

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электрофизических установок и ускорителей
(полное название кафедры)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Швырев Василий Григорьевич

(фамилия, имя, отчество автора – студента-выпускника)

Термодиагностика на ускорителе тандем-БНЗТ

(тема работы)

Направление подготовки

010700 - Физика

(код и наименование направления подготовки бакалавра)

Руководитель

Алейник В.И.

(фамилия, И., О.)

(уч. степень, уч. звание)

(подпись, дата)

Автор

Швырев В.Г.

(фамилия, И., О.)

ФТФ, ФТ-81

(факультет, группа)

(подпись, дата)

Новосибирск, 2012 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электрофизических установок и ускорителей
(полное название кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. Кафедрой Бурдаков А.В.
(фамилия, И., О.)

(подпись, дата)

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРА**

студент *у(ке)* Швыреву Василию Григорьевичу
(фамилия, имя, отчество)

Направление подготовки 010700- Физика
(код и наименование направления подготовки бакалавра)

физико-технический факультет
(факультет)

Тема Термодиагностика на ускорителе тандем-БНЗТ
(полное название темы выпускной квалификационной работы бакалавра)

Исходные данные (или цель работы) Изучение и тестирование термодиагностики на ускорителе тандем-БНЗТ

Структурные части работы Термодиагностика на ускорителе, программное обеспечение для работы с данными, планируемый эксперимент.

План-график выполнения работы

№ п/п	Наименование этапа	Планируемые сроки выполнения
1	Изучение принципов работы ускорителя тандем-БНЗТ	07.02.2012 – 01.03.2012
2	Выбор оборудования и его размещение на установке	01.03.2012 – 02.04.2012
3	Написание программного обеспечения	02.04.2012 – 18.04.2012
4	Тестирование оборудования	18.04.2012 – 10.05.2012
5	Планирование экспериментов	10.05.2012 – 1.06.2012
6	Написание диплома	1.06.2012 – 10.06.2012

Задание согласовано и принято к исполнению.

Руководитель

Алейник В.И.

(фамилия, И., О.)

Студент

Швырев В.Г.

ФТФ, ФТ-81

(фамилия, И., О.)

Тема утверждена приказом по НГТУ № _____ от « ____ » _____ 201__ г.

(подпись секретаря экзаменационной комиссии по защите ВКР, дата)

Аннотация

В первой части работы описываются теоретические основы работы ускорителя, выбор оборудования и программного обеспечения для проведения эксперимента. Во второй части работы описывается подготовка к проведению эксперимента, разработка программного обеспечения. Тестирование оборудования совместно с программным обеспечением. Приводятся предварительные расчеты и формулируются выводы по дальнейшему развитию диагностики.

Оглавление	6
Введение	8
Термодиагностика на ускорителе	11
Размещение датчиков	12
Оборудование	17
Подготовка к эксперименту	18
Предварительные расчеты	19
Развитие диагностики	21
Список литературы	21

Введение

Перспективным подходом в лечении ряда злокачественных опухолей, в первую очередь, трудноизлечимых опухолей головного мозга и меланом, рассматривается бор-нейтрон-захватная терапия (БНЗТ).

Раствор, содержащий стабильный изотоп бор-10, вводится в кровь человека и через некоторое время бор сорбируется в клетках. Затем опухоль облучается потоком тепловых нейтронов. В результате захвата теплового нейтрона стабильным изотопом ^{10}B происходит ядерная реакция и образуются α -частица, ион ^7Li и в 94 % случаев γ -квант рис 1.0.

