренных проволокой труб получается структура теплообменной поверхности с переменными значениями продольного и поперечного шагов. Зазор между трубами изменяется от одного до двух диаметров проволоки. Геометрические характеристики намотки при этом равномерны только в среднем. Образуется структура теплообменной поверхности с устойчивыми среднестатистическими характеристиками. В такой структуре создаются условия для равномерного температурного поля, что обеспечивает режим работы теплообменника с малыми разностями температур, соответственно, с высоким тепловым КПД;

- ремонтпригодность конструкции, которая определяется возможностью глушить часть труб, не повреждая остальных.

### 11.2.2 Состав ожижителя ОГ-1000

#### **Блок предварительного азотного охлаждения**

Габаритные размеры, мм:

- ширина 1400
- глубина 1400
- высота 2930

Масса 2400 кг. Азотной ванной служит внутренний сосуд кожуха блока.

В блоке установлен холодный фильтр для защиты оборудования от возможности повреждения твёрдыми кристаллизовавшимися частицами. Фильтр является разборным — вставка извлекается через крышку блока.

#### **Блок очистки от примесей азота и кислорода**

Для низкотемпературной очистки от примесей азота и кислорода ожижитель ОГ-1000 укомплектован двумя одинаковыми блоками очистки.

Блок очистки имеет одностенный кожух, внутри которого поддерживается высокий вакуум. Оборудование и трубопроводы, размещённые в полости блока, имеют изоляцию экранно-вакуумного типа. На крышке блока находятся клапаны с пневматическим приводом.

Габаритные размеры, мм:

- ширина 1700
- глубина 1700
- высота 5000

Масса 3000 кг.

#### **Блок охлаждения гелия**

В полости блока располагается гирлянда теплообменников, а также адсорбер очистки от неона и водорода.

Габаритные размеры, мм:

- ширина 1400
- глубина 1400

- высота 3812

Масса 1900 кг.

#### **Блок сжижения гелия**

В полости блока установлен один пневмоприводной клапан, использующий в качестве управляющего газа сжатый гелий прямого потока. В нижней части блока размещён гелиевый сосуд с переохладителем. Объём сосуда — 1000 л. В верхней части блока расположен азотный экран. Для охлаждения экрана предусмотрена ёмкость с жидким азотом.

На крышке блока установлен в отдельном вакуумном кожухе парожидкостной турбодетандер.

Габаритные размеры, мм:

- ширина 1400
- глубина 1400
- высота 4400

Масса 1800 кг.

#### **Щит технологических параметров**

В щите установлено оборудование для регенерации адсорберов блоков очистки: подогреватель азота, теплообменник, азотная арматура, клапаны для сброса гелия из адсорберов, а также контрольно-измерительные приборы, предохранительные клапаны.

Габаритные размеры, мм:

- ширина 1000
- глубина 1000
- высота 1900

Масса 600 кг.

#### **Щит вакуумного оборудования**

В щите установлено оборудование, арматура и контрольно-измерительные приборы для достижения и поддержания вакуума, а также контрольно-измерительные приборы и «тёплая» арматура других технологических блоков.

Габаритные размеры, мм:

- ширина 1000

- глубина 1000
- высота 1900

Масса 600 кг.

### **Турбодетандерный агрегат**

В вакуумном кожухе турбодетандерного агрегата располагаются газовые турбодетандеры, которые представляют собой два турбинных модуля 1 и 2 ступеней. Турбинные модули аналогичны по конструкции и отличаются только размерами рабочих колёс и направляющих аппаратов. Турбинный модуль представляет собой центростремительную турбину с консольно закреплённым на валу рабочим колесом радиально-осевого типа.

Ротор турбинного модуля вращается в комбинированных газо-масляных подшипниках. Радиальный подшипник со стороны рабочего колеса — газостатический. Со стороны тормозного устройства — гидростатический. Оба подшипника имеют одинаковый диаметр и запрессованы в корпус турбинного модуля. Осевые силы, действующие на ротор, воспринимаются упорным гидростатическим подшипником.

На консоли вала со стороны рабочего колеса имеется лабиринтное уплотнение с вращающимися гребнями, служащее для уменьшения утечки газа по валу. Для предотвращения попадания к газовому подшипнику холодного газа утечки, в среднюю часть лабиринтной втулки подаётся уплотняющий газ тёплого поддува. Втулка лабиринтного уплотнения выполнена за одно целое с газовым подшипником.

Для подачи на подшипники и на поддув используется только чистый гелий, отбираемый после блока очистки и подогреваемый в первом теплообменнике блока предварительного охлаждения.

Турбинные модули имеют направляющие аппараты с фиксированными соплами, поэтому холодопроизводительность каждого турбинного модуля регулируется изменением начального давления гелия.

Запуск и останов машин автоматизирован, предусмотрены все необходимые защитные блокировки.

Габаритные размеры:

- ширина 900
- глубина 1175
- высота 2800

Масса 750 кг.

### 11.2.3 Краткое описание работы установки

#### **Предварительное азотное охлаждение**

Сжатый и очищенный от примесей масла и влаги газообразный гелий входит в блок предварительного охлаждения, где проходя по теплообменникам, охлаждается за счёт холода обратного потока и паров азота. Затем, пройдя по змеевику, расположенному в азотной ванне, охлаждается за счёт холода жидкого азота.

#### **Очистка от примесей азота и кислорода**

После блока предварительного охлаждения поток гелия попадает в блок низкотемпературной очистки от примесей азота и кислорода, который представляет собой два переключающихся угольных адсорбера, процесс очистки в которых происходит на температурном уровне 80 °К.

#### **Охлаждение гелия**

После очистки от примесей азота и кислорода, гелий попадает в блок охлаждения, где после одного теплообменного аппарата гелий разделяется на поток ожижения и детандерный. Ожижаемый поток проходит через теплообменные аппараты и угольный адсорбер для очистки от примесей неона и водорода, после чего подаётся в блок ожижения. Детандерный поток сначала проходит первый турбодетандер, где расширяется до промежуточного давления 11 атм и возвращается в блок охлаждения с температурой 4,5 °К, после чего подаётся в теплообменный аппарат и подаётся во второй турбодетандер, откуда возвращается с температурой 12,3 °К и смешивается с обратным потоком, возвращаемым из блока ожижения.

#### **Ожижение гелия**

Из блока охлаждения гелий подаётся в блок сжижения, где попадает в теплообменный аппарат, а затем в парожидкостной турбодетандер и змеевик, расположенный в гелиевой ванне, после чего поток разделяется: часть дросселируется в ванну, а другая часть жидкости выдаётся потребителю.

Для парожидкостного турбодетандера применены газо-масляные опоры, которые также выполняют роль тормоза.

### 11.2.4 Развитие системы очистки гелия

В настоящее время для очистки сжатого гелия от примесей масла и влаги используется блок маслоочистки МО-800, производства «НПО Криогенмаш». Окончательная очистка от паров масла осуществляется в этом блоке посредством двух угольных адсорберов, каждый из которых рассчитан на работу в течение 2500 часов. По истечении указанного времени адсорберы переключаются, а пришедший в негодность уголь заменяется новым. Очистка от влаги осуществляется в двух

цеолитовых адсорберах блока МО-800. Каждый из них рассчитан на работу в течение 10 суток, и затем подвергается регенерации. Производительность блока маслоочистки составляет 800 кг/ч газообразного гелия.

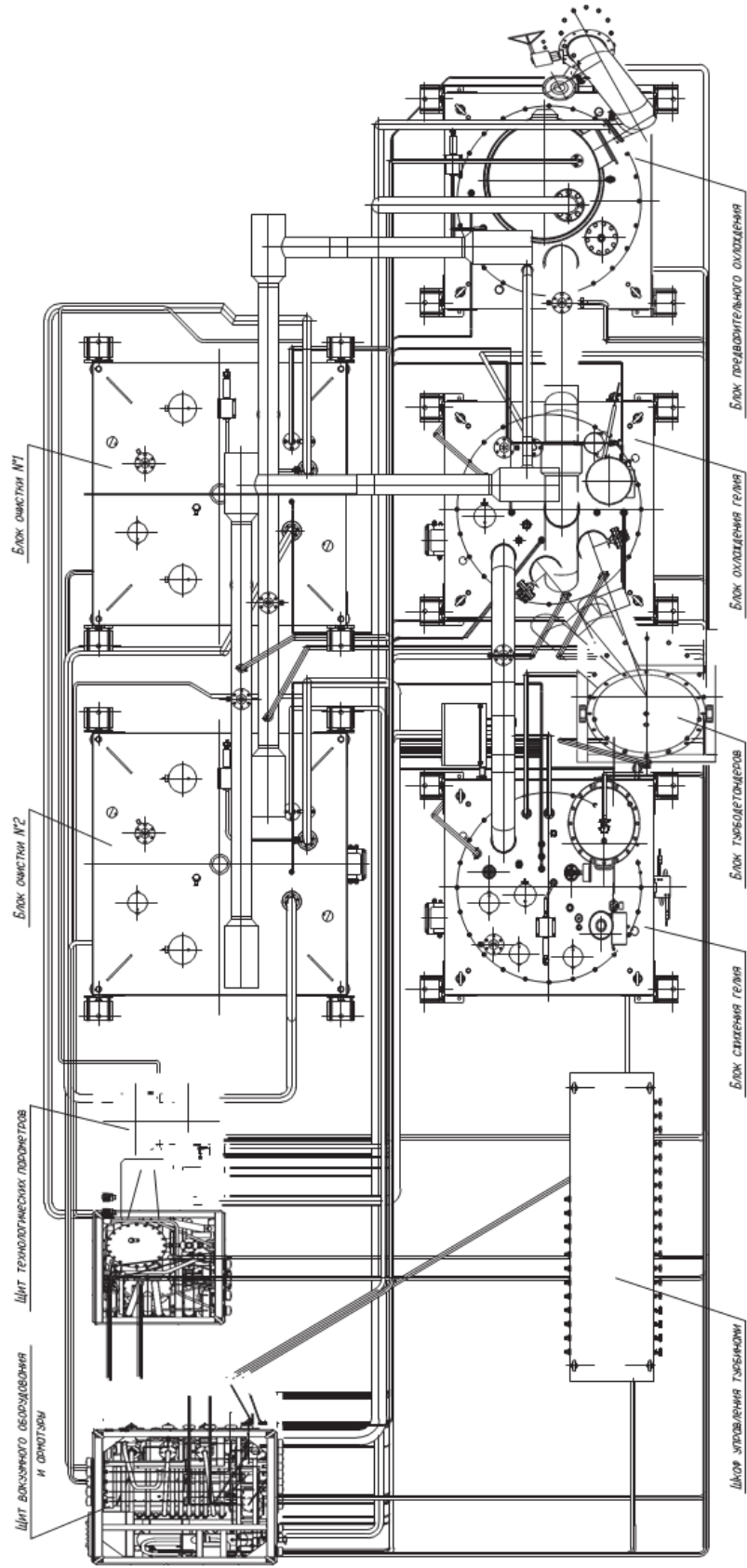
Для обеспечения потребностей по очистке гелия создаваемого криогенного комплекса планируется поставка ещё трех блоков МО-800, а также замена существующего блока маслоочистки, срок эксплуатации которого истекает в 2018 г., на новый.

#### 11.2.5 Мягкие газгольдеры

Для поддержания избыточного давления на всасывании компрессоров используется маслonaполненный газгольдер объёмом 20 м<sup>3</sup>. Применение газгольдера с таким объёмом создаёт некоторые неудобства при эксплуатации криогенных установок. В связи с увеличением холодопроизводящих мощностей принято решение перейти на мягкий газгольдер объёмом 100 м<sup>3</sup>. Данное решение снизит эксплуатационные затраты, упростит технологические процессы, такие как запуск компрессоров и позволит избавиться от необходимости работы с большими объёмами масла.

Новый газгольдер не требует сооружения специального здания и будет размещаться в корпусе № 1Б.

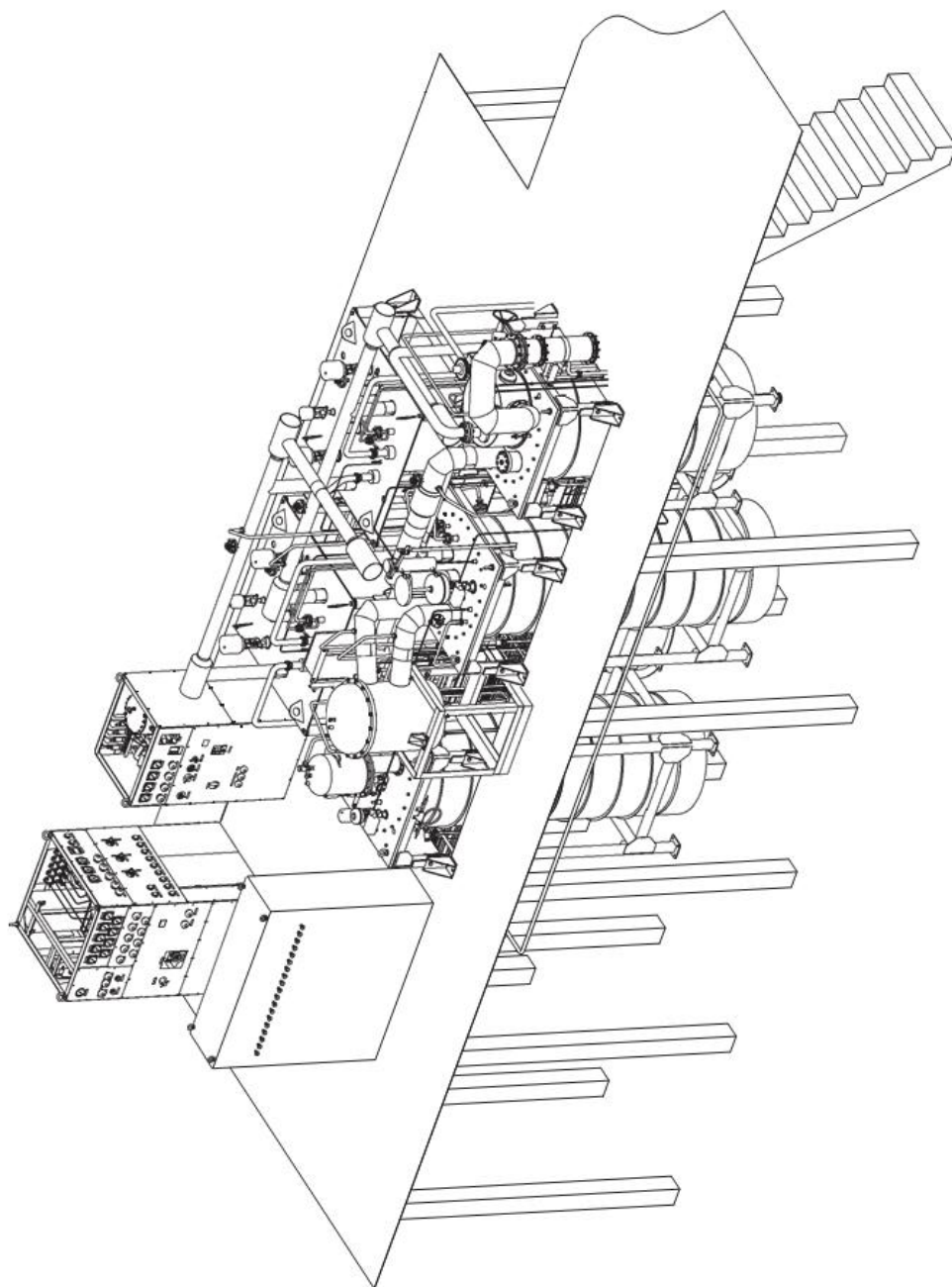
Компьютерка охизителя зеляя ОГ-1000



Лист				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



Общий вид установки ОГ-1000



Изм.	Акст.	№ докум.	Подп.	Дата	Акст.

### 11.3 СООРУЖЕНИЕ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ В КОРПУСЕ № 32

Создаваемая станция предназначена для размещения оборудования криогенной системы комплекса NICA в составе:

1. Ожижитель азота ОА-1,3 в комплекте:
  - блок криогенный — 1 комплект;
  - блок ресиверов — 1 комплект;
  - блок газгольдеров — 1 комплект;
  - агрегат турбодетандерный — 1 комплект;
  - теплообменник переносной — 1 комплект;
  - система смазки — 1 комплект;
  - комплект внеблочных аппаратов (фильтры, электронагреватели, трубопроводы обвязки, запорная и предохранительная арматура) — 1 комплект;
  - автоматизированная система контроля и управления (АСКУ) — 1 комплект;
  - ЗИП на гарантийный срок эксплуатации — 1 комплект.
2. Компрессор центробежный азотный АЭРОКОМ — 2 комплекта.
3. Компрессор винтовой гелиевый «Каскад-110/30» — 2 комплекта.
4. Резервуар криогенный — 1 комплект.
5. Блок криогенных насосов — 1 комплект.
6. Система автономного водоснабжения (водяные теплообменники, насосы циркуляционные, фильтры щелевые автоматические, станция водоподготовки).

Оборудование компрессорной станции размещается как во вновь возводимом здании компрессорной станции, так и на открытой площадке, примыкающей к территории станции.

Оборудование ожижителя ОА-1,3 размещается в возводимом здании компрессорной станции и на открытой площадке, примыкающей к территории станции.

Вне здания размещаются:

- блок криогенный, теплообменник выносной, блок ресиверов, блок газгольдеров, резервуар криогенный, блок криогенных насосов.

В здании размещаются:

- компрессоры, турбодетандерный агрегат, система смазки, водяные теплообменники, водяные циркуляционные насосы, фильтры щелевые автоматические, станция водоподготовки.

На первом этаже в пристройке к зданию компрессорной станции размещаются:

- КТП, РУ, система автономного водоснабжения (водяные теплообменники, насосы циркуляционные, фильтры щелевые автоматические, станция водоподготовки), тепловой пункт и другие вспомогательные помещения.

В качестве здания для криогенно-компрессорной станции решено использовать корпус № 32 ЛФВЭ, предварительно осуществив его техническое перевооружение для удовлетворения требуемым параметрам площади, высоты пролётов, звукоизоляции и т.д.

### 11.3.1 Краткая характеристика реконструируемого здания, корпус № 32

Год постройки — 1957 г.

Площадь реконструируемого крыла — 315,64 м<sup>2</sup>.

Этажность реконструируемого крыла — одноэтажное, высотой — 7,60 м.

Климатический район — II в.

Расчётная зимняя температура наружного воздуха: 28 °С.

Снеговой район — IV.

Нормативное давление снегового покрова: 240 кгс/м<sup>2</sup>.

Ветровой район — I.

Нормативная ветровая нагрузка: 23 кгс/м<sup>2</sup>.

Таблица 11.3.1. Характеристики проектируемой криогенно-компрессорной станции

Этажность здания	Одноэтажное
Наличие подвал	Нет
Общая площадь реконструируемого крыла, м <sup>2</sup>	863,33
Конструктивная схема здания	Каркасная
Шаг колонн, м	3 и 6 м
Пролёт, м	15 м
Высота здания по коньку, м	12,05
Размер здания в плане в осях, м	51,5 × 15
Основание	По результатам геологических изысканий
Фундаменты	Размеры подошвы фундаментов и их глубину заложения определять по результатам геологических изысканий
Элементы несущего каркаса	Стальные колонны, подкрановые балки, стропильные балки покрытия, прогоны, связи
Стены	Навесные акустические «Сэндвич-панели» толщиной $d = 150$ мм, с минераловатным утеплителем, с понижением уровня шума на 50 дБ (до 60 дБ)
Покрытие	Стальные стропильные балки, прогоны
Кровля	Акустические «Сэндвич-панели» толщиной $d = 150$ мм, с минераловатным утеплителем, с понижением уровня шума на 50 дБ (до 60 дБ)
Двери	Металлическая, противопожарная, утеплённые, с открыванием наружу, размерами $h = 2,1$ м, $b = 1,4$ м
Полы	Высокопрочные, армированные бетонные, толщиной $d = 90$ мм, с полимерно-кварцевым покрытием толщиной $d = 5 \div 10$ мм
Окна	ПВХ звукоизолирующие, с двухкамерными стеклопакетами с понижением шума на 50 дБ
Крановое оборудование:	
Количество, шт.:	Один
Грузоподъёмность, тс	10
Высота до крюка, м	6,5 м
Режим работы (от 1 К до 8 К)	3 К
Тип (подвесной, опорный)	Опорный
Количество опорных катков, шт.	2
Дополнительные требования:	
Дополнительные нагрузки на стены и кровлю здания	Прокладка магистральных трубопроводов (до Ду500)
Требования к внутренней отделке здания	Предусмотреть звукоизоляцию компрессорного зала. Уровень шума в основной части здания (не входящей в реконструкцию) не должен превышать 50 дБ
Остекление:	
Тип остекления	Двухкамерные стеклопакеты, понижающие уровень шума на 50 дБ
Примерная площадь остекления, м <sup>2</sup>	145
Ворота	
Ворота (ширина × высота), м	4,0 × 4,2
Количество, шт.	2
Наличие электропривода	С электроприводом
Расположение	По главному фасаду (по оси «1'» и по дворовому фасаду по оси «4»)
Тип	Подъёмные — 2 шт. Подъёмные с калиткой — 1 шт.