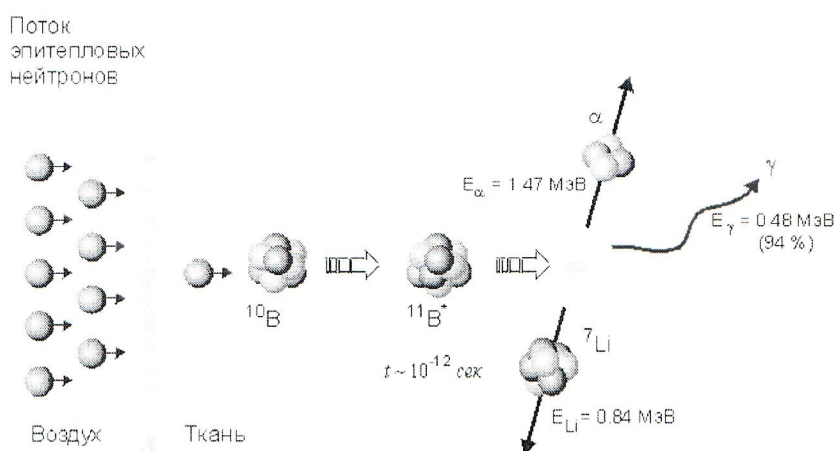


Рис. 1.0 схематически иллюстрирует взаимодействие нейтрона с изотопом бора.

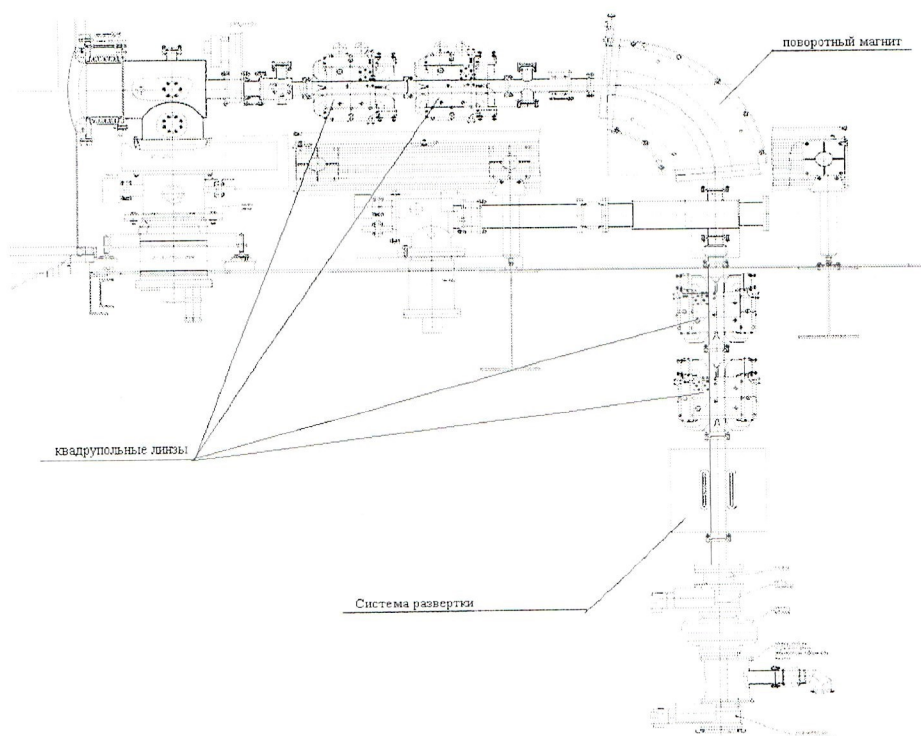
Образующиеся α -частица и ион ^7Li быстро тормозятся и выделяют энергию 2,3 МэВ на длине порядка 10 микрон, т.е. на длине размера клетки. Такое быстрое торможение и, соответственно, громадный локальный нагрев приводит к поражению именно той клетки, которая содержала ядро бора. Если обеспечить более высокую концентрацию ^{10}B в раковой клетке по сравнению со здоровой, то бор-нейтрон-захватная терапия позволит осуществить избирательное поражение раковой опухоли.

Проведенные клинические испытания методики на ядерных реакторах продемонстрировали её эффективность в лечении целого ряда опухолей,

однако широкое внедрение методики в клиническую практику требует компактных безопасных относительно недорогих источников надтепловых нейтронов. Для таких генераторов нейтронов могут использоваться ускорители заряженных частиц. В Институте ядерной физики СО РАН был предложен и сооружен прототип источника эпитепловых нейтронов на основе ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией и генерации нейтронов в результате реакции ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$.