Таблица 11.3.2. Требования к технологии и режиму предприятия

Объекты проектирования	Объекты проектирования согласно п. 2.2.
Потребность в технических газах	Азот газообразный давлением 0,005 МПа — 2200 м <sup>3</sup> /ч. Концентрация азота — 99,9 % Гелий газообразный давлением 0,005 МПа — 13200 м <sup>3</sup> /ч
	Технические параметры ОА-1,3:
	Азот жидкий:
	– объёмная производительность, кг/ч, не менее — 1300
	– объёмная доля азота, %, не менее 99,9
	– давление на выходе установки, МПа, не менее — 0,1
	Технические параметры компрессора «Каскад-110/30»
	Гелий газообразный:
	– объёмная производительность, м <sup>3</sup> /ч., не менее — 6600
	– давление на выходе установки, МПа, не менее — 3,0
	Технические параметры компрессора — турбокомпрессор азотный (Аэроком2-197/18 УХЛ4).
	Азот газообразный:
	– объёмная производительность, м <sup>3</sup> /ч., не менее — 11000
	– давление на выходе установки, МПа, не менее — 1,8
Основное оборудование	Технические параметры криогенного резервуара:
	– вместимость сосуда, м <sup>3</sup> — 30
	– рабочая среда — жидкий азот
	– рабочее давление, МПа — 0,6
	технические параметры блока ресиверов:
	– общая вместимость, м <sup>3</sup> , не менее — 100
	– рабочая среда — азот ГОСТ 92923-74
	– рабочее давление, не более — 3,5
	технические параметры блока газгольдеров:
	– общая вместимость, м <sup>3</sup> , — 400
	– рабочая среда — азот ГОСТ 92923-74
	– рабочее давление, не более — 0,005
Режим потребления сжатых и сжиженных газов	Азот газообразный давлением 1,8 МПа — непрерывный, равномерный, выдаётся из азотных компрессоров на внешние сети. Гелий газообразный давлением до 3 МПа — непрерывный, равномерный, выдаётся из гелиевых компрессоров на внешние сети. Азот жидкий давлением 0,6 МПа — непрерывный, равномерный, выдаётся из криогенного резервуара через блок насосов на внешние сети
Категория потребления по надёжности снабжения	Вторая, с наличием аварийного запаса и системы хранения жидких продуктов
Потребность в сухом воздухе (или азоте)	Сухой азот под давлением 0,6 МПа потребляется непрерывно в процессе работы азотных компрессоров и азотного оживителя в качестве управляющего газа и для фильтрации от паров масла. Производство, запас сухого азота и его выдача предусмотрены в проекте азотной системы комплекса NICA

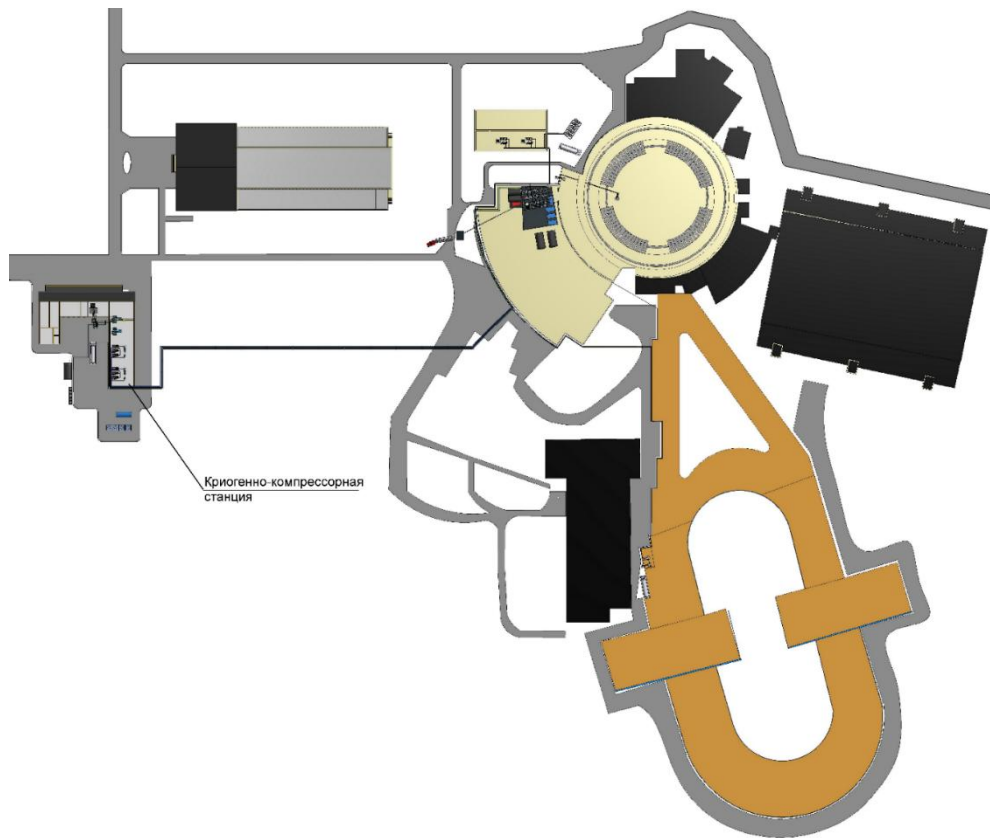


Рис. 11.3.1. Расположение криогенно-компрессорной станции на площадке ЛФВЭ

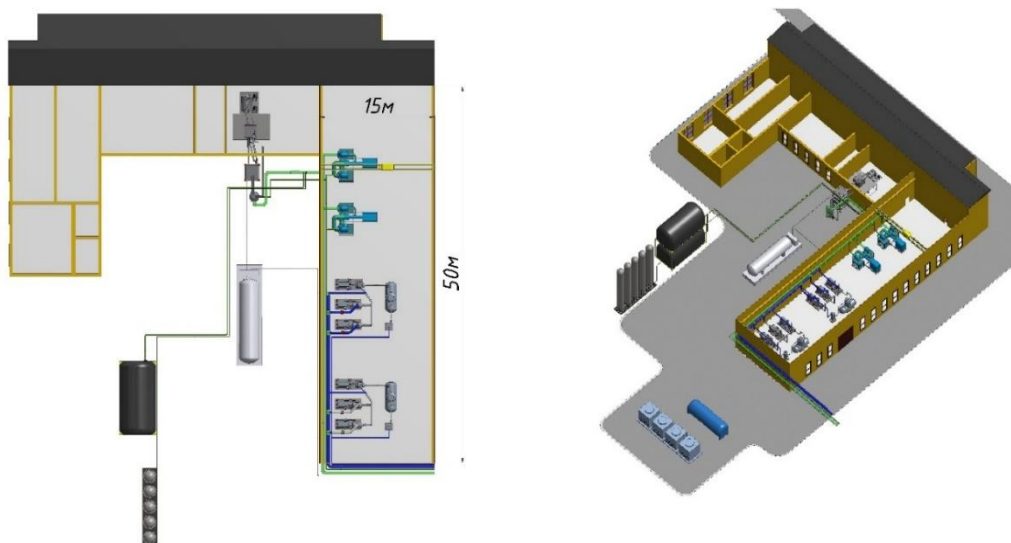
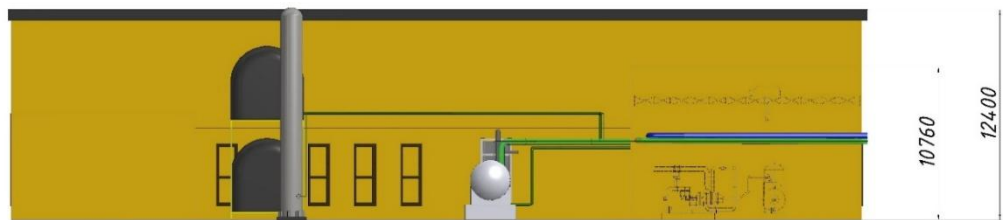


Рис. 11.3.2. Общий вид станции

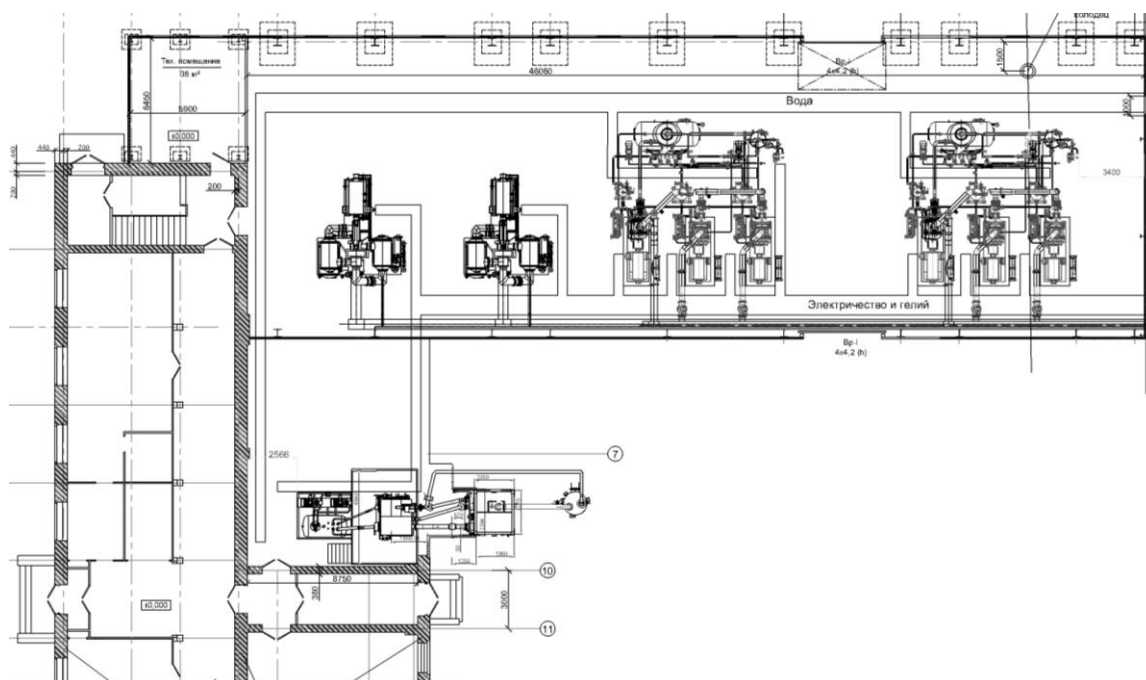


Рис. 11.3.3. План станции на нулевой отметке

### 11.3.2 Характеристики гелиевого компрессора «Каскад-110/30»

В криогенной системе ускорительного комплекса NICA будет задействован ряд компрессоров различных типов и модификаций. В качестве основных будут служить два имеющихся на Нуклотроне винтовых компрессорных агрегата «Каскад-80/25» и два вновь изготавливаемых в настоящее время агрегата «Каскад-110/30», разработанных по заданию ОИЯИ в 2011 году казанским ОАО «НИИТУРБОКОМПРЕССОР». Компрессорная установка «Каскад-110/30» спроектирована с учётом новых требований, предъявляемых к ускорительному комплексу NICA, и на основании многолетнего опыта эксплуатации установки «Каскад-80/25». Кроме того, при проектировании установки был учтён и опыт, накопленный за последние годы в ЗАО «НИИТУРБОКОМПРЕССОР» при проектировании газовых винтовых компрессоров для сжатия различных газов. В Таблице 11.2.3 представлены технические характеристики компрессора «Каскад-110/30».

Таблица 11.3.3. Основные технические характеристики компрессора «Каскад-110/30»

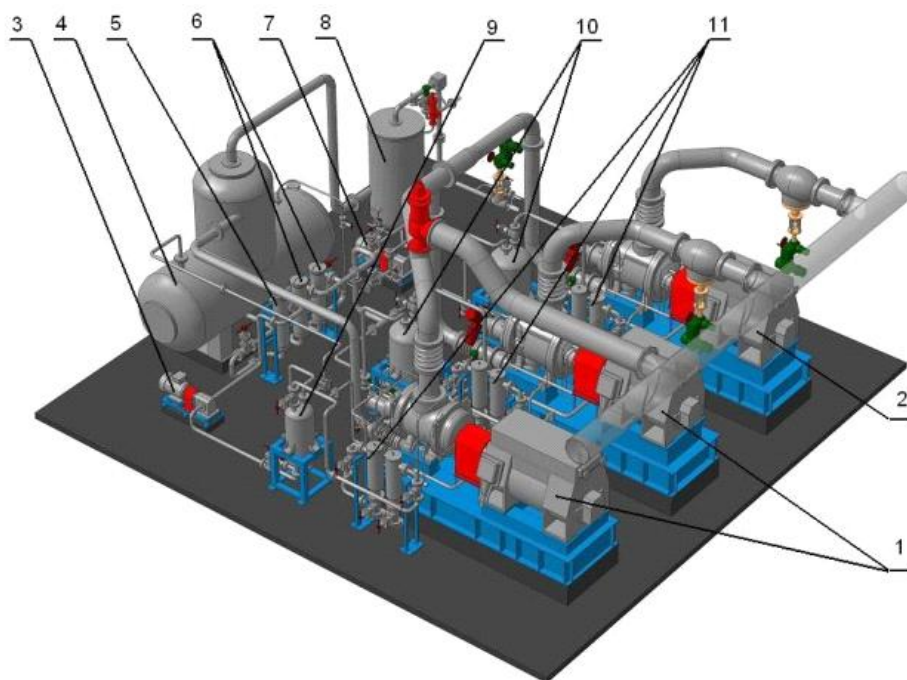
Характеристика	«Каскад-110/30»
Объёмная производительность (при условии всасывания), м <sup>3</sup> /мин (м <sup>3</sup> /час)	110(6600)
Давление нагнетания, МПа	3
Давление всасывания, МПа	0,1
Количество компрессоров, шт.	
1 ступень	2
2 ступень	1
Диаметр роторов, мм	
1 ступень	315
2 ступень	250
Отношение длины нарезной части ротора к диаметру $L/D$	
1 ступень	1,5
2 ступень	1,35
Установленная мощность электродвигателей, кВт	
1 ступень	2×400
2 ступень	800

Компрессорный агрегат «Каскад-110/30», как и «Каскад-80/25», выполнен в двухступенчатом варианте. Однако, в агрегате «Каскад-80/25» оба параллельно работающих компрессора первой ступени сжатия расположены на одной раме и приводятся в действие одним электродвигателем мощностью 0,8 МВт. Между собой компрессоры соединяются через зубчатую муфту, помещённую в герметичный кожух. Такая компоновка позволила значительно уменьшить габариты установки. В установке же «Каскад-110/30» первая ступень содержит два компрессора, каждый из которых размещается на отдельной раме и приводится в действие собственным электродвигателем мощностью 0,4 МВт.

Выполнение первой ступени в агрегате «Каскад-110/30» в виде двух отдельных блоков позволит избежать остановки всей компрессорной установки: на время устранения неполадок на одном из блоков первой ступени — второй блок находится в работе. И хотя при этом производительность всей установки уменьшается вдвое, имеется возможность поддерживать систему в работоспособном состоянии до устранения неполадок. Кроме того, данное решение позволяет в процессе работы в широком диапазоне варьировать производительностью установки.

Компрессоры «Каскад-110/30» будут оснащены золотниками, позволяющими регулировать производительность компрессора в пределах от 100 до 20 % от номинальной величины. Кроме того, пуск компрессора будет осуществляться при положении золотника, соответствующем минимальной производительности, что позволит проводить «разгруженный» пуск, уменьшая величины пусковых токов. Это даёт возможность выбирать менее мощную пусковую аппаратуру.





*Рис. 11.3.4. Общий вид установки компрессорной «Каскад-110/30»: 1. компрессоры первой ступени; 2. компрессоры второй ступени; 3. маслонасос; 4. маслобак; 5. маслоочистка второй ступени; 6. маслоочистка первой ступени; 7. маслонасос; 8. маслоотделитель; 9. маслоохладитель второй ступени; 10. маслоохладители первой ступени; 11. фильтры тонкой очистки*

Применение золотникового регулятора производительности позволит более плавно выходить на расчётный режим, что значительно упростит управление всей системой криогенного обеспечения, а также поддерживать производительность компрессора в необходимых пределах, не прибегая к байпасированию сжатого гелия, что снизит энергозатраты при работе компрессора на режимах, отличных от номинальных.

В установке «Каскад-80/25» маслоохладители выполнены в виде отдельного блока. Данный блок имеет значительные габариты. В схеме «Каскад-110/30» предполагается разместить маслоохладители для каждого компрессорного агрегата непосредственно на компрессорном блоке, что позволит уменьшить общие габариты установки.

По сравнению с установкой «Каскад-80/25» внесены изменения и в систему управления новой компрессорной установки. Система автоматизации «Каскад-110/30» строится на базе контроллера Contrologix фирмы «Allen Bradley». Данный контроллер объединяет в себе высокую надёжность и большие функциональные возможности, в частности позволяет при необходимости производить изменение настроек и алгоритма работы на работающей установке без остановки технологического процесса. Контроллер комплектуется графической промышленной цветной жидкокристаллической панелью оператора, которая обеспечивает высокую эффективность и функциональные возможности при управлении компрессором. АСУ ТП верхнего уровня по интерфейсу может

запрашивать и визуализировать в виде мнемосхем и таблиц всю необходимую информацию о работе установки.

Предусмотренные в конструкции компрессора «Каскад-110/30» специализированные датчики позволят отслеживать уровень вибрации компрессоров, а установка датчиков осевого сдвига роторов предупредит аварийные ситуации.

Компрессорная установка «Каскад-110/30» имеет «Сертификат соответствия» и «Разрешение на применение» данного вида оборудования.

### 11.3.3 Характеристики турбокомпрессора азотного АЭРОКОМ 2-197/18 УХЛ4

Технические характеристики:

Сжимаемая среда	азот
Объёмная производительность приведённая к начальным условиям, м <sup>3</sup> /мин	197
Давление начальное, кгс/см <sup>2</sup> (абс.)	1,04
Температура начальная, °С	30
Давление конечное, кгс/см <sup>2</sup> (абс.)	18
Температура конечная, °С	40
Мощность потребляемая, кВт	1542
Мощность привода, кВт	2000
Масса агрегата компрессорного, кг	26500

#### **Описание компрессорной установки**

Установка компрессорная представляет собой блочную установку, что значительно снижает затраты на монтажные и пусконаладочные работы.

Установка состоит из следующих основных частей: агрегата компрессорного, агрегата привода, фильтра газового, системы автоматизации.

Агрегат компрессорный выполнен моноблоком, в котором корпус компрессора, межступенчатые и концевой газоохладители, агрегат смазки, система уплотнения смонтированы на общей жёсткой раме, являющейся одновременно маслобаком.

Система смазки — циркуляционная, принудительная со свободным сливом масла в бак.

Корпус компрессора состоит из мультипликатора с закреплёнными на нем ступенями сжатия (компрессор). Компрессор содержит четыре ступени сжатия. Зубчатая передача мультипликатора состоит из зубчатого колеса и двух вал-шестерён, на концах которых консольно установлены рабочие колеса ступеней сжатия. Роторы с рабочими колёсами в процессе сборки подвергаются динамической балансировке. Опорами роторов служат подшипники скольжения.

Агрегат привода состоит из приводного электродвигателя, установленного на собственной раме. По валам электродвигатель и компрессор имеют механическую связь посредством дисковой муфты.

Для исключения попадания масла в полость сжатия компрессора применены сухие щелевые уплотнения с плавающими графитовыми кольцами. В качестве запирающего газа в период запуска используется воздух или азот от заказчика.

Система автоматизации, выполненная на базе микропроцессорного контроллера, обеспечивает автоматическое поддержание заданного конечного давления, а также надёжную защиту от виброперемещений (система вибромониторинга), защиту от помпажа.

Испытания установки проводятся на заводе-изготовителе.

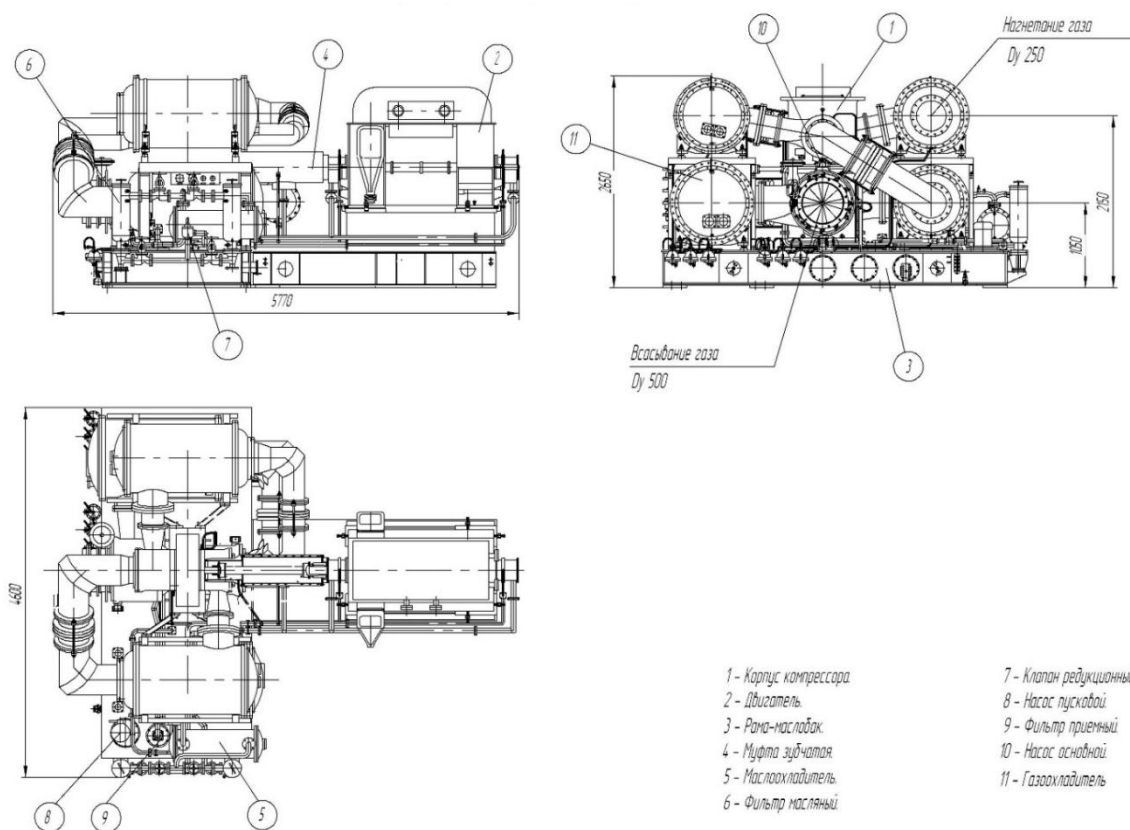


Рис. 11.3.5. Общий вид компрессора Аэроком 2-197/18 УХЛ4

### 11.3.4 Ожижитель азота ОА-1,3

#### Технические характеристики

Рабочее тело — азот ГОСТ 9293-74.

Основные технические характеристики ОА-1,3 приведены в Таблице 11.2.4.

Таблица 11.3.4. Технические характеристики ОА

Наименование показателя	Значение
Давление газообразного азота на входе в ОА, МПа	0,005 ± 0,002
Количество ожижаемого газообразного азота, нм <sup>3</sup> /ч, Точка росы газообразного азота на входе в ОА, °С, не выше	1150 ± 30 -80
Давление жидкого азота на выходе из ОА, Мпа	0,10,01
Потребляемая электроэнергия	
Для центробежного компрессора:	
– напряжение, В	6000 <sub>-300</sub>
– частота, Гц	501
– потребляемая мощность, кВт, не более	1300
Для всего остального:	
– напряжение, В	3N 220 <sub>-11</sub> /380 <sub>-19</sub>
– частота, Гц	50 1
– потребляемая мощность, кВт, не более	30

#### Описание ОА-1,3

Газообразный азот при давлении 0,005 МПа поступает через клапан КЭ101 в трубопровод низкого давления из воздухоразделительной установки «АСПЕН 1000» и затем на всасывание в центробежный компрессор КЦ101, где сжимается до 1,6 МПа. Затем после охлаждения в водяных холодильниках компрессора КЦ101, пройдя клапан К3102, поступает в теплообменник АТ101, где охлаждается до температуры 199 °К за счёт нагрева обратного потока азота низкого давления. После теплообменника АТ101 прямой поток разделяется на сжижаемый (13 %) и детандерный (87 %) потоки.

Детандерный поток, пройдя фильтр Ф501 и клапан КЭП502, поступает в первый турбодетандер ТД501, в котором расширяется до давления 0,8 МПа. Затем детандерный поток охлаждается в теплообменнике АТ203 и, пройдя фильтр Ф502, расширяется во втором турбодетандере ДТ502 до давления обратного потока 0,03 МПа и смешивается с обратным потоком, идущим из сепаратора С201.

Сжижаемый поток направляется в блок криогенный БК201, где охлаждается до температуры 88,1 °К последовательно в теплообменниках АТ202, АТ203 и АТ204 за счёт нагрева обратного потока. Проходит через фильтр отделитель ФО201, где фильтруется от твёрдых частиц, и после дросселирования в клапане КЭП203 подаётся в сепаратор С201, где происходит отделение жидкой фазы из парожидкостной смеси.

Жидкий азот сливается из сепаратора С201 через клапан КЭП204 потребителю. Газовая фаза (обратный поток) из сепаратора С201 проходит вентиль К3203, необходимый для поддержания избыточного давления 0,1 МПа в сепараторе С201, и после смешения с расширенным турбодетандерным потоком проходит последовательно теплообменники АТ204, АТ203, АТ202 и АТ101, где нагревается до температуры 292,4 °К, и после запорного вентиля К3102 смешивается с азотом из воздухоразделительной установки «АСПЕН 1000» и подаётся на всасывание в центробежный компрессор КЦ101.

Для подпитки компрессора КЦ101 азотом при его запуске предусмотрен мягкий газгольдер ГМ601, соединённый с всасывающим трубопроводом через клапан К3101. Сбросной клапан КЭ601 предназначен для сброса азота в атмосферу при переполнении мягкого газгольдера ГМ601.

Для сглаживания колебания давления во всасывающем и нагнетательном трубопроводах предусмотрен ресивер РС401, соединённый с нагнетательным трубопроводом через обратный клапан КО101 и с всасывающим трубопроводом через клапан КЭ102, открывающийся при уменьшении объёма мягкого газгольдера ГМ401 ниже нормы.

Для запуска компрессора КЦ101 предусмотрен байпасный клапан КЭ103, открывающийся при пуске и закрывающийся при выходе на режим.

Для наддува азотом кожуха КЖ201 блока криогенного БК201 используется клапан КЭМ201, при помощи которого по датчику давления ДД207 поддерживается давление в кожухе от 100 до 200 Па.

Сбросы от предохранительных клапанов и при продувках из блока криогенного БК201, турбодетандерного агрегата АТД501, выводятся в атмосферу.

Из операторной оператор при помощи АСУ ТП701 осуществляет управление процессом ожижения азота и подачу его потребителю.

### **Турбодетандерный агрегат**

Турбодетандерный агрегат АТД501 предназначен для получения холода за счёт расширения в АТД501 с отдачей внешней работы.

Турбодетандерный агрегат АТД501 состоит из двух турбодетандеров 1 и 2-ой ступени ТД501 и ТД502 с заданными техническими характеристиками, (агрегата) системы смазки АС501, трубопроводов подачи и приёма потоков газа, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, фильтров, контрольно-измерительных приборов.

Турбодетандеры 1 и 2-ой ступеней ТД501 и ТД502 представляют собой центростремительную турбину. Поступающий в корпус турбодетандера азот проходит через направляющий аппарат и, приобретая высокую скорость, попадает на лопатки радиально-осевого рабочего колеса. Двигаясь к центру колеса, газ вращает его, совершая при этом работу за счёт внутренней энергии, и при этом охлаждается. Колесо закреплено на консоли рабочего вала, вращающегося в гидродинамических подшипниках. Развиваемая турбодетандером мощность расходуется на нагрев масла в подшипниках и гидравлическом масляном тормозе. Изменение тормозной мощности производится за счёт изменения давления и, соответственно, количества подаваемого масла в гидравлический тормоз.

Для уменьшения утечек рабочего газа и предотвращения попадания масла из подшипников в газ на валу имеется лабиринтное уплотнение, в среднюю часть которого подаётся уплотняющий газ. Регулирование давления азота наддува для каждого турбодетандера производится клапанами КЭП501 и КЭП503, соответственно.

Для обеспечения снабжения турбодетандера маслом служит (агрегат смазки АС501) маслоагрегат, состоящий из масляного бака, (двух) маслонасоса (ов) с приводным электродвигателем, охладителя масла ОХМ501, фильтра тонкой очистки масла, байпасного клапана КЭП551, трубопроводов и вспомогательной арматуры. Масло к подшипникам и тормозу подаётся лопастным или шестерёнчатым насосом. После насоса масло подаётся в охладитель масла ОХМ501.

Требуемое давление в маслосистеме устанавливается изменением пропускной способности (степени открытия) байпасного клапана КЭП551. Отработанное нагретое от трения при вращении вала в подшипниках и тормозе масло самотёком сливается из турбодетандера в маслобак по сливному трубопроводу.

Регулирование чисел оборотов ТД501 и ТД502 производится регулированием давления масла в масляном тормозе каждого турбодетандера клапанами КЭП552 и КЭП553, соответственно.

Турбодетандерный агрегат АТД501 оснащён автоматической запорно-регулирующей арматурой и необходимыми датчиками давления, датчиками температуры, датчиками скорости вращения роторов турбодетандеров и датчиками их вибрации с унифицированными выходными сигналами.

Управление турбодетандерным агрегатом осуществляется при помощи автоматизированной системы управления АСУ ТП701 по разработанным алгоритмам в автоматическом или, по командам оператора, в ручном режимах, в АСУ ТП701 также реализована система защиты турбодетандерного агрегата при превышении максимальных значений параметров его работы.

Защита и управление ТДА501 обеспечивается при помощи автоматизированной системы управления технологическими процессами ожижителя азота АСУТП701, которая осуществляет:

- контроль параметров работы турбодетандеров (ТД501 и ТД502);
- предаварийную сигнализацию (с индикацией параметра);
- аварийную остановку при выходе эксплуатационных параметров за допустимые значения;
- индикацию в цифровом или аналоговом виде параметров работы ТД501 и ТД502.

Предаварийная сигнализация включается при выходе контролируемых параметров за допустимый диапазон.

При выходе контролируемых параметров за допустимые пределы сигнал от АСУ ТП701 останавливает ТД501 и ТД502.

Последующий пуск ТД501 и ТД502 возможен только после устранения неисправностей, вызвавших срабатывание системы защиты.

### **Блок криогенный**

Блок криогенный БК201 предназначен для сжижения азота и слива потребителю.

Блок криогенный БК201 состоит из кожуха КЖ201, в котором расположены:

- теплообменник основной АТ202, предназначенный для охлаждения ожижаемого потока азота за счёт нагрева обратного потока азота, выходящего из сепаратора С201 и расширенного в турбодетандере ТД501 турбодетандерного потока;
- трёхпоточный теплообменник АТ203, предназначенный для охлаждения ожижаемого потока азота и турбодетандерного потока за счёт нагрева обратного потока азота, выходящего из сепаратора С201 и расширенного в турбодетандере ТД501 турбодетандерного потока;
- теплообменник АТ204, предназначенный для охлаждения ожижаемого потока азота за счёт нагрева обратного потока азота, выходящего из сепаратора С201 и расширенного в турбодетандере ТД501 турбодетандерного потока;
- фильтр-отделитель ФО201, предназначенный для отделения твёрдых частиц;
- сепаратор С201, предназначенный для отделения жидкого азота от газообразного азота;
- клапан КЭП203, предназначенный для дросселирования ожижаемого потока и поддержания температуры перед клапаном КЭП103 по датчику температуры ДТ202 за счёт изменения расхода через клапан;

- клапан КЭП204, предназначенный для слива жидкого потребителю и поддержания уровня в сепараторе С201 в рабочем диапазоне от 750 мм до 850 мм столба жидкости по датчику уровня ДУ201.

### **Теплообменники**

Теплообменники АТ101, АТ203 и АТ204 представляют собой витые многослойные поперечноточные, аппараты из труб, оребрѐнных проволокой, со статистически однородной компактной структурой.

Контакт проволоки с трубой обеспечивается за счёт усилия натяжения при навивке проволоки на трубу (пайка или сварка не требуются).

Оребрѐнные проволокой трубы навиты в одном направлении на цилиндрический сердечник и образуют намотку, которая заключена в обечайку. Концы труб заделаны в трубные решѐтки.

Теплообменник АТ202 — гладкотрубный с шахматным расположением труб.

Во всех теплообменниках по трубам проходят прямые потоки, а в межтрубном пространстве обратный поток ПГ низкого давления.

### **Сепаратор С201**

Сепаратор С201 предназначен для отделения жидкого азота из парожидкостной смеси после дросселирования в дроссельном вентиле КЭП203.

Сепаратор С201 представляет собой вертикальный металлический сосуд диаметром 700 мм и высотой 1700 мм.

В нижней части сепаратора С201 установлена сетка, предназначенная для успокоения поверхности жидкости и уменьшения уноса жидкого азота.

После дросселирования азота в дроссельном вентиле КЭП203 парожидкостная смесь поступает в середину сепаратора С201. В потоке парожидкостной смеси за счёт уменьшения скорости и под действием силы тяжести основная часть жидкости оседает вниз. Жидкость выводится через штуцер диаметром 50 мм из сепаратора, а пары отводятся в обратный поток через штуцер диаметром 80 мм.

Высота столба жидкости  $800 \pm 50$  мм. Объём накопленной жидкости  $0,308 \pm 0,02$  м<sup>3</sup>.



## **Фильтры**

Фильтры Ф501 и Ф502 предназначены для фильтрации твёрдых частиц проходящего через него азота и защиты турбодетандеров.

Фильтры Ф501 и Ф502 состоят из разборного металлического корпуса, внутри которого находится фильтрующая вставка, состоящая из двух слоёв прочной сетки, между которыми расположены три слоя сетки 0040-03X18H10T-ВИ ТУ 4-14-507-74, на последних оседают твёрдые частицы из проходящего через них азота. Фильтрующая вставка может быть удалена из фильтра и очищена от задержанных частиц.

Фильтр-отделитель ФО201 блока криогенного БК201 предназначен для фильтрации твёрдых частиц проходящего через него азота и предотвращения забивки дроссельного вентиля КЭП203.

Фильтр-отделитель ФО201 состоит из неразборного металлического корпуса, внутри которого находится фильтрующая вставка, состоящая из двух слоёв прочной сетки, между которыми расположены три слоя сетки 0040-03X18H10T-ВИ ТУ 4-14-507-74, на последних оседают твёрдые частицы из проходящего азота. Фильтр-отделитель окружён змеевиком, по которому при отоплении через КОТ202 подаётся тёплый азот. В конце отогрева фильтр-отделитель должен быть продут через клапан КПР201 для выноса из него жидких или твёрдых частиц.

## **Операторная**

### **Описание АСУ ТП**

При помощи автоматической системы управления технологическими процессами АСУ ТП701, установленной в операторной, оператор осуществляет управление и контроль над процессами, как в ручном, так и в автоматическом режимах:

- сжатия азота в КЦ101;
- охлаждения азота в АТ101, АТ202-АТ204;
- расширения азота в ТД501 и ТД502;
- сжижения азота в БК201 и слив жидкого азота потребителю.

Исходя из выполняемых функций, в составе системы выделяются следующие уровни иерархии, которые располагаются в следующем порядке:

- уровень (верхний) оперативно-производственной службы (ОПС);
- уровень (нижний) средств контроля и автоматического управления.

На уровне оперативно-производственной службы оперативно-технологическим персоналом (ОТП) с использованием аппаратно-программных средств АСУ ТП осуществляется оперативный контроль

текущего состояния, режимами работы основных и вспомогательных объектов, выработка заданий по изменению режимов работы технологического оборудования, выдача уставок по регулированию технологических параметров, логическое и дистанционное управление, защита оборудования при нарушениях технологических режимов и возникновении предаварийных и аварийных ситуаций.

На данном уровне так же производится конфигурирование контроллера и рабочего места оператора, диагностика состояний датчиков.

На уровне средств контроля и автоматического управления объектов ОА-1,3 с использованием аппаратно-программных средств АСУ ТП осуществляется автоматический контроль, регулирование и управление технологическими процессами, поддержание заданных режимов работы и противоаварийная автоматическая защита технологического оборудования, обмен информацией с операторской станцией.

### **Функции АСУ ТП**

АСУ ТП701 ОА-1,3 базируется на системе сетевого управления (ССУ), обеспечивающей выполнение следующих функций:

- централизованный контроль состояния объекта;
- сбор и первичная обработка технологической информации;
- предупредительная сигнализация при выходе технологических показателей за установленные границы и при обнаружении неисправностей в работе оборудования;
- регулирование параметров процесса по стандартным законам регулирования (ПИД);
- автоматическое определение коэффициентов ПИД-регуляторов;
- дистанционное управление процессом;
- обмен информацией и выдачу управляющих и информационных сигналов в АСУ ТП;
- визуализацию технологических параметров в различных экранных формах на станции оператора (графические панели, группы трендов, группы управления и т.д.);
- формирование журнала действий эксплуатационного персонала;
- формирование отчётных и режимных листов о производственной деятельности;
- хранение и отображение назначенной исторической (архивной) информации;
- защита баз данных и программного обеспечения от несанкционированного доступа и от сбоя одного из контроллеров;
- автоматический или автоматизированный (в случаях, когда требуется принятие решений или выполнение действий со стороны оперативного персонала) перевод технологического оборудования в безопасное состояние при возникновении аварийных ситуаций;

- формирование журнала отчётности по аварийным сообщениям и срабатыванию блокировок.

### **Состав АСУ ТП**

Для управления технологическими процессами ОА-1,3 предназначены:

- выделенная станция инженера/оператора управления ОА-1,3;
- выделенный шкаф управления станцией ОА-1,3.

Они включают в себя две подсистемы, одна для работы с криогенным оборудованием, а другая для работы с турбодетандерами.

Управление осуществляется из операторной, в которой расположены станция инженера/оператора, укомплектованная двумя дисплеями, и выделенный шкаф управления станцией.

### **Взаимодействие с другими системами**

Взаимодействие между выделенной станцией инженера/оператора и выделенного шкафа управления станцией, необходимо для получения, обработки и отображения информации о ходе технологических процессов, и выдачи управляющих сигналов. Обмен информацией осуществляется по информационной резервированной сети Ethernet, как между выделенной станцией инженера/оператора и выделенным шкафом управления станцией, так и с системой управления верхнего уровня.

### **Технологические расчёты**

Исходным давлением было принято давление, с которым подаётся азот от ВРУ «АСПЕН» 0,105 МПа (давление абсолютное здесь и далее), это же давление является и давлением всасывания в КЦ101.

Давление нагнетания после КЦ101 составляет 1,7 МПа.

Изоэнтروпийный КПД турбодетандеров был принят  $T_D = 0,75$ .

### **Блок криогенный**

Термодинамический расчёт блока криогенного БК201 проведён для расчётной схемы с двумя последовательными детандерами, показанной на Рис. 11.2.6, с использованием программы «Комфорт», разработанной ВНИИГАЗ.

Газ, содержащий 99,99 % азота, сжимается в компрессоре до давления 1,7 МПа охлаждается в предварительном теплообменнике АТ1 до температуры 199 °К. Далее часть потока ~ 83 % расширяется в детандере до температуры 172,9 °К и давления 0,9 МПа, охлаждается в

теплообменнике АТЗ, затем расширяется во втором детандере до давления 0,13 МПа, и смешивается с обратным потоком, охлаждает прямой поток в теплообменнике АТ4 до температуры 88,1 °К.

Прямой поток после теплообменника АТ1, проходит теплообменник АТ2, далее охлаждается в теплообменнике АТЗ и доохлаждается в теплообменнике АТ4 обратным потоком, дросселируется до давления 0,13 МПа, жидкость выводится из сепаратора, а пары проходят противотоком через теплообменник вместе с газом из детандера.

Точки, в которых определялись технологические параметры, показаны на Рис. 11.1.6.

Основные результаты расчёта приведены в Таблице 11.2.5.

Таблица 11.3.5. Технологические параметры схемы ожижителя азота ОА-1,3

Точка	$T$ , °К	$P$ , МПа	$G$ , кг/ч	$H$ , кДж/кг
1	294,1	0,10	13394	305,0
2	300	1,7	13394	307,5
3	199	1,68	13394	197,7
4	199	1,68	1741	197,7
5	199	1,68	11653	197,7
6	172,9	0,9	11653	173,4
7	173,8	1,66	1741	168,9
8	127,3	1,64	1741	111,2
10	88,1	1,62	1741	-99,7
11	83,6	0,2	1741	-99,7
12	83,6	0,2	1647	-109,9
13	83,6	0,2	93,8	82,05
14	127,1	0,88	11653	121,5
15	83,1	0,13	11653	83,3
16	83,1	0,13	11747	84,0
17	112	0,12	11747	115,5
22	168,9	0,11	11747	174,6
23	172,9	0,11	11747	178,8
24	292,4	0,1	11747	304,1
27	82,2	0,13	93,8	82,05

Где  $T$ ,  $P$ ,  $G$ ,  $H$  — температура, давление, массовый расход и энтальпия азота соответственно. Давление, указанное в Таблице 11.2.5, абсолютное.