Высокоэнергетический тракт обеспечивает проводку вышедшего из тандема пучка протонов с энергией 2.5 МэВ до нейтронно-образующей мишени. На рис.1.1 представлен общий вид высокоэнергетического тракта. Когда пучок попадает на стенку, она начинает быстро нагреваться, это можно отследить с помощью термодатчиков.

В мою задачу входит отслеживание прохождения пучка, чтобы в случае его отклонения и попадания на стенку вакуумной камеры, своевременно, оповестить оператора или принять меры по предотвращению аварийной ситуации.



Термодиагностика на ускорителе

Термодиагностика помогает решить следующие задачи:

1. Диагностика пучка

Если пучок будет неправильно сфокусирован, то он будет задевать стенку вакуумной камеры, которая в свою очередь будет нагреваться. Чем сильнее отклонен пучок от нужного направления – тем быстрее будет нарастать температура.

На комплексе БНЗТ используется магнитная система, состоящая из следующих компонентов:

- осесимметричные линзы
- корректоры
- квадрупольные магнитные линзы
- поворотный магнит
- развертка

Что бы отслеживать эффективность работы этих устройств, во время прохождения пучка, после каждого устройства нужно разместить температурные датчики.

2. Отслеживание аварийных ситуаций.

Диаметр протонного пучка равен ~ 2 см, расчетный ток составляет 10 мА и энергия пучка равна 2 МэВ, если пучок попадает на стенку вакуумной камеры, то выделяемая мощность будет равна

$$\frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^6}{\pi \cdot (1\text{см})^2} = 6.4 \frac{\text{кВт}}{\text{см}^2}$$

В случае неправильной фокусировки, пучок может прожечь стенку вакуумной камеры, для наглядности представлен рис. 1.2 на котором изображен стальной шиббер прожженный пучком.

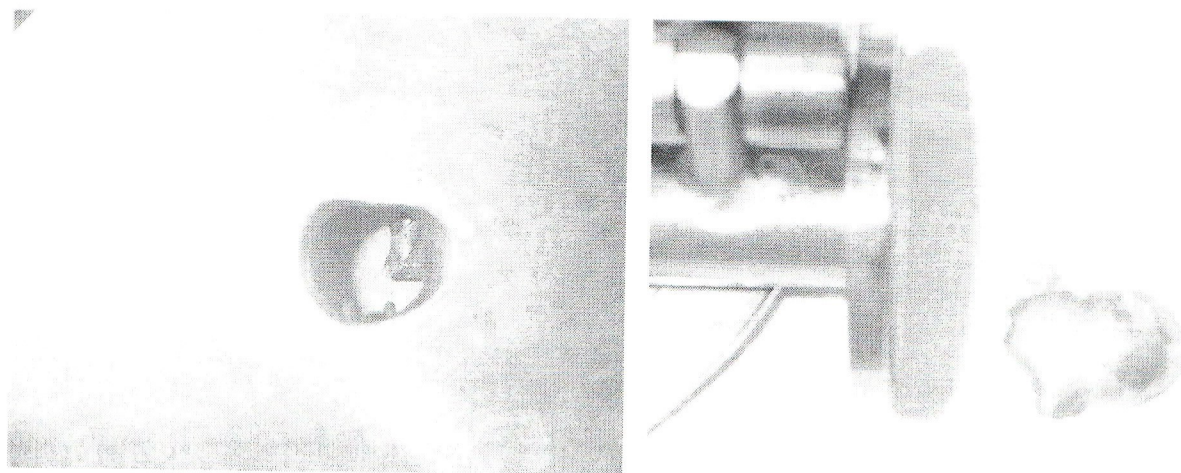


Рис. 1.2 Стальной шиббер.