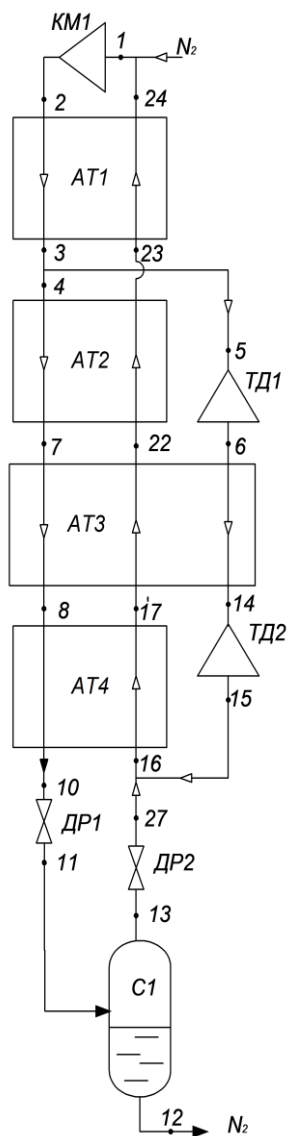


Рис. 11.3.6. Расчётная схема ожижения азота ОА-1,3: КМ1 — компрессор, ТД1, ТД2 — турбодетандеры, АТ1, АТ2, АТ4 — двухпоточные теплообменные аппараты, АТ3 — трёхпоточный теплообменный аппарат, ДР1, ДР2 — дроссельный вентиль, С1 — сепаратор

### Турбодетандерный агрегат

Исходные данные и результаты расчётов представлены в Таблице 11.2.6.

Таблица 11.3.6. Исходные данные и результаты расчётов ТД1 и ТД2

Наименование показателя	Значение	
	ТДА1	ТДА2
Расход азота, кг/ч	11650	11650
Давление на входе, МПа	1,7	0,88
Давление на выходе, МПа	0,9	0,13
Температура на входе, °K	199	127,1
Температура на выходе, °K	172,9	83,1
КПД адиабатический	0,75	0,75
Мощность, кВт	77,5	120
Диаметр колеса, мм	125	185
Частота вращения ротора, об/мин	25300	21300

Давление, указанное в Таблице 11.2.6, абсолютное.

### Теплообменники

Тепловой, гидравлический и конструктивный расчёт теплообменников: АТ1, АТ2, АТ3 и АТ4 проводился по РД 26-04-4-87.

Результаты расчёта приведены в Таблице 11.2.7.

Таблица 11.3.7. Параметры теплообменников

Наименование параметра	Теплообменник						
	АТ1	АТ2	АТ3	АТ4			
Диаметр сердечника, мм	Значение						
	205	200	200	205			
Диаметр обечайки наружный, мм	1200	700	1200	700			
Диаметр трубы, мм	8 × 1	10 × 1	8 × 1	8 × 1			
Диаметр проволоки, мм	1,5	–	1,5	1,5			
Количество труб потоков, шт.:	Прямой	Турбодетандерный	Число слоёв	613	91	124	91
				–	–	613	–
				56	28	56	28
Высота намотки, мм	780	280	540	450			
Длина теплообменника, мм	2000	900	1800	1100			
Масса намотки, кг	2420	163	1910	509			
Масса теплообменника, кг	3500	500	2500	1000			

### Фильтры

Расчёт фильтров Ф501, Ф502 и фильтра-отделителя Ф0201 сводился к расчёту потерь давления при прохождении ПГ.

Таблица 11.3.8. Параметры фильтров

Фильтр	Ф0201	Ф501	Ф502
$T, ^\circ\text{K}$	88	199	127
$P, \text{МПа}$	1,62	1,7	0,88
$G, \text{кг/ч}$	1741	11650	11650
$\rho, \text{кг/м}^3$	769,1	29,52	25,7
$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$1046\cdot 10^{-7}$	$132\cdot 10^{-7}$	$90,6\cdot 10^{-7}$
$F, \text{м}^2$	$88\cdot 10^{-4}$	$615\cdot 10^{-4}$	$615\cdot 10^{-4}$
Номер сетки №	0040	0040	0040
Число слоёв, шт.	3	3	3
$\Delta P, \text{Па}$	99	927,8	941,5

### Сепаратор

Расчёт сепаратора С1 сводился к определению его геометрических характеристик: диаметра и высоты, исходя из допустимых потерь уноса капель жидкости, менее 0,4 %.

Таблица 11.3.9. Параметры сепаратора

Диаметр	Высота	Высота столба жидкости	Объём накопленной жидкости	Пеногаситель-сетка	Входной патрубок	Высота ввода входного патрубка над пеногасителем
$D$ , м	$H$ , м	$h$ , мм	$V$ , м <sup>3</sup>	–	$d_{вх}$ , мм	$h_{вв}$ , мм
0,7	1,7	800	0,285	2-05-020	70 × 2	185

## 11.4 САТЕЛЛИТНЫЕ ГЕЛИЕВЫЕ РЕФРИЖЕРАТОРЫ БУСТЕРА И КОЛЛАЙДЕРА

### 11.4.1 Назначение

Рефрижератор РГС-1600 предназначен для захолаживания и термостатирования сверхпроводящих магнитов Бустера и Коллайдера NICA. Для охлаждения Бустера требуется установка одного, а для охлаждения Коллайдера — двух рефрижераторов РГС-1600.

### 11.4.2 Характеристики рефрижератора

Холодопроизводительность на уровне 4,4 °К, Вт: 1600 ÷ 2000

Расход сжатого очищенного гелия, г/с: 100 ÷ 128

Давление прямого потока, МПа: 1,3

Расход жидкого гелия, г/с: 13

Расход жидкого азота в режиме захолаживания, кг/ч: 140

Примеси (азот + кислород) в сжатом гелии, ppm: 0,1

Расчётное давление прямого потока гелия, МПа: 3

Возможность подключения парожидкостного турбодетандера: предусмотрена.

### 11.4.3 Состав оборудования и описание работы рефрижератора

#### Охлаждение криостатов

Сжатый гелий с расходом 50 г/с охлаждается в теплообменнике ТА301 и азотной ванне ВА301 до 80 °К и захолаживает криостаты с магнитами до температуры 90 °К. По мере понижения температуры обратного потока из магнитов включается прямой поток гелия через СГ201 и ТА101 и поддерживается положительная температура обратного потока гелия на выходе из ТА101. Во втором этапе захолаживания в ёмкость СГ201 начинают подавать жидкий гелий из внешнего

хранилища, поддерживая заданную температуру потока на входе в магниты. При достижении температуры магнитов 4,5 °K охлаждение заканчивается.

### Криостатирование

В период криостатирования сателлитный рефрижератор должен подавать гелий в криостат магнита с заданными давлением, около 0,18 МПа (абс.), и температурой (4,5 °K). С этой целью автоматически поддерживаются: давление в змеевике после дроссельного вентиля и уровень жидкого гелия в ёмкости. В дальнейшем однофазный поток поступает в криостат магнита, а двухфазный поток — возвращается из криостатов в ёмкость СГ201, где паровая фаза отделяется и поступает в обратный поток теплообменников, а жидкая — на охлаждение прямого потока. Так же в этот период продолжается подпитка азотного экрана из азотной ванны.

Управление установкой осуществляется автоматически. Параметры контролируются на мониторе оператора и архивируются по необходимости. Контролируются давления, температуры, уровни жидких крио-агентов и расходы потоков по согласованному списку. Аппаратура системы управления располагается в отдельном помещении.

Сателлит состоит из трёх основных блоков, щитов управления с «тёплой» арматурой и вспомогательным оборудованием.

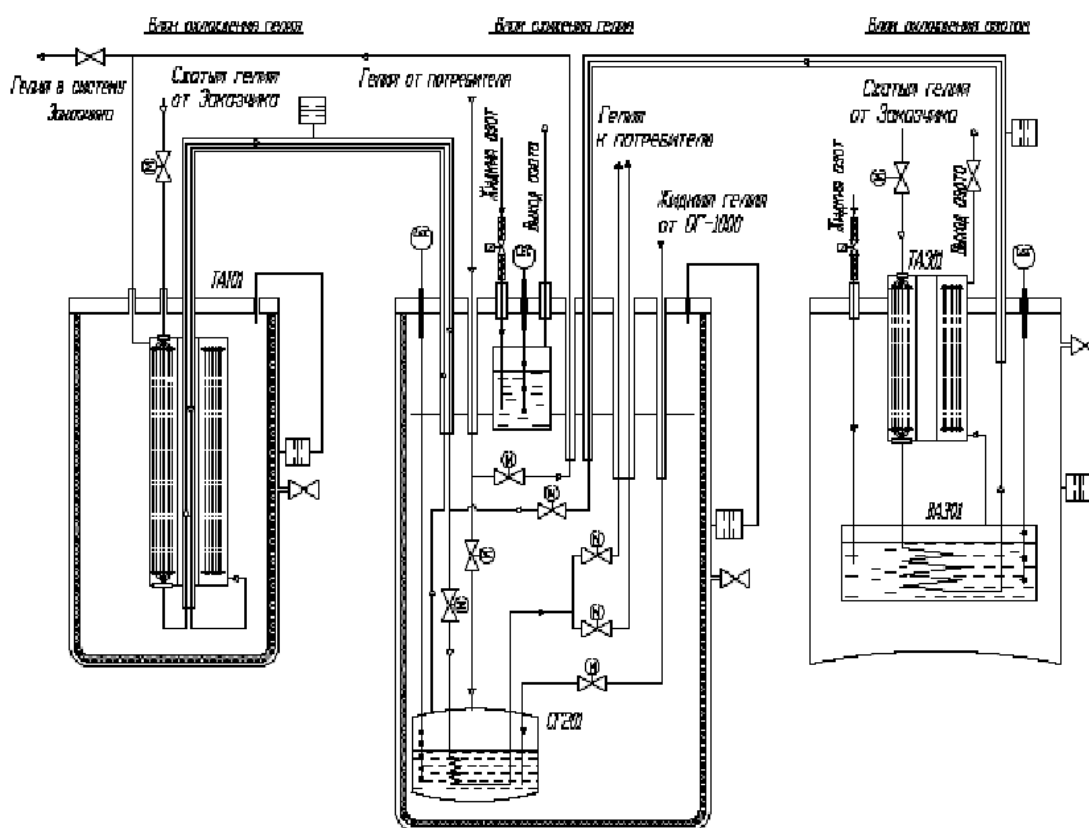


Рис. 11.4.1. Технологическая схема рефрижератора



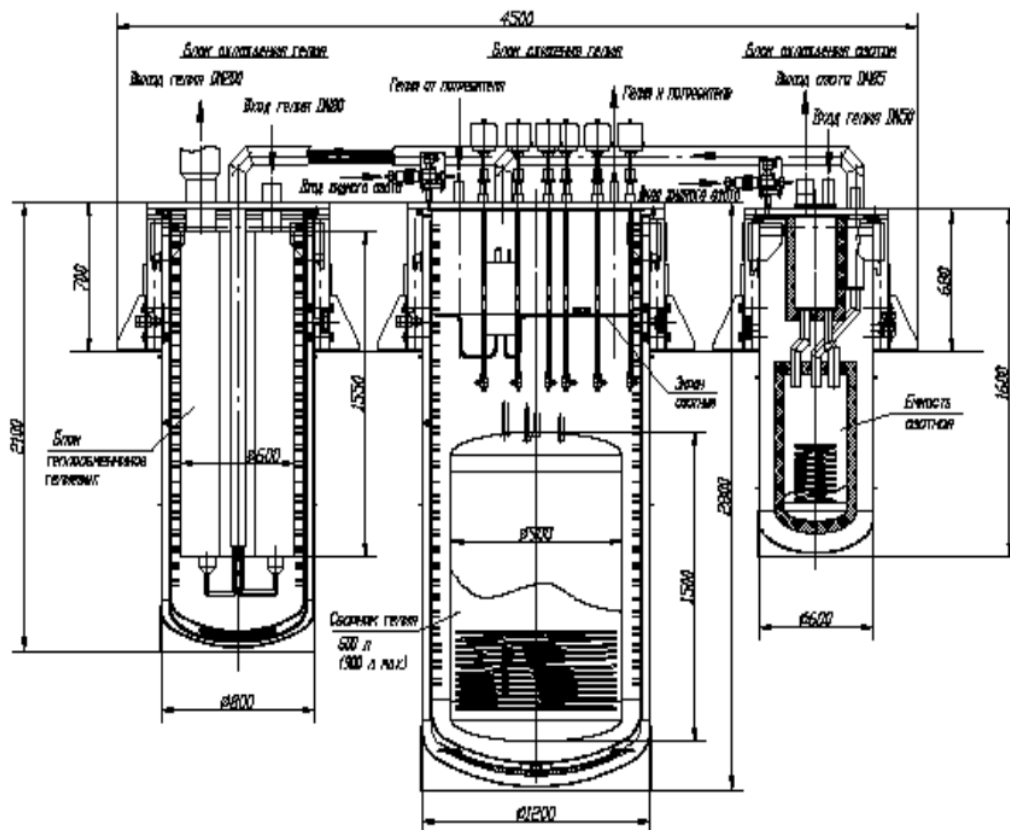


Рис. 11.4.2. Общий вид рефрижератора

### Состав оборудования

1. Блок охлаждения азотом, в составе:
  - Теплообменник гелий-азот,
  - Ёмкость азотная,
  - Змеевик азотной ванны,
  - Кожух теплоизолированный с крышкой,
  - Рама монтажная и трубопроводы,
  - Датчики, клапаны и предохранительные устройства;
2. Блок охлаждения гелия, в составе:
  - Теплообменник гелий-гелий,
  - Кожух теплоизолированный с крышкой,
  - Рама монтажная и трубопроводы,
  - Датчики, клапаны и предохранительные устройства;
3. Блок сжижения гелия, в составе:
  - Змеевик переохладителя гелия,
  - Сосуд гелиевый,
  - Экран азотный,

- Кожух теплоизолированный с крышкой,
  - Рама монтажная и трубопроводы,
  - Датчики, клапаны и предохранительные устройства;
4. Трубопроводы криогенные с предохранительными устройствами;
  5. Щит вакуумного оборудования и арматуры, в составе:
    - Механический вакуум-насос,
    - Агрегат вакуумный диффузионный,
    - Монтажный каркас с обшивкой,
    - Датчики, клапаны и предохранительные устройства;
  6. Щит измерения уровней азота и гелия, в составе:
    - Монтажный каркас с обшивкой,
  7. Датчики, клапаны и предохранительные устройства;
  8. Система автоматического управления сателлитным рефрижератором;
  9. Нагреватель гелия;
  10. Пусковой адсорбер и фильтр (необходимость применения уточняется при проектировании).

## 11.5 СИСТЕМА ОЖИЖЕНИЯ И РЕКОНДЕНСАЦИИ АЗОТА

### 11.5.1 Введение

Эскизный проект выполнен по техническому заданию на разработку «Система азотного обеспечения СА NICA», согласованному с главным инженером лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ и в соответствии с «Правилами безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха (ПБ 11-544-03)».

### 11.5.2 Наименование и область применения

Система азотного обеспечения СА NICA (далее СА) предназначена для снабжения потребителей жидким азотом, сжижения газообразного азота, испаряемого у потребителей, и слива жидкого азота в криогенные ёмкости. Область применения СА — криогенная техника.

### 11.5.3 Технические характеристики

#### **Основные технические характеристики СА**

Производительность по жидкому азоту при работе оживителя азота и двух реконденсаторов — не менее 2300 кг/ч.

В качестве циркуляционного потока используется поток азота в количестве  $(23000 \pm 360)$  м<sup>3</sup>/ч  $(27000 \pm 500)$  кг/ч при давлении на входе в блок компрессоров 0,104 МПа (абс.), очищенный от воды и др. примесей.

Количество хранимого жидкого азота — не менее 60000 кг.

Количество газообразного азота хранимого в блоке ресиверов — не менее 1400 кг.

Объём газгольдеров мягких — 400 м<sup>3</sup>.

Из азотной системы азот возвращается на реконденсацию с параметрами:

- при температуре 300 °К под давлением (101,5 ± 0,5) кПа абс.;
- при температуре 81 °К под давлением (125 ± 5) кПа абс.

Регламент работы:

- нормальный регламент работы — непрерывно по 24 ч в сутки;
- время непрерывной работы — не менее 4360 ч.

Допускается остановка на регламентные работы на 8 часов.

Размещение оборудования в обогреваемом помещении с температурой от +10 до +30 °С.

## **Описание СА**

### **Принцип работы СА**

Первоначально жидкий азот заливается в три криогенные ёмкости ЕК121, ЕК321 и ЕК621 от внешнего источника.

Жидкий азот из криогенной ёмкости ЕК121 после прохождения клапана КЭ122 поступает в блок насосов БН131. При включённом в процесс криогенном насосе НА131 жидкий азот поступает через клапан КЭ131 на всасывание насоса криогенного азотного НА131 и после прохождения клапана КЭ132 поступает в нагнетательный трубопровод ТР1107. При включённом в процесс криогенном насосе НА132 жидкий азот поступает через клапан КЭ133 на всасывание насоса криогенного азотного НА132 и после прохождения клапана КЭ134 поступает в нагнетательный трубопровод ТР1107. По нагнетательному трубопроводу ТР1107 жидкий азот подаётся потребителям: в азотную ванну АВОГ141, в азотную ванну АВКУ151 и в азотную ванну АВКУ161.

После испарения жидкого азота в азотных ваннах потребителей газообразный азот, нагретый в рекуперативных теплообменниках до температуры близкой к температуре окружающей среды, поступает в трубопровод низкого давления ТР1112.

Жидкий азот из криогенной ёмкости ЕК321 после прохождения клапана КЭ322 поступает в блок насосов БН331. При включённом в процесс криогенном насосе НА331 жидкий азот поступает через

клапан КЭ331 на всасывание насоса криогенного азотного НА331 и после прохождения клапана КЭ332 поступает в нагнетательный трубопровод ТР1102. При включённом в процесс криогенном насосе НА332 жидкий азот поступает через клапан КЭ333 на всасывание насоса криогенного азотного НА332 и после прохождения клапана КЭ334 поступает в нагнетательный трубопровод ТР1103. По нагнетательному трубопроводу жидкий азот поступает к потребителям: в азотную ванну АВРГ341 или в азотные экраны Коллайдера АЭК351.

По датчику уровня ДУ341 с помощью клапана КЭ341 поддерживается постоянный уровень жидкого азота в азотной ванне АВРГ341.

Клапаном КЭ351 поддерживается постоянная температура 79 °К по датчику температуры ДТ351.

После испарения жидкого азота у потребителей газообразный азот, поступает по трубопроводу ТР1201 в реконденсатор азота РА301. Нагревается в рекуперативных теплообменниках реконденсатора азота РА301 до температуры близкой к температуре окружающей среды и поступает в трубопровод низкого давления ТР1093.

Жидкий азот из криогенной ёмкости ЕК621 после прохождения клапана КЭ622 поступает в блок насосов БН631. При включённом в процесс криогенном насосе НА631 жидкий азот поступает через клапан КЭ631 на всасывание насоса криогенного азотного НА631 и после прохождения клапана КЭ632 поступает в нагнетательный трубопровод ТР1110. При включённом в процесс криогенном насосе НА632 жидкий азот поступает через клапан КЭ633 на всасывание насоса криогенного азотного НА632 и после прохождения клапана КЭ634 поступает в нагнетательный трубопровод ТР1110. По нагнетательному трубопроводу жидкий азот поступает к потребителям: в азотную ванну АВРГ641 или в азотные экраны Бустера АЭБ651, или азотные экраны Нуклотрона АЭН652.

По датчику уровня ДУ641 с помощью клапана КЭ641 поддерживается постоянный уровень жидкого азота в азотной ванне АВРГ641.

Клапаном КЭ651 поддерживается постоянная температура 79 °К по датчику температуры ДТ651.

Клапаном КЭ652 поддерживается постоянная температура 79 °К по датчику температуры ДТ652.

После испарения жидкого азота у потребителей газообразный азот, поступает по трубопроводам ТР1202 и ТР1203 в реконденсатор азота РА601. Нагревается в рекуперативных теплообменниках реконденсатора азота РА601 до температуры близкой к температуре окружающей среды и поступает в трубопровод низкого давления ТР1093.

По трубопроводу низкого давления ТР 1093 обратный поток газообразного азота поступает на всасывание в центробежные компрессора КЦ701, КЦ702 и КЦ703.

На трубопроводе низкого давления установлены два мягких газгольдера ГМ701 и ГМ702, служащие для обеспечения гарантированного небольшого избыточного давления во всасывающем трубопроводе ТР1093.

Для уменьшения колебаний давления в прямом потоке сжатого азота при переходных режимах и подпитки обратного потока азота низкого давления предусмотрены ресиверы среднего давления РС401-РС405.

Измерение давления азота во всасывающем трубопроводе ТР1112 производится датчиком давления ДД703. При снижении давления всасывания ниже  $P_{\min}$  открывается клапан КЭ702 и производится подпитка обратного потока из ресиверов РС401, РС402 и РС403.

При снижении давления в ресиверах РС401, РС402 и РС403 ниже допустимого клапан КЭ702 закрывается и дальнейшая подпитка осуществляется из ресиверов РС404 и РС405 через клапан КЭ802 по датчику давления ДД802.

При повышении давления выше  $P_{\max}$  в трубопроводе ТР1112 системой управления даётся команда на открытие клапана КЭ703.

При снижении давления ниже установленного клапан КЭ703 закрывается. При снижении давления в ресиверах РС404 и РС405 по датчику давления ниже 0,4 МПа должна включаться азотная установка АУТ 801 для подачи азота и увеличения давления в ресиверах РС404 и РС405 и компенсации потерь азота.

Закачка излишков сжатого азота из прямого потока в ресиверы РС401, РС402 и РС403 производится через клапан КЭ701.

Для защиты мягких газгольдеров ГМ701 и ГМ702 от разрушения при их переполнении предусмотрены предохранительные клапаны КП701 и КП702.

После сжатия в центробежных компрессорах КЦ701-КЦ703 газообразный азот при давлении 1,6 МПа подаётся в реконденсаторы азота РА301 и РА601, и в ожижитель азота ОА101.

Из ожижителя азота ОА101 жидкий азот сливается в криогенную ёмкость ЕК121.

Из реконденсатора азота РА301 жидкий азот сливается в криогенную ёмкость ЕК321.

Из реконденсатора азота РА601 жидкий азот сливается в криогенную ёмкость ЕК621.

Для облегчения запуска компрессоров КЦ701-КЦ703 предусмотрен байпасный клапан КЭ704, открывающийся при пуске и закрывающийся при выходе на режим.

Перекачка жидкого азота из криогенной ёмкости ЕК121 в криогенную ёмкость ЕК321 может производиться через клапан КЭ122, блок насосов БН131 и клапан КЭ131 при открытом клапане КЭ135 по трубопроводу ТР1106.

Перекачка жидкого азота из криогенной ёмкости ЕК121 в криогенную ёмкость ЕК621 может производиться через клапан КЭ122, блок насосов БН131 и клапан КЭ132 при открытом клапане КЭ136 по трубопроводу ТР1111.

#### 11.5.4 Реконденсатор азота

##### **Назначение и принцип работы реконденсатора азота и его составных частей**

Реконденсаторы азота РА301, РА601 предназначены для сжижения азота испарившегося у потребителя и слива жидкого азота в криогенные ёмкости ЕК321 и ЕК621.

Далее процесс описан для реконденсатора азота РА301. Процесс ожижения азота в реконденсаторе РА601 аналогичен.

Прямой поток сжатого в компрессорах КЦ701-КЦ703 азота давлением 1,6 МПа входит в блок криогенный БК301, проходит фильтр Ф301, клапан К3301, и после теплообменника АТ301 разделяется на сжижаемый (~ 20 %) и детандерный (~ 80 %) потоки.

Детандерный поток, пройдя фильтр Ф501 и клапан КЭП501, поступает в турбодетандер ТД501, в котором расширяется до давления обратного потока 0,03 МПа и смешивается с обратным потоком, идущим из сепаратора С301.

Сжижаемый поток охлаждается до температуры 104,6 °К в теплообменнике АТ302 за счёт нагрева обратного потока. Проходит через фильтр-отделитель ФО301, где фильтруется от твёрдых частиц, и после дросселирования в клапане КЭ301 подаётся в сепаратор С301, где происходит отделение жидкой фазы из парожидкостной смеси.

Жидкий азот сливается из сепаратора С301 через клапан КЭ302 в криогенную ёмкость ЕК321.

Газовая фаза (обратный поток) из сепаратора С301 после смешивания с расширенным турбодетандерным потоком проходит последовательно теплообменники АТ302 и АТ301, где нагревается до температуры 295,7 °К, и после запорного вентиля К3302 подаётся на всасывание в центробежные компрессора КЦ701, КЦ702 и КЦ703.

Для наддува азотом кожуха КЖ301 блока криогенного БК301 используется клапан КЭМ301, при помощи которого по датчику давления ДД303 поддерживается давление в кожухе от 100 до 200 Па.

Сбросы от предохранительных клапанов и при продувках из блока криогенного БК301, турбодетандерного агрегата АД501, выводятся в атмосферу.

Из операторной оператор при помощи АСУ ТП901 осуществляет управление процессом ожижения азота и слива жидкого азота в криогенную ёмкость.

### **Турбодетандерный агрегат**

Турбодетандерный агрегат АД501 предназначен для получения холода за счёт расширения с отдачей внешней работы.

Турбодетандерный агрегат АД501 реконденсатора азота РА301 (или РА601) состоит из турбодетандера ТД501, маслоагрегата, трубопроводов подачи и приёма потоков газа, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, фильтров, контрольно-измерительных приборов.

Турбодетандер ТД501 представляет собой центростремительную турбину. Поступающий в корпус турбодетандера азот проходит через направляющий аппарат и, приобретая высокую скорость, попадает на лопатки радиально-осевого рабочего колеса. Двигаясь к центру колеса, газ вращает его, совершая при этом работу за счёт внутренней энергии, и при этом охлаждается. Колесо закреплено на консоли рабочего вала, вращающегося в гидродинамических подшипниках.

Развиваемая турбодетандером мощность расходуется на нагрев масла в подшипниках и гидравлическом масляном тормозе. Изменение тормозной мощности производится за счёт изменения давления клапаном КЭП552 и, соответственно, количества подаваемого масла в гидравлический тормоз.

Для уменьшения утечек рабочего газа и предотвращения попадания масла из подшипников в газ на валу имеется лабиринтное уплотнение, в среднюю часть которого подаётся уплотняющий газ. Регулирование давления азота наддува для турбодетандера производится клапаном КЭП502.

Для обеспечения снабжения турбодетандера маслом служит маслоагрегат, состоящий из: масляного бака, маслонасоса НМП551 с приводным электродвигателем, охладителя масла ОХМ551, фильтра тонкой очистки масла, байпасного клапана КЭП551, трубопроводов и вспомогательной арматуры. Масло к подшипникам и тормозу подаётся лопастным или шестерёнчатым насосом НМП551. После насоса масло подаётся в охладитель масла ОХМ551.

Требуемое давление в маслосистеме устанавливается изменением пропускной способности (степени открытия) байпасного клапана КЭП551. Отработанное нагретое от трения при вращении вала в подшипниках и тормозе масло самотёком сливается из турбодетандера в маслобак по сливному трубопроводу.

Регулирование чисел оборотов ТД501 производится регулированием давления масла в масляном тормозе турбодетандера клапаном КЭП552.

Турбодетандерный агрегат АТД501 оснащён автоматической запорно-регулирующей арматурой и необходимыми датчиками давления, датчиками температуры, датчиком скорости вращения ротора турбодетандера ТД501 и датчиками вибрации с унифицированными выходными сигналами.

Управление турбодетандерным агрегатом ТДА501 осуществляется при помощи автоматизированной системы управления АСУ ТП901 по разработанным алгоритмам в автоматическом или по командам оператора в ручном режимах. В АСУ ТП901 также реализована система защиты турбодетандерного агрегата при превышении максимальных значений параметров его работы.

Защита и управление ТД501 обеспечивается при помощи автоматизированной системы управления технологическими процессами АСУ ТП901 (первого уровня), которая осуществляет:

- контроль параметров работы непосредственно турбодетандера (ТД501);
- предаварийную сигнализацию (с индикацией параметра);
- аварийную остановку при выходе эксплуатационных параметров за допустимые значения;
- индикацию в цифровом или аналоговом виде параметров работы ТД501.

Предаварийная сигнализация включается при выходе контролируемых параметров за допустимый диапазон.

При выходе контролируемых параметров за допустимые пределы сигнал от АСУ ТП901 (первого уровня) останавливает ТД501.

Последующий пуск ТД501 возможен только после устранения неисправностей, вызвавших срабатывание системы защиты.

### **Блок криогенный**

Блок криогенный БК301 КВ 1037.02.06.000ВО предназначен для сжижения азота и слива в криогенную ёмкость.

Блок криогенный БК301 состоит из кожуха КЖ301, выполненного в виде обшитого листовым металлом коробчатого каркаса, в котором размещены:

- теплообменник основной АТ301 КВ 1037.02.01.000, предназначенный для охлаждения ожижаемого потока азота за счёт нагрева обратного потока азота, выходящего из сепаратора С301 и расширенного в турбодетандере ТД501 турбодетандерного потока;



- теплообменник АТ302 КВ 1037.02.02.000, предназначенный для охлаждения ожижаемого потока азота потока за счёт нагрева обратного потока азота, выходящего из сепаратора С301 и расширенного в турбодетандере ТД501 турбодетандерного потока;
- фильтр-отделитель ФО301, предназначенный для отделения
- твёрдых частиц;
- сепаратор С301, предназначенный для отделения жидкого азота от газообразного азота;
- клапан КЭ301, предназначенный для дросселирования ожижаемого потока и поддержания температуры после детандера по датчику температуры ДТ362 за счёт изменения расхода через клапан;
- клапан КЭ302, предназначенный для слива жидкого азота в криогенную ёмкость и поддержания уровня в сепараторе С301 в рабочем диапазоне от 700 мм до 800 мм столба жидкости по датчику уровня ДУ301.

### **Теплообменники**

Теплообменники АТ301 и АТ302 представляют собой витые многослойные поперечноточные аппараты из труб, оребренных проволокой, со статистически однородной компактной структурой.

Контакт проволоки с трубой обеспечивается за счёт усилия натяжения при навивке проволоки на трубу (пайка или сварка не требуются). Оребренных проволокой трубы навиты в одном направлении на цилиндрический сердечник и образуют намотку, которая заключена в обечайку. Концы труб заделаны в трубные решётки.

Во всех теплообменниках по трубам проходят прямые потоки, а в межтрубном пространстве обратный поток азота низкого давления.

### **Сепаратор С301**

Сепаратор С301 предназначен для отделения жидкого азота из парожидкостной смеси после дросселирования в дроссельном вентиле КЭ301.

Сепаратор С301 представляет собой вертикальный металлический сосуд диаметром 700 мм и высотой 1700 мм.

В нижней части сепаратора С301 установлена сетка, предназначенная для успокоения поверхности жидкости и уменьшения уноса жидкого азота.

После дросселирования азота в дроссельном вентиле КЭ301 парожидкостная смесь поступает в середину сепаратора С301. В потоке парожидкостной смеси за счёт уменьшения скорости и под действием силы тяжести основная часть жидкости оседает вниз. Жидкость выводится через штуцер

из сепаратора, а пары отводятся в обратный поток. Высота столба жидкости ( $750 \pm 50$ ) мм. Объем накопленной жидкости ( $0,30 \pm 0,02$ ) м<sup>3</sup>.

### **Фильтры**

Фильтр Ф501 предназначен для фильтрации твёрдых частиц проходящего через него азота и защиты турбодетандера.

Фильтры Ф301 и Ф501 состоят из разборного металлического корпуса, внутри которого находится фильтрующая вставка, состоящая из двух слоёв прочной сетки, между которыми расположены три слоя сетки 0040-03X18H10T-ВИ ТУ 14-4-507-99, на последних оседают твёрдые частицы из проходящего через них азота. Фильтрующая вставка может быть удалена из фильтра и очищена от задержанных частиц.

Фильтр-отделитель Ф0301 блока криогенного БК301 предназначен для фильтрации твёрдых частиц проходящего через него азота и предотвращения забивки дроссельного вентиля КЭ301.

Фильтр-отделитель Ф0301 состоит из неразборного металлического корпуса, внутри которого находится фильтрующая вставка, состоящая из двух слоёв прочной сетки, между которыми расположены три слоя сетки 0040-03X18H10T-ВИ ТУ 14-4-507-99, на последних оседают твёрдые частицы из проходящего азота. Фильтр-отделитель окружён змеевиком, по которому при отоплении через КОТ302 подаётся тёплый азот. В конце отогрева фильтр-отделитель должен быть продут через клапан КПр301 для выноса из него жидких или твёрдых частиц.

### **11.5.5 Ожижитель азота**

Ожижитель азота ОА101 предназначен для сжижения азота испарившегося у потребителя и слива жидкого азота в криогенную ёмкость.

Описания принципа действия и технические характеристики ожижителя азота ОА101 и его основных составных частей, включая автоматическую систему управления технологическими процессами АСУ ТП701 ОА-1,3, соответствуют приведённым в технической документации на «Ожижитель азота ОА-1,3 КВ 1572.00.000» (в т.ч. см. КВ 1572.00.000ПС, КВ 1572.00.000РЭ), ранее разработанный в ОАО «НПО «Гелиймаш» и применённый в настоящем проекте.

### **Ёмкость криогенная**

Ёмкости криогенные ЕК121, ЕК321 и ЕК621 (3 шт.) предназначены для приёма жидкого азота от стороннего источника (транспортной криогенной ёмкости или от источника жидкого азота, реконденсатора или ожижителя), хранения жидкого азота между рабочими компаниями и выдачу жидкого азота потребителю (через блок насосов или в транспортную криогенную ёмкость).

Ёмкость криогенная горизонтального исполнения с верхним расположением приёмного штуцера и нижним — штуцера выдачи жидкого азота.

Ёмкость криогенная состоит из:

- сосуда криогенного (СК121, СК321 и СК621), предназначенного для приёма, хранения и выдачи жидкого азота ( $V = 30 \text{ м}^3$ ;  $P_N = 0,6 \text{ МПа}$ );
- датчика уровня (ДУ121, ДУ321 и ДУ621);
- датчика давления (ДД121, ДД321 и ДД621);
- клапана предохранительного (КП121, КП321 и КП621);
- клапана обратного (ОК121, ОК321 и ОК621);
- клапана электрического (КЭ121, КЭ321 и КЭ621) для сброса давления из ёмкости;
- клапана электрического (КЭ122, КЭ322 и КЭ622) для выдачи жидкого азота из ёмкости;
- клапана электрического (КЭ123, КЭ323 и КЭ623) для подачи жидкого азота в испаритель.

Для обеспечения эффективной перекачки потребителю жидкого азота центробежными насосами из криогенной ёмкости последняя размещена на металлоконструкции высотой не менее 1 м относительно отметки пола.

#### 11.5.6 Блок насосов

Блоки насосов БН131, БН331 и БН631(3 шт.) предназначены для перекачки жидкого азота из криогенных ёмкостей потребителям.

Каждый из насосных блоков представляет собой центробежную насосную установку с условным обозначением ЦНУ-5/50, включающую:

- два электронасоса ТС-34 центробежных двухступенчатых бессальниковых (НА131 и НА132, НА331 и НА332, НА631 и НА632);
- клапаны электрические (КЭ131 и КЭ133, КЭ331 и КЭ333, КЭ631 и КЭ633) для подачи жидкого азота в насосы;
- клапаны электрические (КЭ132 и КЭ134, КЭ332 и КЭ334, КЭ632 и КЭ634) для выдачи жидкого азота из насосов.

Диапазон подач одного насоса —  $(1 \div 10) \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Избыточное давление рабочей среды на выходе из установки —  $(0,1 \div 0,6) \text{ МПа}$ .

Для создания некоторого подпорного давления на входе в центробежные насосы и обеспечения более эффективной перекачки заданного объёма жидкого азота из криогенной ёмкости

потребителю каждый из блоков насосов размещён с заглублением не менее 1 м относительно нулевой отметки пола.

Габаритные размеры установки, ориентировочно — 2 × 2 × 1,5 м.

Место размещения блока насосов оборудовано навесом для защиты от атмосферных осадков и оснащено грузоподъёмным устройством, грузоподъёмностью не менее 500 кг.

#### 11.5.7 Блок компрессоров

Для сжатия газообразного азота служат центробежные компрессоры (четырёхступенчатые) АЭРОКОМ, 2 шт., производительностью 11000 м<sup>3</sup>/ч каждый.

#### 11.5.8 Блок ресиверов

Ресиверы азотные вертикального типа Рв-20/3,5 РС401-РС405 (5 шт.), предназначены для приёма, накопления, хранения и выдачи газообразного азота при давлении близком к давлению прямого потока азота ~ 1,6 МПа, а также сглаживания колебаний давления прямого потока и подпитки линии обратного потока при запуске ожижителя азота и реконденсаторов азота.

Объём одного ресивера 20 м<sup>3</sup>. Наибольшее рабочее давление — 3,5 МПа.

Каждый из ресиверов снабжён датчиком давления (ДД401-ДД405) и клапаном предохранительным (КП401-КП405).

#### 11.5.9 Газгольдер мягкий

Газгольдеры мягкие ГМ701, ГМ702 (2 шт.) предназначены для сглаживания колебаний давления в трубопроводе обратного потока за счёт изменения объёма мягкого газгольдера. Максимальный объём одного мягкого газгольдера — не более 200 м<sup>3</sup>.

Газгольдеры ГМ701, ГМ702 оснащены предохранительными клапанами, соответственно КП701 и КП702. При превышении максимального объёма в одном или другом газгольдере срабатывает соответствующий предохранительный клапан КП701 или КП702.

#### 11.5.10 Установка азотная транспортабельная АдА-0,100Т

Установка азотная транспортабельная АдА-0,100Т предназначена для подпитки по мере необходимости дополнительным объёмом газообразного азота системы азотной СА в процессе эксплуатации последней.

Номинальная производительность установки по продуктовому газу (азоту) — не менее 150 м<sup>3</sup>/ч. Давление продуктового газа (азота) — (0,6 ÷ 0,8) МПа. Максимальная температура азота — не

более 45 °С. Потребляемая мощность установки — не более 73 кВт. Условия эксплуатации установки от –40 до +40 °С.

Габаритные размеры установки АУТ801 контейнерного типа (Н × L × В), мм, — (2895 × 6058 × 2438).

Подпитка азотом и компенсация его потерь в системе азотной СА обеспечивается установкой АУТ 801 путём предварительного заполнения требуемым объёмом газа и повышением давления внутри пары ресиверов Рв-20/3,5 (РС404 и РС405) из состава блока ресиверов по 4.7 и дальнейшего его использования в технологических процессах при различных вариантах функционирования СА.

#### 11.5.11 Система управления

Система азотного обеспечения (СА) вместе с восемью потребителями жидкого азота, подключение каждого из которых к ёмкостям криогенным СА осуществляется по мере необходимости, представляют собой сложный криогенный комплекс с переменной структурой.

Для решения задачи автоматизированного управления данным криогенным комплексом необходимо разработать и ввести в действие двухуровневую распределительную автоматизированную систему контроля и управления на базе современных высоконадёжных программно-технических средств (АСУ ТП СА).

АСУ ТП СА предназначена для автоматического контроля и регулирования технологических параметров в следующих основных технологических установках и системах:

- в ожижителе азота ОА101 (АСУ ТП ОА-1,3);
- в двух реконденсаторах азота РА301 и РА601 (АСУ ТП РА-0,5);
- в компрессорном отделении с тремя компрессорами КЦ701-КЦ703 и двумя газгольдерами ГМ1, ГМ2 (АСУ ТП БКГ-700);
- в трёх блоках центробежных насосов БН (АСУ ТП БН 131(331, 631));
- в системе хранения и выдачи жидкого азота потребителям ЕК (АСУ ТП ЕК 121(321, 621)).

Системы управления таких составных частей СА, как установок: ОА101, РА301 и РА601, БКГ-700, БН131(331 и 631), ЕК121(321 и 621) представляют собой автоматизированные системы управления технологическими процессами, находящиеся на нижнем уровне АСУ ТП СА и выполняющие следующие функции контроля и управления:

- сбор и первичная обработка информации;
- архивирование текущих технологических параметров;
- представление текущей информации оперативному персоналу и другим пользователям;
- технологическая сигнализация;

- архив тревог;
- документирование (отчёты, графики изменения параметров);
- дистанционное управление исполнительными механизмами арматуры, насосов;
- автоматическое регулирование;
- технологические защиты и блокировки;
- программно-логическое управление — автоматизированные пуск и останов технологического оборудования в режиме управления или совета;
- противоаварийную защиту технологического оборудования (ПАЗ).

Каждая из автоматизированных систем управления, перечисленных установок, содержит:

- выделенную станцию инженера/оператора;
- выделенный шкаф управления станцией.

Управление осуществляется из операторной, в которой расположены станция инженера/оператора, выполненная на базе персонального компьютера с подключёнными дисплеями, а также выделенный шкаф управления станцией, содержащий автономный дублированный сетевой контроллер, резервированные блоки питания 24 VDC, модули ввода/вывода и источник бесперебойного питания 220 VAC.