При проведении экспериментов по положению пучка использовались 3 фольги из нержавеющей стали 0.8мм и фольга толщиной 0.05мм. Они были установлены соответственно в 4 диагностические камеры, последняя наиболее тонкая находилась на приемнике пучка (конусный коллектор). Результаты эксперимента представлены на рис 1.3.

Изначально пучок попадал на выдвижной коллектор в низкоэнергетическом тракте (величина тока составляла порядка 300-350мкА). После чего коллектор был убран и пучок, пройдя через ускоритель начал «прожигать» фольги установленные на пути пучка. Как видно из графика пучок прошел до приемного коллектора за 62 сек. Но с учетом времени движения выдвижного коллектора (33сек), полная мощность пучка воздействовала только 29 сек. Т.е. за время чуть большее чем 29 сек прожгли порядка 3 мм стали пучком порядка 300 мкА. Сами фольги из диагностических камер представлены на рисунках 1.4., 1.5.

Прошли 4 фольги. Установленные в 4-х диагностических камерах

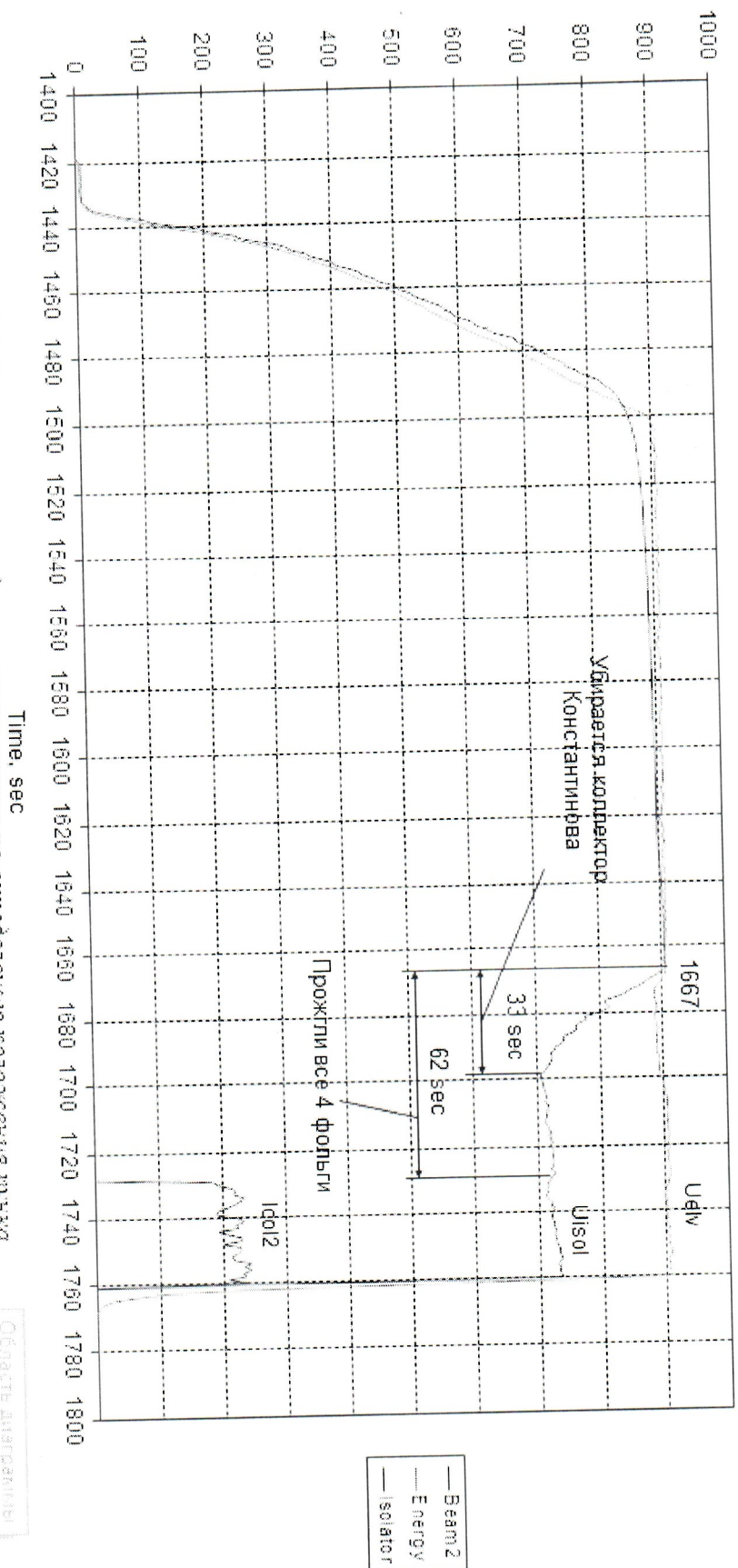