На верхнем уровне АСУ ТП СА осуществляется оперативно-диспетчерское управление СА:

- выдача управляющих и разрешающих сигналов на пуск и останов отдельных установок, выработка заданий на изменение режимов работы этих установок в соответствие с выбранной структурой потребителей жидкого азота для проведения конкретного эксперимента;
- получение сигналов о состоянии основных технологических агрегатов, техническая диагностика оборудования;
- представление информации оператору СА о состоянии установок, входящих в СА;
- противоаварийная защита СА.

На верхнем уровне АСУ ТП СА автоматизированное рабочее место оператора включает в себя выделенную станцию оператора и выделенный шкаф управления станцией. Выделенная станция оператора СА устанавливается на центральном посту управления СА и осуществляет обмен информацией с операторскими станциями отдельных установок. Для обмена информацией между станцией оператора верхнего уровня и станциями управления отдельными установками на них устанавливается пакет открытого интерфейса (например, OPC для Windows).

## 11.5.12 Технологические расчёты

### Исходные данные

При расчёте реконденсатора азота РА-0,5 давление всасывание в центробежные компрессора было принято давление 0,11 МПа (давление абсолютное здесь и далее).

Давление нагнетания после центробежных компрессоров принято — 1,7 МПа.

Изоэнтروпийный КПД турбодетандера принят  $\eta_{тд} = 0,70$ .

### Блок криогенный

Термодинамический расчёт блока криогенного реконденсатора азота проведён для расчётной схемы с одним турбодетандером с использованием программы «Комфорт», разработанной ВНИИГАЗ.

Азот сжимается в компрессоре КМ1 до давления 1,7 МПа, охлаждается в предварительном теплообменнике АТ1 до температуры 135 °К. Далее часть потока ~ 79 % расширяется в детандере до температуры 80 °К и давления 0,13 МПа и смешивается с обратным потоком, охлаждает прямой поток в теплообменнике АТ2 до температуры 104,6 °К.

Прямой поток после теплообменника АТ1, проходит теплообменник АТ2 охлаждается обратным потоком, дросселируется до давления 0,13 МПа, жидкость выводится из сепаратора, а пары проходят противотоком через теплообменник вместе с газом из детандера.

Точки, в которых определялись технологические параметры, показаны на Рис. 11.10. Основные результаты расчёта приведены в Таблице 11.4.1.

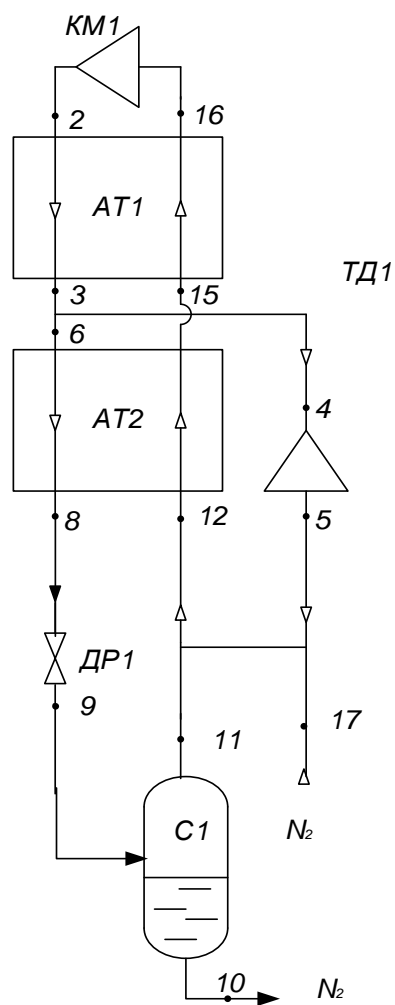


Рис. 11.5.1. Расчётная схема реконденсатора азота PA-0,5: KM1 — компрессор, TD1 — турбодетандер, AT1, AT2 — двухпоточные теплообменные аппараты, DR1 — дроссельный вентиль, C1 — сепаратор

Таблица 11.5.1. Технологические параметры схемы реконденсатора азота PA-0,5

Точка	$T$ , °K	$P$ , МПа	$G$ , кг/ч	$H$ , кДж/кг
2	300	1,7	4202	307,5
3	135	1,65	4202	121,5
4	135	1,65	3320	121,5
5	80,0	0,13	3320	79,94
6	135	1,65	882,3	121,5
8	104,6	1,62	882,3	-61,03
9	79,5	0,13	882,3	-61,03
10	79,5	0,13	625,5	-118,7
11	79,5	0,13	256,8	79,44
12	80,0	0,12	4202	80,08
15	116,0	0,12	4202	118,8
16	295,7	0,11	4202	306,7
17	81,0	0,12	625,5	81,29

Примечание. 1.  $T$ ,  $P$ ,  $G$ ,  $H$  — температура, давление, массовый расход и энтальпия азота соответственно. 2. Давление указано в Таблице 11.4.1 абсолютное.



### 11.5.13 Турбодетандерный агрегат

При расчёте параметров турбодетандера ТД1 использовалась программа для расчётов турбодетандера и турбокомпрессора, составленная по методике, разработанной под руководством д.т.н. А.Н. Шерстюка и с учётом рекомендаций д.т.н. В.И. Епифановой.

Исходные данные и результаты расчётов представлены в Таблице 11.4.2.

Таблица 11.5.2. Исходные данные и результаты расчётов ТД1

Наименование показателя	Значение
Рабочее тело	Азот
Расход, кг/ч	3320
Давление на входе, МПа абс.	1,65
Давление на выходе, МПа абс.	0,13
Температура на входе, °К	135
Температура на выходе, °К	79,6 (степень сухости 0,99)
Диаметр колеса, мм	95
Частота вращения ротора, об/мин	45300
Мощность, кВт	41,5
КПД, %	70

Примечание. Давление, указанное в Таблице 11.4.2, абсолютное.

### 11.5.14 Теплообменники

Тепловой, гидравлический и конструктивный расчёт теплообменников: АТ1 и АТ2 проводился по РД 26-04-4-87.

Результаты расчёта приведены в Таблице 11.4.3.

Таблица 11.5.3. Параметры теплообменников

Наименование параметра	Теплообменник	
	АТ1	АТ2
	Значение	
Диаметр сердечника, мм	200	200
Диаметр обечайки наружный, мм	740	545
Диаметр трубы, мм	8 × 1	8 × 1
Диаметр проволоки, мм	1,5	1,5
Количество труб потоков, шт.: Прямой	187	61
Число слоёв	30	19
Высота намотки, мм	960	350
Длина теплообменника, мм	1700	750
Масса намотки, кг	1220	225
Масса теплообменника, кг	1600	280
Потери давления по трубному пространству, МПа	0,07	0,008
Потери давления по межтрубному пространству, МПа	0,012	0,006

### 11.5.15 Фильтры

Расчёт фильтров Ф361 и фильтра-отделителя Ф0301 сводился к расчёту потерь давления при прохождении азота.

Таблица 11.5.4. Параметры фильтров

Фильтр	Ф0301	Ф361
$T, ^\circ\text{K}$	104,6	135
$P, \text{МПа}$	1,62	1,65
$G, \text{кг/ч}$	882,3	3320
$\rho, \text{кг/м}^3$	664,2	47,5
$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$	$666,1\cdot 10^{-7}$	$96,3\cdot 10^{-7}$
$F, \text{м}^2$	$88\cdot 10^{-4}$	$615\cdot 10^{-4}$
Номер сетки №	0040	0040
Число слоёв, шт.	3	3
$\Delta P, \text{Па}$	31	309

### 11.5.16 Сепаратор

Расчёт сепаратора С1 сводился к определению его геометрических характеристик: диаметра и высоты, исходя из допустимых потерь уноса капель жидкости, менее 0,4 %.

Таблица 11.5.5. Параметры сепаратора

Диаметр	Высота	Высота столба жидкости	Объём накопленной жидкости	Пеногаситель-сетка	Входной патрубок	Высота ввода входного патрубка над пеногасителем
$D, \text{м}$	$H, \text{м}$	$h, \text{мм}$	$V, \text{м}^3$	—	$d_{\text{вх}}, \text{мм}$	$h_{\text{вв}}, \text{мм}$
0,7	1,7	800	0,285	2-05-030	70 × 2	185

### 11.5.17 Организация работ

Опытный образец СА предназначен для сжижения газообразного азота и его слива в криогенные ёмкости потребителям.

Количество обслуживающего персонала при трёх сменной работе:

- начальник СА — 1 чел.;
- оператор — 3 чел.;
- механик (совместитель) — 2 чел.;
- компрессорщик (совместитель) — 3 чел.;
- дежурный электронщик (совместитель) — 1 чел.;
- дежурный электрик (совместитель) — 1 чел.

### 11.5.18 Обеспечение надёжности

Для обеспечения надёжности работы системы азотной предусмотрены следующие мероприятия:

- дублирования криогенных насосов;
- будет установлен резервный центробежный компрессор;
- криогенные ёмкости будут иметь не менее, чем суточный запас жидкого азота.

### 11.5.19 Ожидаемые технико-экономические показатели

Потребление электроэнергии — 3,2 МВт. Потребление технической воды для охлаждения оборудования — 270 м<sup>3</sup>/ч.

## 11.6 РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗООБРАЗНОГО И ЖИДКОГО ГЕЛИЯ

Для хранения гелия в жидком виде будет использоваться транспортный криогенный резервуар ёмкостью 40 м<sup>3</sup>. Ниже приведены характеристики и общий вид данного резервуара.

Характеристики цистерны ЦТГ40/0,45:

Объём гелиевого сосуда, м <sup>3</sup>	40
Масса заливаемого гелия, кг	4500
Испарение жидкого гелия, кг/ч (% за сутки), не более	1,13(0,54)
Бездренажное время удержания гелия, сут, не менее	30
Вместимость азотного сосуда, м <sup>3</sup>	1,5
Масса заливаемого азота, кг	1200
Испарение жидкого азота, кг/ч, не более	1,5
Время испарения всего азота, сут, не менее	33

Габаритные размеры, мм:

- ширина 2438
- длина 12192
- высота 2591

Масса, кг:

- заправленной цистерны 24200
- порожней цистерны 18500



Рис. 11.6.1. Общий вид транспортного резервуара 40 м<sup>3</sup>

В качестве буферных ёмкостей низкого давления на всасывании гелиевых компрессоров будут использованы газгольдеры из модифицированного уретана, либо полимера на основе винила. Ёмкость каждого газгольдера составит 100 м<sup>3</sup> (200 м<sup>3</sup> для азота). Количество данных газгольдеров — 2 шт. для гелия и 2 шт. для азота. Свойства материала, из которого выполняются газгольдеры, приведены ниже.

Таблица 11.6.1. Свойства материала мягкого газгольдера

Описание материала	Эластомерный сшитый материал на основе уретана с добавками для улучшения сопротивления химическому и погодному воздействию
Доступная толщина, дюйм	0,015, 0,030, 0,040
Твёрдость по шкале Шор А	75
Прочность на разрыв, фунт на кв. дюйм	2780 ÷ 4010
Относительное удлинение при разрыве, %	325
Паропроницаемость, куб. фут на 1000 кв. футов за 24 часа при 100 °F	0,097 для гелия

## 11.7 СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Создание охлаждающих систем оборотного водоснабжения для оборудования ускорительного комплекса NICA обусловлено двумя причинами:

1. невозможностью обеспечения надёжной, круглогодичной работы оборудования, требующего водяного охлаждения, с помощью имеющейся системы прямоточного водоснабжения:

В настоящее время охлаждение компрессорного оборудования центральной криогенной станции Нуклотрона (корпус № 1Б) и магнитов постоянного тока (корпус № 205) осуществляется с помощью системы прямоточного водоснабжения (однократное использование воды): охлаждающая вода забирается из естественного водоёма (реки), насосной станцией подаётся к потребителям, нагретая вода после использования сбрасывается в тот же водоём. В отдельные периоды года из-за малого количества воды в реке, грязной воды во время паводков и т.д., применение прямоточной системы водоснабжения становится невозможным, что приводит к простоям компрессорного оборудования центральной криогенной станции. В эти периоды невозможен не только запуск криогенной станции для охлаждения ускорителя, но и её запуск для ожижения гелия, выдачи его потребителю, подачи сжатого газообразного гелия на испытательный стенд СП магнитов ускорительного комплекса NICA. Создание системы оборотного водоснабжения (автономной замкнутой системы) может стать решением указанной проблемы.

2. увеличением количества оборудования, требующего водяного охлаждения, в ходе развития систем криогенного обеспечения ускорительного комплекса NICA:

Криогенная гелиевая система ускорительного комплекса NICA создается как результат модернизации существующего оборудования для криогенного обеспечения Нуклотрона. Одной из целей модернизации является увеличение холодопроизводительности системы от 4000 до 8000 Вт, что приводит к вводу в эксплуатацию новых рефрижераторов и ожижителя, а, следовательно, и гелиевого компрессорного оборудования, требующего водяного охлаждения. Кроме того, для ускорительного комплекса NICA создается криогенная азотная система, также включающая в себя компрессорное оборудование с водяным охлаждением. Новое гелиевое и азотное компрессорное оборудование будет располагаться в строящемся в настоящее время здании (корпус № 32).

Таким образом, чтобы обеспечить дальнейшую круглогодичную работу всего оборудования, требующего водяного охлаждения, на территории ЛФВЭ необходимо создать 3 системы оборотного водоснабжения (СОВ):

1. для имеющейся компрессорной станции Нуклотрона (4,4 МВт):

– винтовой компрессорный агрегат «Каскад-80/25»	2 × 1430 кВт
– поршневой компрессор 305НП-20/30	3 × 200 кВт
– поршневой компрессор 2ГМ4-12/31	4 × 160 кВт

2. для создаваемой компрессорной станции (корпус № 32) (7,2 МВт),
  - винтовой компрессорный агрегат «Каскад-110/30» 2 × 1600 кВт
  - компрессорная центробежная установка «Аэроком2-197/18» 2 × 2000 кВт
3. для охлаждения магнитов постоянного тока (корпус № 205) (4,4 МВт).

В СОВ реализуется повторное использование воды: в процессе использования вода лишь нагревается и после охлаждения может быть использована снова. При оборотном водоснабжении промышленного объекта охлаждающее устройство (охладитель) должно обеспечить охлаждение циркуляционной воды до температур, отвечающих оптимальным технико-экономическим показателям работы объекта. Понижение температуры воды в охладителях происходит за счёт передачи её тепла воздуху.

Одна из возможных схем СОВ с максимальной производительностью 4,4 МВт для компрессорной станции Нуклотрона представлена на Рис. 11.13.

В этой схеме для снижения температуры охлаждающей жидкости используется испарительный охладитель — вентиляторная градирня — охлаждение воды происходит в результате её испарения при непосредственном контакте с воздухом (испарение 1 % воды снижает её температуру на 6 °С). В вентиляторной градирне осуществляется принудительная подача воздуха с помощью нагнетательных вентиляторов. Для охлаждения циркуляционной воды требуется большая площадь контакта её с воздухом — порядка 30 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup>/ч охлаждаемой воды. В градирнях необходимая площадь контакта создается путём распределения воды над оросительными устройствами, по которым она стекает под действием силы тяжести в виде тонких плёнок или капель, разбивающихся при попадании на рейки на мельчайшие брызги.

Такие же СОВ на основе вентиляторных градирен могут быть разработаны для охлаждения создаваемой компрессорной станции (корпус № 32) и магнитов постоянного тока (корпус № 205) с учётом максимальной производительности системы, составляющей, соответственно, 7,2 и 4,4 МВт.

При разработке принципиальной охлаждающей системы оборотного водоснабжения компрессорной станции Нуклотрона рассматривались следующие исходные данные:

Теплоноситель	вода
Категория водопотребителя	II
Водопотребители:	
Винтовой компрессорный агрегат «Каскад-80/25»	2 шт.

Поршневой компрессор 305НП-20/30	3 шт.
Поршневой компрессор 2ГМ4-12/31	4 шт.

Установленная мощность электродвигателей:

Винтовой компрессорный агрегат «Каскад-80/25»	2 × 1430 кВт
Поршневой компрессор 305НП-20/30	3 × 200 кВт
Поршневой компрессор 2ГМ4-12/31	4 × 160 кВт
Суммарная мощность	4100 кВт
Максимальная производительность СОВ:	4400 кВт

Расход охлаждающей воды:

Винтовой компрессорный агрегат «Каскад-80/25»	2 × 70 м <sup>3</sup> /час
Поршневой компрессор 305НП-20/30	3 × 15,6 м <sup>3</sup> /час
Поршневой компрессор 2ГМ4-12/31	4 × 7,2 м <sup>3</sup> /час
Суммарный расход	220 м <sup>3</sup> /час (61 л/с)

Давление на входе к потребителю до 5,2 атм

Рабочая температура жидкости на входе к потребителю: 25 °С

Рабочая температура жидкости на выходе от потребителя: 42 °С

Источником охлаждения воды являются 2 вентиляторные градирни VTL-E 272-P общей максимальной производительностью 4725 кВт (2362 кВт × 2 шт.). Теплоносителем в системе является вода.

Нагретая вода от потребителя поступает по объединённому напорному трубопроводу из оцинкованной стали к градирням. В здании потребителя на объединённом трубопроводе предусмотрена задвижка (1) с электроприводом, которая позволяет производить включение/отключение системы охлаждения.

Объединённый трубопровод монтируется в земле и при подъёме к градирням разделяется на два трубопровода (с переходом через фланцевое соединение) для подключения непосредственно к

градирням. Участок наземной части (к градирням) изолирован пенополиуретановой теплоизоляцией ППУ, проложен в оцинкованном кожухе и дополнительно снабжён греющим кабелем. Перед входом в каждую градирню предусмотрена задвижка (2) из оцинкованной стали. В случае проведения ремонтных, демонтажных работ или при необходимости работы одной из двух градирен, при помощи задвижки (2) возможно отключение соответствующей градирни без полного перекрытия системы охлаждения. Градирни устанавливаются на улице на опорах.

От каждой градирни охлаждённая вода по трубопроводу из оцинкованной стали самотёком поступает в здание газгольдерной. Трасса от градирен до помещения газгольдерной монтируется над землёй, изолирована теплоизоляцией ППУ, проложена в оцинкованном кожухе и дополнительно снабжена греющим кабелем. Для возможности отключения градирен или ёмкости в здании на каждом трубопроводе расположена задвижка (3) из оцинкованной стали. Дополнительно предусмотрены обратные клапаны (4) для исключения возможного перетекания воды. Трубопроводы на выходе из каждой градирни объединяются в один. Объединённый трубопровод подключается к ёмкости объёмом 18 м<sup>3</sup>. От ёмкости по двум трубопроводам вода поступает к насосам (марки Grundfos) и далее под напором по объединённому трубопроводу доводится до потребителя. От здания газгольдерной до здания потребителя трасса проходит в земле.

Подпитка системы охлаждения осуществляется по параметрам уровнемера (5). При уровне ниже заданного — открывается клапан подпитки (6), при уровне выше заданного — передаётся сигнал «авария» на контроллер (7) и уменьшается расход воды.

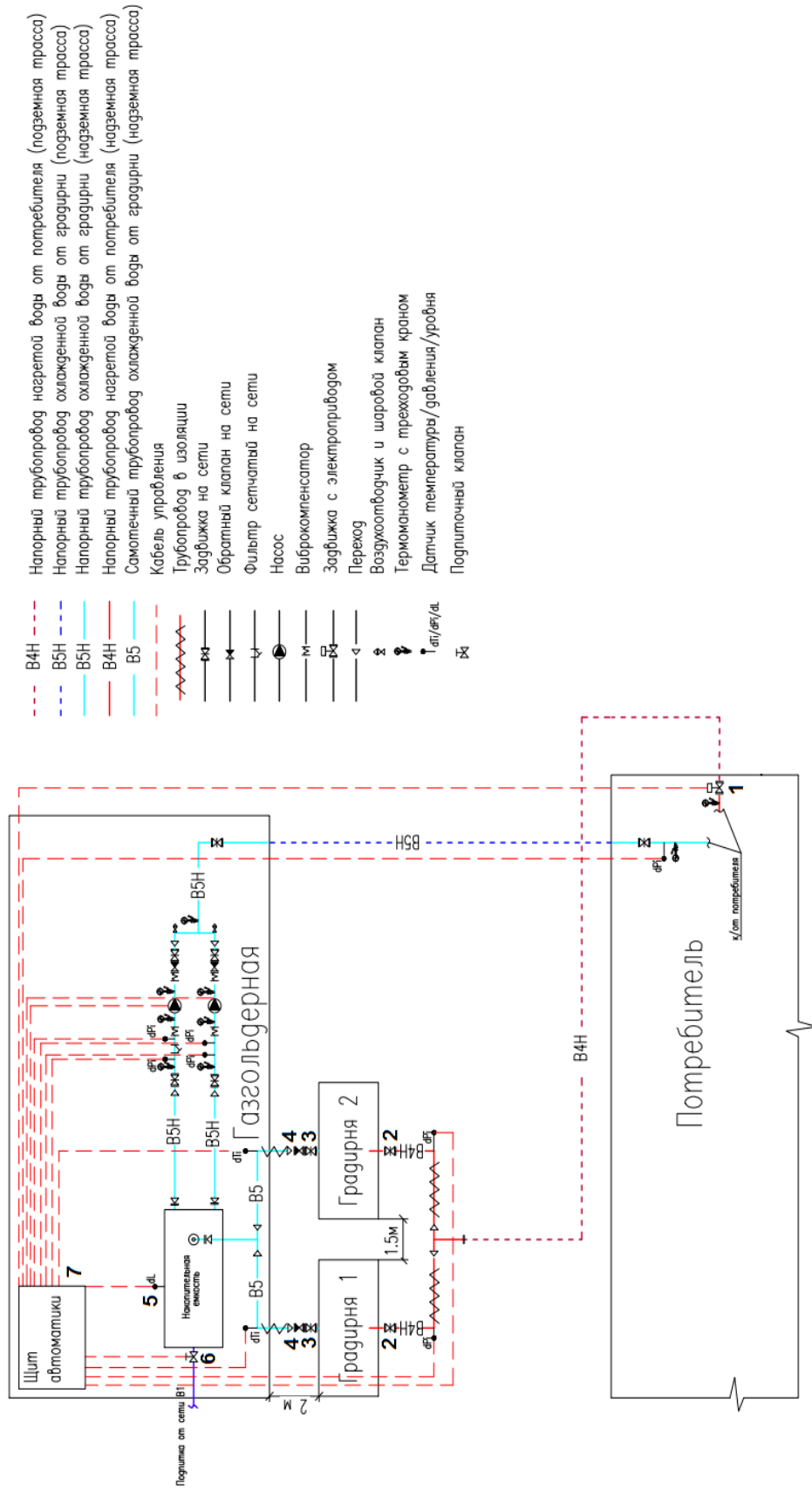
Для управления системой и регулирования параметров, а также диспетчеризации в качестве головного устройства используется контроллер. Давление в системе поддерживается на уровне 5,2 атм на входе к потребителям и управляется двигателем с частотным регулированием. По температуре воды на выходе из градирни производится регулирование частоты вращения вентилятора. В случае ручного отключения одной из градирен будет произведено выключение вентилятора соответствующей градирни. С этой целью на входе в каждую градирню предусмотрена установка дополнительного датчика давления между задвижкой и градирней. Автоматикой системы охлаждения предусмотрено включение одновременно — потребителя, насоса, вентилятора градирни и задвижки электромагнитным приводом.

Дополнительно перед насосом — до фильтра грубой очистки и после устанавливаются манометры и датчики давления. С помощью последних в автоматическом режиме будет отслеживаться уровень загрязнения фильтров.





## Условные обозначения



Основные преимущества открытой градирни (прямой контакт) VTL-E:

1. небольшая высота: идеально устанавливается на крышах или в тесных помещениях, нишах
2. лёгкий монтаж: собирается на заводе; доставляется одним блоком для лёгкого подъёма и установки на месте; впуск воздуха с одной стороны допускает монтаж рядом со сплошными стенами.
3. тихая работа: VTL-E включает малошумные внутренние радиальные вентиляторы для минимального шума при работе.
4. круглогодичная надёжная работа: использование различных устойчивых к коррозии материалов для гарантированно долгого срока службы; тепловая производительность градирни тестирована и сертифицирована Eurovent.
5. лёгкость обслуживания: лёгкий доступ ко всем механизмам, включая подшипники оси вентилятора; пакеты листового наполнителя для лёгкого и полного осмотра и очистки, что предотвращает необходимость полной замены пакетов наполнителя.

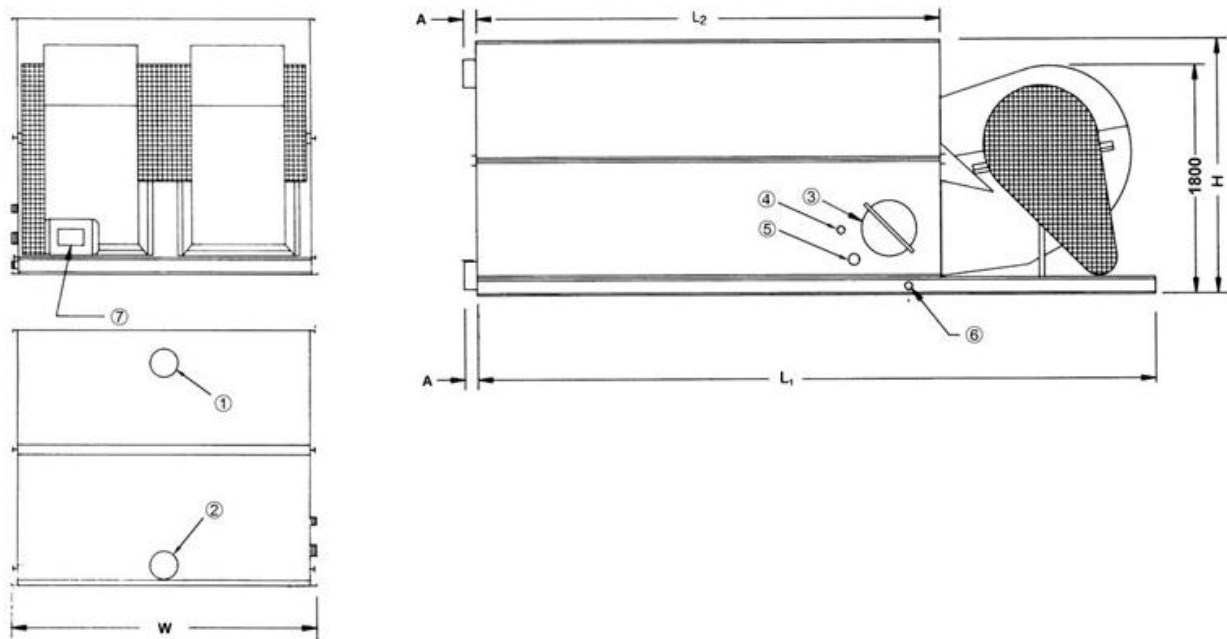


#### Технические данные градирни VTL-E 272-P

Модель	VTL-E 272-P
Рабочая масса, кг	4310
Масса змеевика, кг	2410
Размеры L1 × L2 × W × H, мм	5480 × 3650 × 2400 × 2480
Воздушный поток, м <sup>3</sup> /с	26,8
Мотор вентилятора, кВт	(1 ×) 30,0
Подача воды НД, мм	(1 ×) 200

Выпуск воды НД, мм (1 × )200

Подпитка НД, мм (1 × )40



VTL-E 139L-272P

Рис. 11.7.3. Градирня VTL-E 272-P: 1. впуск воды, 2. выпуск воды, 3. дверца люка, 4. подпитка, 5. перелив, 6. слив, 7. мотор вентилятора

### 11.7.2 Принцип работы

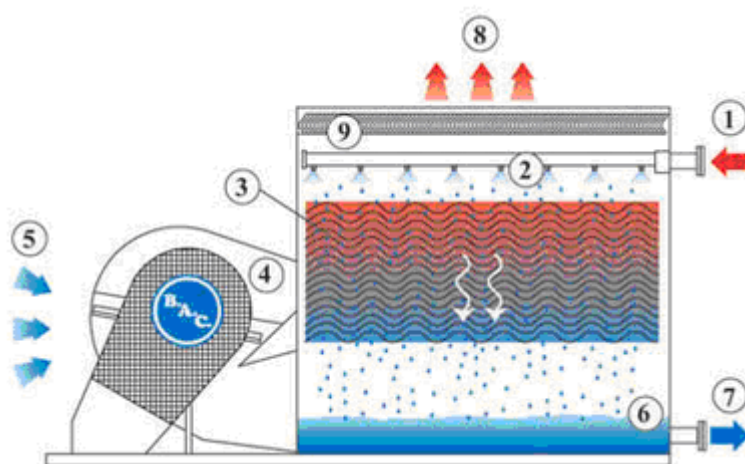


Рис. 11.7.4. Принцип работы открытой градирни: 1 — оборотная вода, 2 — система орошения, 3 — наполнитель, 4 — радиальный вентилятор, 5 — наружный воздух, 6 — поддон/бассейн градирни, 7 — охлаждённая вода, 8 — тёплый насыщенный воздух, 9 — каплеуловители

Тёплая оборотная вода (1) от источника тепла поступает в систему орошения (2) наверху градирни, где она распределяется по наполнителю или поверхности теплопередачи (3). Одновременно, радиальный вентилятор (4) системы подачи воздуха, расположенный в нижней части градирни,

продуваает наружный воздух (5) вверх через градирню. Когда тёплая вода контактирует с холодным воздухом, последний нагревается, и часть воды испаряется, обеспечивая оптимальный перенос тепла. В поддоне (6) или бассейне градирни собирается охлаждённая вода (7), которая затем возвращается к источнику тепловой нагрузки. Тёплый насыщенный воздух (8) покидает градирню через каплеуловители (9), которые удаляют из воздуха капельки воды.

## 11.8 КРИОГЕННЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕКОНДЕНСАЦИИ АЗОТА, БУСТЕРА И КОЛЛАЙДЕРА

Для обеспечения экономичности и независимости азотной системы криогенного комплекса Коллайдера NICA будут использоваться два реконденсатора азота, которые будут ожижать выходящий с тепловых экранов газообразный азот. В связи со значительной удалённостью друг от друга потребителей жидкого азота, его подача будет осуществляться по криогенным трубопроводам.

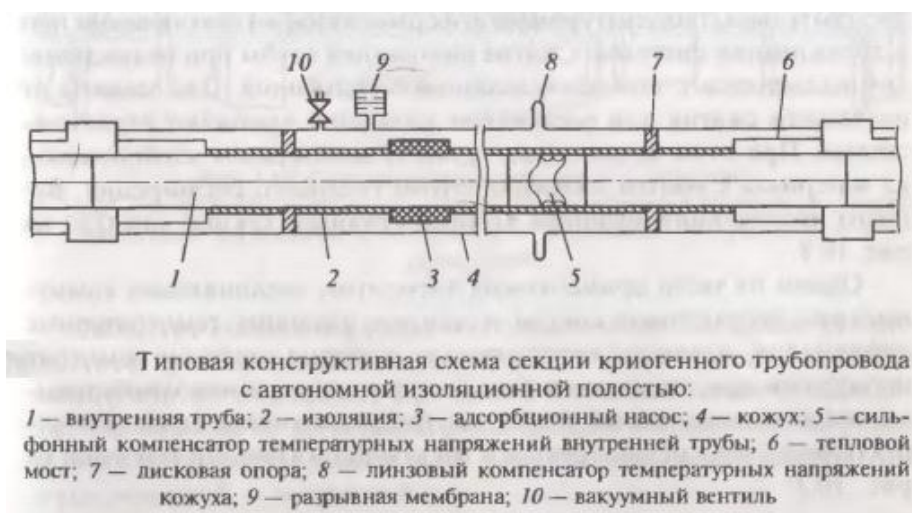


Рис. 11.8.1. Типовая конструктивная схема секции криогенного трубопровода с автономной изоляционной полостью

Криогенный трубопровод представляет собой конструкцию типа «труба в трубе» из гладких цельнотянутых или сварных труб из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Наружный кожух изготавливается из нержавеющей или углеродистой стали. Для уменьшения теплопритоков к криогенной жидкости пространство между внутренней и внешней трубами (кожухом) вакуумируется, а внутренняя труба обматывается многослойной экранно-вакуумной изоляцией. Внутренняя труба фиксируется относительно наружной с помощью опор различной конструкции из стеклопластиков.

В Таблице 11.7.1 представлены основные параметры трубопроводов жидкого азота.

Таблица 11.8.1. Параметры трубопровода жидкого азота

Диаметр внутренней трубы, мм	30
Расчётный расход азота, кг/ч	300 ÷ 500, в зависимости от режима работы
Давление в трубопроводе, МПа	0,13 (абс.)

В Приложении 11.2 представлены чертежи трассировки трубопроводов создаваемой азотной системы.

## 11.9 СОЗДАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ И СИСТЕМЫ КИПИА КРИОГЕННОГО КОМПЛЕКСА ЛФВЭ ОИЯИ

### 11.9.1 Назначение АСУТП

- Сбор и регистрация информации о текущем состоянии технологических подсистем и самостоятельного оборудования (далее — технологических подсистем) криогенного комплекса;
- Управление функционированием технологических подсистем комплекса в различных режимах работы (штатных, предаварийных и аварийных);
- Отображение информации оперативному персоналу, непосредственно управляющему конкретной технологической подсистемой, а также диспетчерскому персоналу, выполняющему функции контроля состояния и управления всем комплексом;
- Предоставление информации о состоянии комплекса на пульт управления Коллайдера и удалённым пользователям.

### 11.9.2 Технологические подсистемы комплекса

- Криогенные гелиевые ожижители КГУ-1600/4.5 № 1 и № 2, ожижитель ОГ-1000;
- Сателлитные гелиевые рефрижераторы РГС-1600, расположенные на кольце Бустера — 1 шт. и на кольце Коллайдера — 2 шт.;
- Азотный ожижитель, оборудование хранения и транспортировки жидкого азота;
- Установки реконденсации азота на кольце Бустера и Коллайдера — 2 шт.;
- Компрессорные станции № 1 и № 2;
- Подсистема телевизионного наблюдения.

### 11.9.3 Особенности построения и функционирования АСУТП

АСУТП состоит из следующих уровней:

- Первичные преобразователи и исполнительные механизмы из состава технологических подсистем;
- Подсистемы управления криогенными гелиевыми ожижителями (КГУ № 1 и КГУ № 2, ОГ-1000, сателлитные рефрижераторы), азотный ожижитель и установки реконденсации азота,

компрессорное оборудование. На этом уровне отображается информация оперативному персоналу;

- Сбор и хранение информации о состоянии комплекса в целом. На этом уровне отображается информация диспетчерскому персоналу;
- Предоставление информации о состоянии комплекса на пульт управления Коллайдера и внешним потребителям.

#### 11.9.4 Особенности АСУТП криогенного комплекса:

- Комплекс состоит из большого числа технологических подсистем различных производителей с разной степенью автоматизации, собственными интерфейсами и протоколами взаимодействия. Часть оборудования не имеет интерфейсов передачи информации, и поэтому требуется разработка программно-аппаратных средств для организации взаимодействия с АСУТП верхнего уровня.
- Технологические подсистемы распределены по территории площадки ЛФВЭ, и находятся на достаточно больших расстояниях друг от друга.
- Во время работы ускорительного комплекса доступ к сателлитным рефрижераторам и установкам реконденсации для проведения ремонтных и регламентных работ ограничен из-за радиационных условий.
- Организация взаимодействия с технологическими подсистемами

Сбор информации о состоянии криогенного комплекса (3 уровень АСУТП) осуществляется через программные интерфейсы (ОРС и web-серверы), предоставляемые изготовителем технологической подсистемы.

Измерение технологических параметров оборудования, не имеющего встроенных средств связи, осуществляется контроллерами со специально изготовленным программным обеспечением.

#### 11.9.5 Отображение информации и программное обеспечение

Для персонала информация представлена как в графическом, так и табличном виде. Графическое отображение предусматривает вывод информации в виде графиков, и (или) значений параметров, показанных на мнемосхемах технологических подсистем. Уровень детализации предоставляемой информации конкретному пользователю определяется его правами.

Взаимодействие АСУТП (уровни 3, 4 и, частично, 2) с пользовательским интерфейсом осуществляется стандартными средствами web-браузеров.

### 11.9.6 Центральный пульт и хранение информации

В состав центрального пульта входят программно-аппаратные средства для отображения оперативной информации о состоянии криогенного комплекса, хранения информации и обеспечения взаимодействия с системой управления Коллайдером.

Серверное оборудование реализовано в виде отказоустойчивого кластера, на котором размещены необходимые сервисы поддержки сети, сервер баз данных, синхронизации времени, сервисы обмена данными с технологическими подсистемами и системой управления верхнего уровня.

Серверное и критичное сетевое оборудование располагается в отдельном помещении центрального пульта.

### 11.9.7 Локальная сеть АСУТП

Взаимодействие с технологическими подсистемами осуществляется по локальной сети комплекса. Основной протокол — Ethernet.

Сегменты сети, связывающие с подсистемами находящимися в зонах ограниченного доступа, выполнены на базе технологии Industrial Ethernet. Критичные участки кабельной сети зарезервированы.

Для обеспечения достаточного уровня надёжности и защищённости локальная сеть АСУТП криогенного комплекса реализована в виде виртуальной частной сети (VPN), в рамках локальной сети ЛФВЭ. Доступ в интернет для компьютеров внутренней сети запрещён.

Информации о состоянии комплекса передаётся на пульт управления Коллайдера и внешним потребителям передаётся через сервер Нуклотрона.

Структурная схема АСУТП криогенного комплекса ЛФВЭ ОИЯИ представлена на Рис. 11.17.

### 11.9.8 Условия функционирования

Электропитание большей части оборудования технологических подсистем, как правило, осуществляется по I категории электроснабжения.

Характеристика условий функционирования — непрерывное круглосуточное при температуре окружающей среды от 5 до 40 °С и относительной влажности от 40 до 80 % при температуре 25 °С.



## 11.9.9 Реализация

Таблица 11.9.1. Специалисты, требующиеся для реализации проекта

Наименование	Квалификация	Кол-во	Решаемые задачи	Примечание
Электронщик	инженер	2	монтаж, сборка и настройка оборудования, разработка документации, эксплуатация	На этапе эксплуатации 1 чел.
Программист	вед. инженер	2	разработка подсистемы, руководство кодировщиками, разработка документации	Привлекаемый (этап разработки и изготовления)
Программист	инженер	2 ÷ 3	кодировка, сборка, тестирование, разработка документации, эксплуатация	На этапе эксплуатации 1 чел.
Системный администратор	инженер	1	создание сетевой инфраструктуры, разработка документации, эксплуатация	На этапе эксплуатации 1 чел.
Конструктор	инженер	1	разработка технических решений по размещению оборудования и документации	Привлекаемый (этап разработки и изготовления)
Радиомонтажник	техник	1	монтаж, сборка и настройка оборудования	Привлекаемый

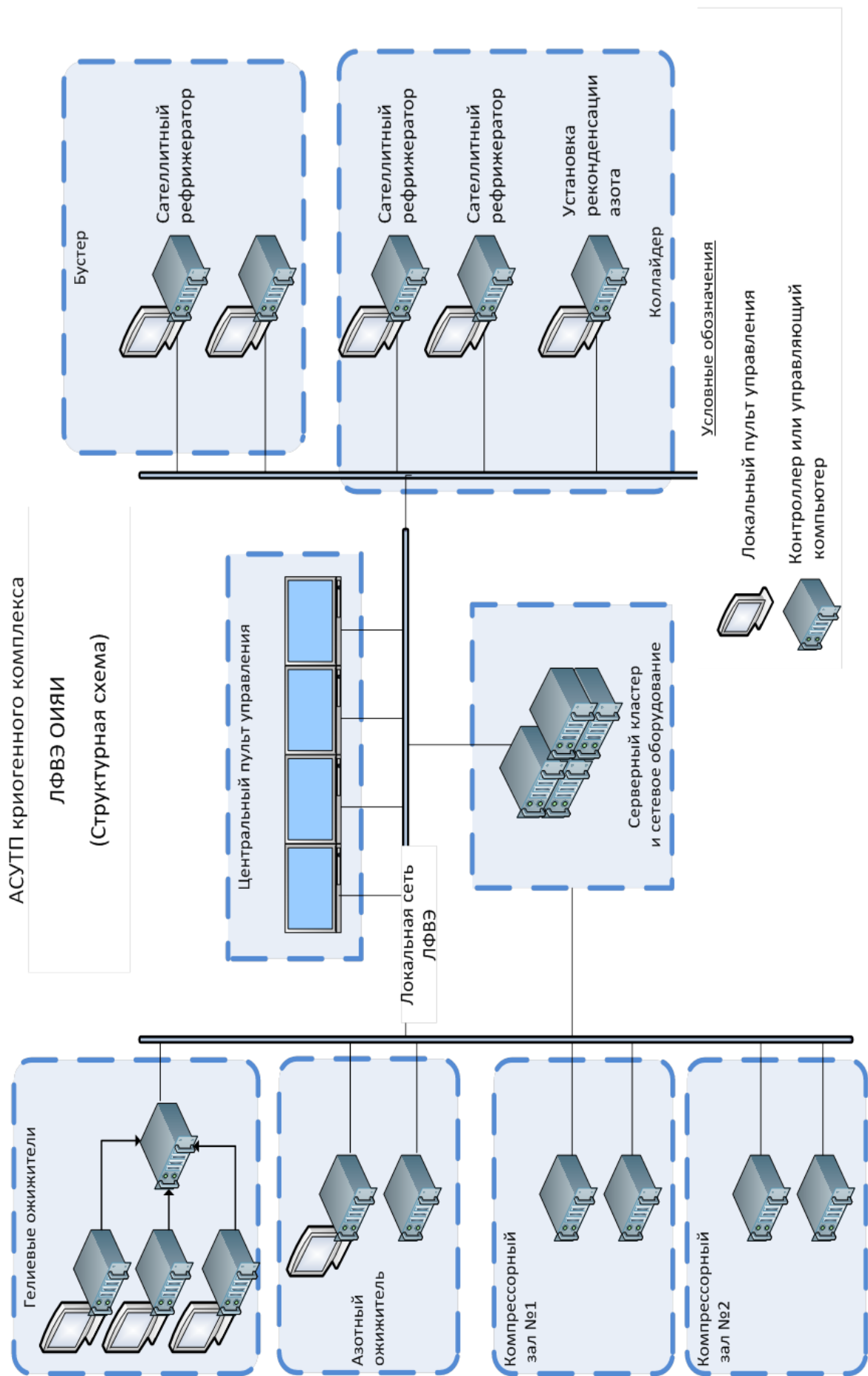


Рис. 11.9.1. Структурная схема АСУТП криогенного комплекса ЛФВЭ ОИЯИ

# Приложение 1

## к Главе 11

---



П.11.1 Протокол исследования воды в здании компрессорной станции Нуклотрона

АККРЕДИТОВАННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ЦЕНТР ФГБУЗ «ЦЕНТР ГИГИЕНЫ И ЭПИДЕМИОЛОГИИ № 9 ФЕДЕРАЛЬНОГО МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА» Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.514265 от 09 октября 2012 г. 141980, г. Дубна, ул. Ленинградская, д. 9, т. 4-71-35, 4-68-44, ф. 6-63-82				
ПРОТОКОЛ № 700 исследования питьевой воды				
Место взятия пробы	Машинный зал синхрофазотрона ОНЯИ			
Наименование водопроводчика	Вода питьевая холодного водоснабжения			
Дата и время взятия пробы	22.12.2014			
Осадок (описать)	нет			
Прозрачность	Более 30 см			
Код пробы	1258.02.22.12.14 Д			

	Результат анализа	Единицы измерения	Наименование НТД	Гигиенический норматив (СанПиН 2.1.4.1074 - 01 ; ГН 2.1.5.1315 - 03 )
Запах при 20 ° С	1	балл	ГОСТ 3351-74 п.2	не более 2
Запах при 60 ° С	2	балл	ГОСТ 3351-74 п.2	не более 2
Привкус	2	балл	ГОСТ 3351-74 п.3	не более 2
pH	7,05 ± 0,10		ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	6 - 9
Мутность	0,6 ± 0,1	ЕМ/дм³	ГОСТ 3351-74 п.5	не более 2,6
Цветность	8 ± 2	Градус	ГОСТ Р 52769-2007	не более 20
Жесткость	5,0 ± 0,7	°Ж	ГОСТ 31954-2012	не более 7
Окисляемость	2,9 ± 0,3	MgO/дм³	ПНД Ф 14.1:2:4.154-99	не более 5
Нитриты	0,022 ± 0,001	Mg/дм³	ГОСТ 4192-82 п.4	не более 3,0
Нитраты	2,8 ± 0,6	Mg/дм³	ГОСТ 18826-73 п.3	не более 45
Хлориды	11 ± 1	Mg/дм³	ГОСТ 4245-72 п.2	не более 350
Сухой остаток	330 ± 7	Mg/дм³	ГОСТ 18164-73	не более 1000
Полифосфаты	менее 0,05 ( 0,01 )	Mg/дм³	ПНД Ф 14.1:2.112-97	не более 3,5
Железо	0,28 ± 0,07	Mg/дм³	ГОСТ 4011-72 п.2	не более 0,3
Марганец	0,01 ± 0,01	Mg/дм³	ГОСТ 4974-72 п.3 мет.А	не более 0,1
Медь	0,025 ± 0,006	Mg/дм³	ГОСТ 31866-2012 МУ 31-03/04	не более 1
Цинк	0,005 ± 0,002	Mg/дм³	ГОСТ 31866-2012 МУ 31-03/04	не более 5
Алюминий	менее 0,04 ( 0,01 )	Mg/дм³	ГОСТ 18165-89	не более 0,5
Свинец	0,0013 ± 0,0004	Mg/дм³	ГОСТ 31866-2012 МУ 31-03/04	не более 0,03
Кадмий	менее 0,0002 ( 0,000004 )	Mg/дм³	ГОСТ 31866-2012 МУ 31-03/04	не более 0,001
Мышьяк	менее 0,002 ( 0,0009 )	Mg/дм³	ГОСТ Р 52180-2004 МУ 31-09/04	не более 0,05
Фториды	0,28 ± 0,04	Mg/дм³	ГОСТ 4386-89 п.3	не более 1,2

СПАВ	менее 0,015 ( 0,001 )	Mg/дм³	ГОСТ Р 51211-98 п.5	не более 0,5
Аммиак	0,29 ± 0,07	Mg/дм³	НДП 10.1:2.84-03	не более 2,0
Сульфаты	55 ± 6	Mg/дм³	ГОСТ 31940-2012	не более 500
Хром (VI)	менее 0,025 ( 0,013 )	Mg/дм³	ГОСТ 31956-2012	не более 0,05
Хром (III)	менее 0,025 ( 0,006 )	Mg/дм³	ГОСТ 31956-2012	не более 0,5

Исследования проводили:

Должность врач по сан.гиг. исследованиям Ф.И.О. Беленькова И.Н. Подпись *Беленькова*

Должность лаборант Ф.И.О. Логвинова Н.А. Подпись *Логвинова*

Должность лаборант Ф.И.О. Фомичёва Ю.И. Подпись *Фомичёва*

Ф.И.О и подпись заведующего лабораторией Беленькова И.Н. *Беленькова* 23.12.14

Заклечение санитарного врача \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ для \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ф.И.О и подпись санитарного врача \_\_\_\_\_

ФГБУЗ ЦГ и Э №9 ФМБА России  
 По указанным показателям образец соответствует  
 требованиям СанПиН, ГОСТ, ТУ  
 (указание подлинности) 2.14.1074-01  
 Врач *Логвинова* 23 12 2014 г.  
 Подпись \_\_\_\_\_



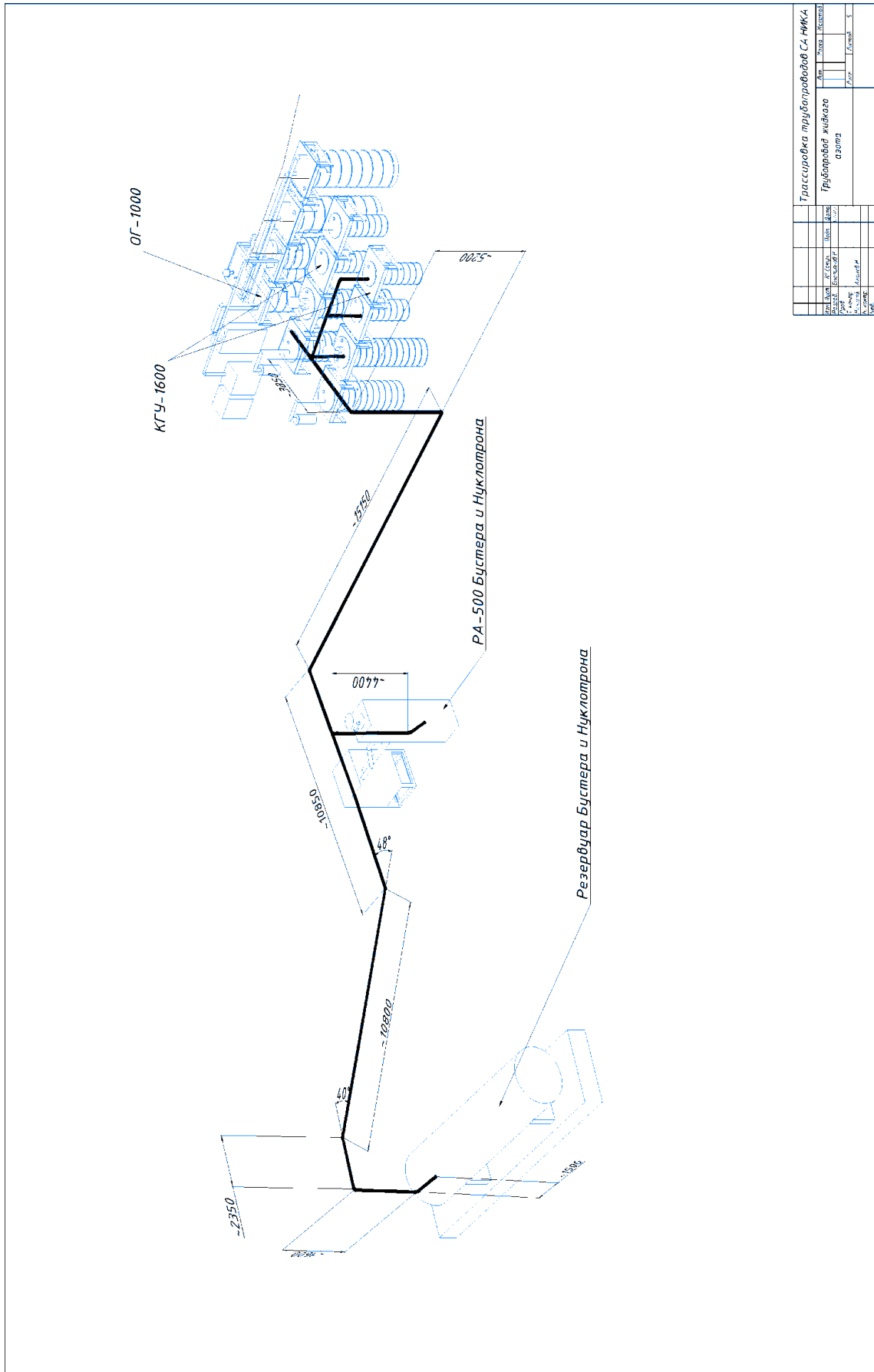
# Приложение 2 к Главе 11

---





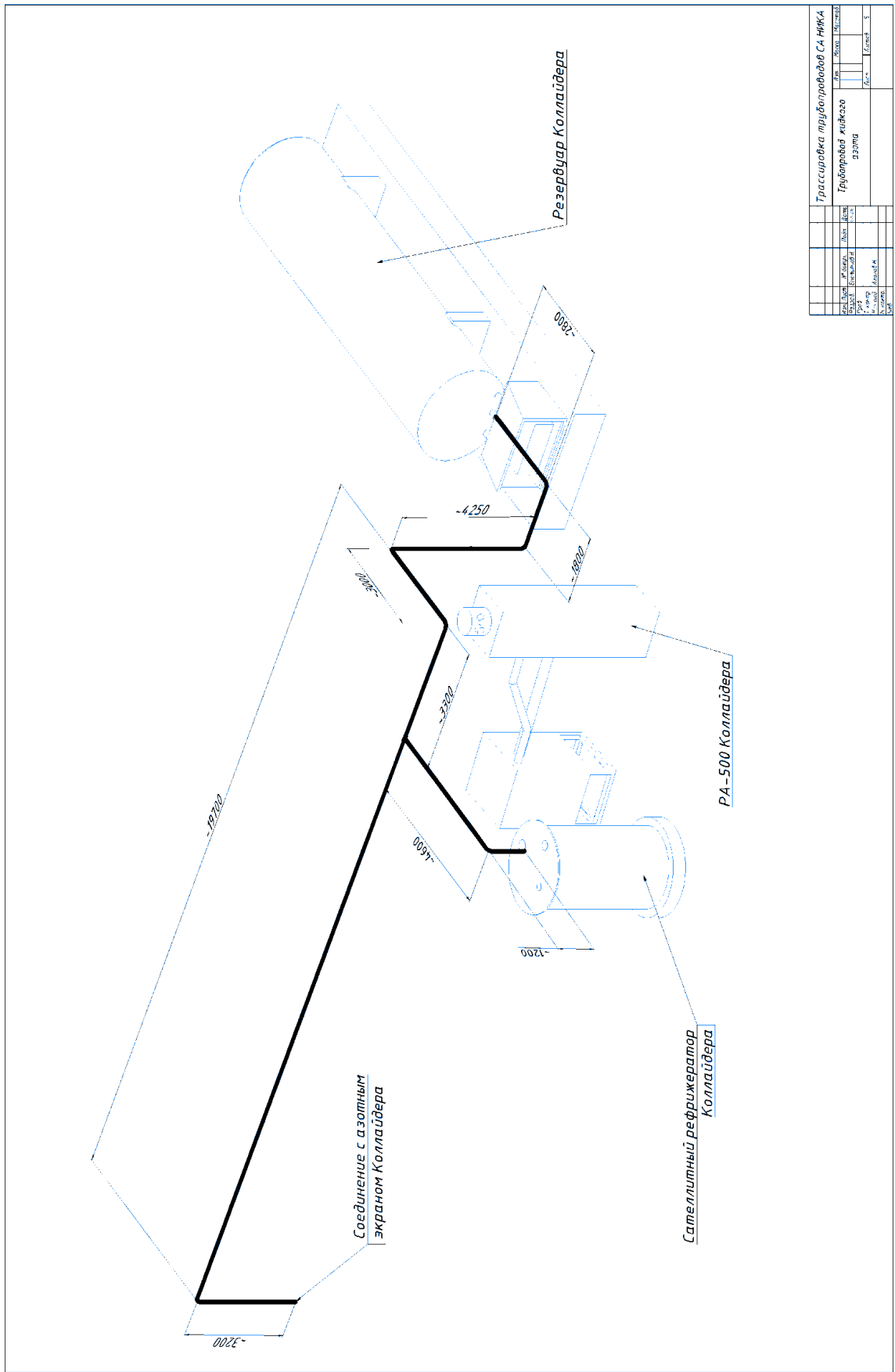
## П.11.2 ЧЕРТЕЖИ ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДОВ АЗОТНОЙ СИСТЕМЫ



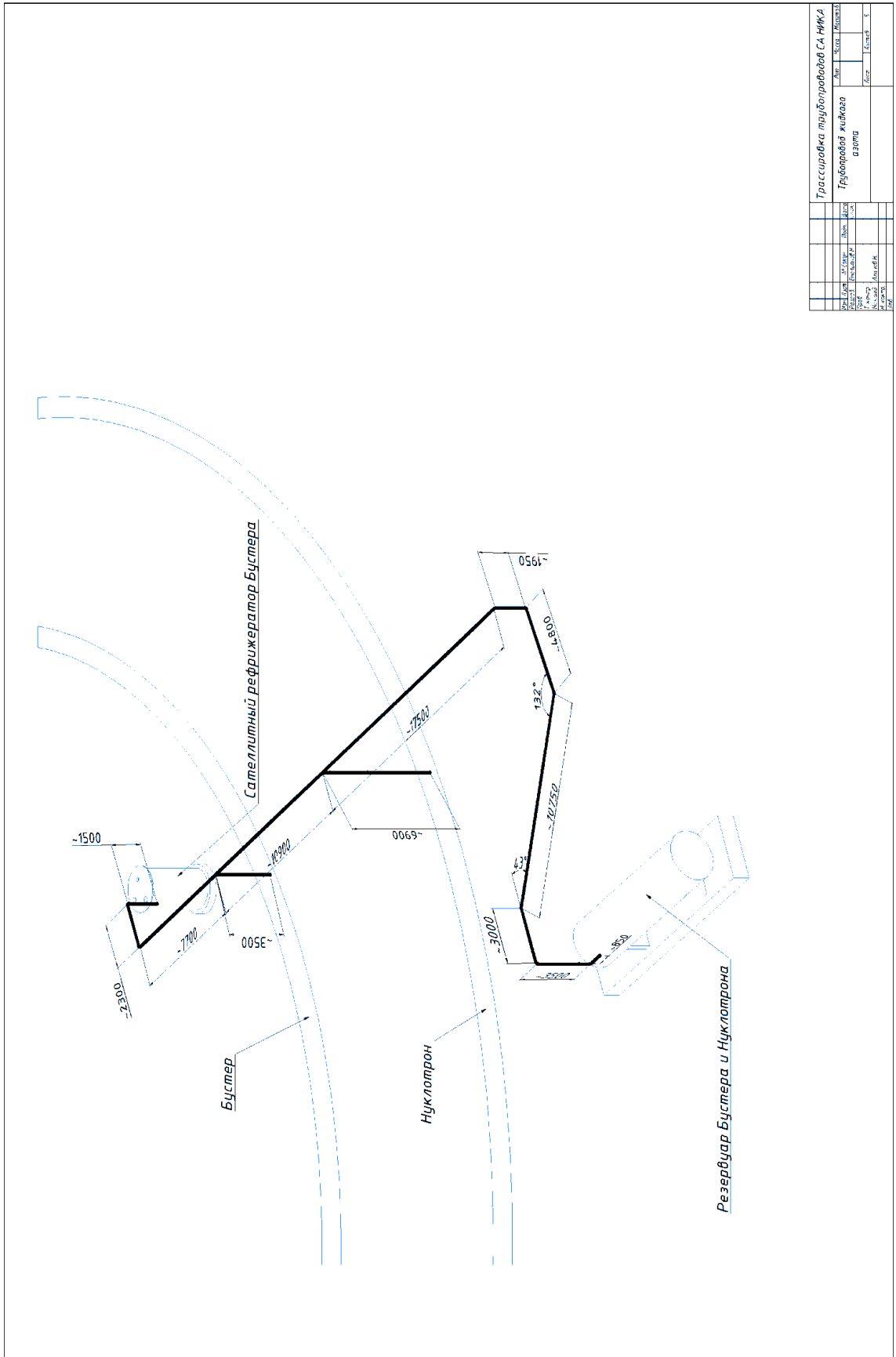
Трассировка трубопроводов С.А. НККА	
Трубопровод жидкого азота	
№	Исполн.
1	С.А. НККА
2	С.А. НККА
3	С.А. НККА
4	С.А. НККА
5	С.А. НККА
6	С.А. НККА
7	С.А. НККА
8	С.А. НККА
9	С.А. НККА
10	С.А. НККА
11	С.А. НККА
12	С.А. НККА
13	С.А. НККА
14	С.А. НККА
15	С.А. НККА
16	С.А. НККА
17	С.А. НККА
18	С.А. НККА
19	С.А. НККА
20	С.А. НККА
21	С.А. НККА
22	С.А. НККА
23	С.А. НККА
24	С.А. НККА
25	С.А. НККА
26	С.А. НККА
27	С.А. НККА
28	С.А. НККА
29	С.А. НККА
30	С.А. НККА
31	С.А. НККА
32	С.А. НККА
33	С.А. НККА
34	С.А. НККА
35	С.А. НККА
36	С.А. НККА
37	С.А. НККА
38	С.А. НККА
39	С.А. НККА
40	С.А. НККА
41	С.А. НККА
42	С.А. НККА
43	С.А. НККА
44	С.А. НККА
45	С.А. НККА
46	С.А. НККА
47	С.А. НККА
48	С.А. НККА
49	С.А. НККА
50	С.А. НККА
51	С.А. НККА
52	С.А. НККА
53	С.А. НККА
54	С.А. НККА
55	С.А. НККА
56	С.А. НККА
57	С.А. НККА
58	С.А. НККА
59	С.А. НККА
60	С.А. НККА
61	С.А. НККА
62	С.А. НККА
63	С.А. НККА
64	С.А. НККА
65	С.А. НККА
66	С.А. НККА
67	С.А. НККА
68	С.А. НККА
69	С.А. НККА
70	С.А. НККА
71	С.А. НККА
72	С.А. НККА
73	С.А. НККА
74	С.А. НККА
75	С.А. НККА
76	С.А. НККА
77	С.А. НККА
78	С.А. НККА
79	С.А. НККА
80	С.А. НККА
81	С.А. НККА
82	С.А. НККА
83	С.А. НККА
84	С.А. НККА
85	С.А. НККА
86	С.А. НККА
87	С.А. НККА
88	С.А. НККА
89	С.А. НККА
90	С.А. НККА
91	С.А. НККА
92	С.А. НККА
93	С.А. НККА
94	С.А. НККА
95	С.А. НККА
96	С.А. НККА
97	С.А. НККА
98	С.А. НККА
99	С.А. НККА
100	С.А. НККА







Трассировка трубопроводов СА НККА		Лист	Кол-во	Всего листов
Трубопровода жидко-газопроводов		1	1	1
Исполнитель		И.И.И.	Проверено	Л.Л.Л.
Дата		12.12.12	Лист	3



Трассировка трубопровода СА НКК-2		Лист	№	Стр.	Масштаб
Трубопровод жидкого азота		№	№	№	№
		Исполн.	Провер.	Датум	Стр.
		И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.
		И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.	И.И.И.