Рис. 1.3. Результаты проведения эксперимента по определению положения пучка

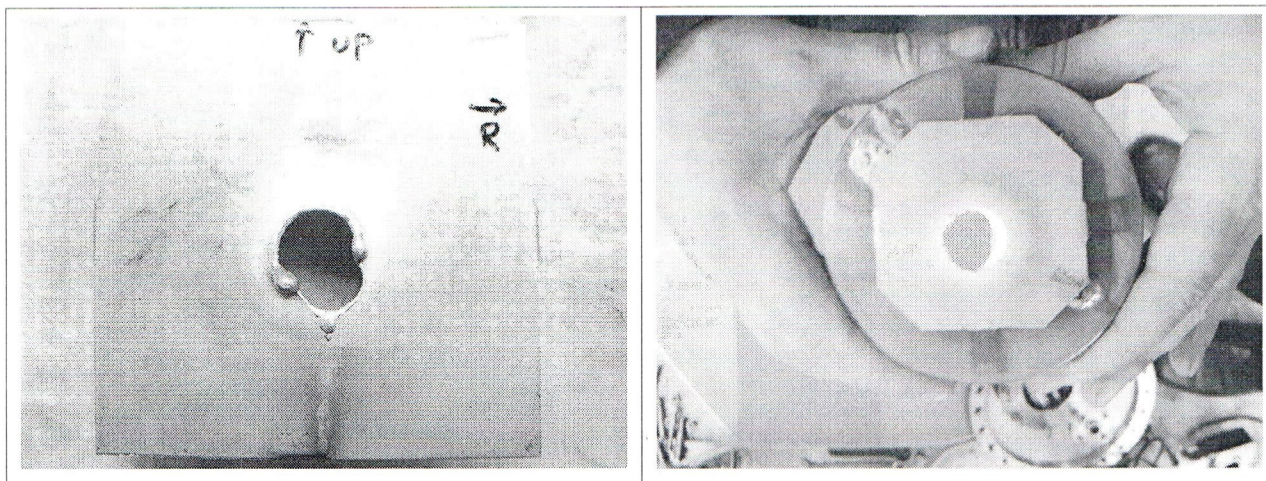


Рис 1.4., 1.5. Фольги

Размещение датчиков

При прохождении через высокоэнергетический тракт пучок фокусируется парой квадрупольных линз, на выходах линз размещаем датчики д1, д2 с помощью которых будем следить за правильной фокусировкой. Затем пучок отклоняется на 90 градусов в вертикальной плоскости поворотным магнитом. После поворотного магнита тоже необходимо поместить датчик д3. Далее пучок снова фокусируется парой квадрупольных линз, после каждой линзы помещаем датчики д4 и д5, проходит через систему магнитной развертки и попадает на нейтронно-образующую мишень. Для наблюдения за разверткой ставим датчик д6.

Квадрупольные линзы, поворотный магнит, развертка, а также литиевая мишень охлаждаются водой, устанавливаем датчики д7-10, которые будут контролировать температуру воды для каждой охлаждаемой подсистемы.

Расположение датчиков на установке:

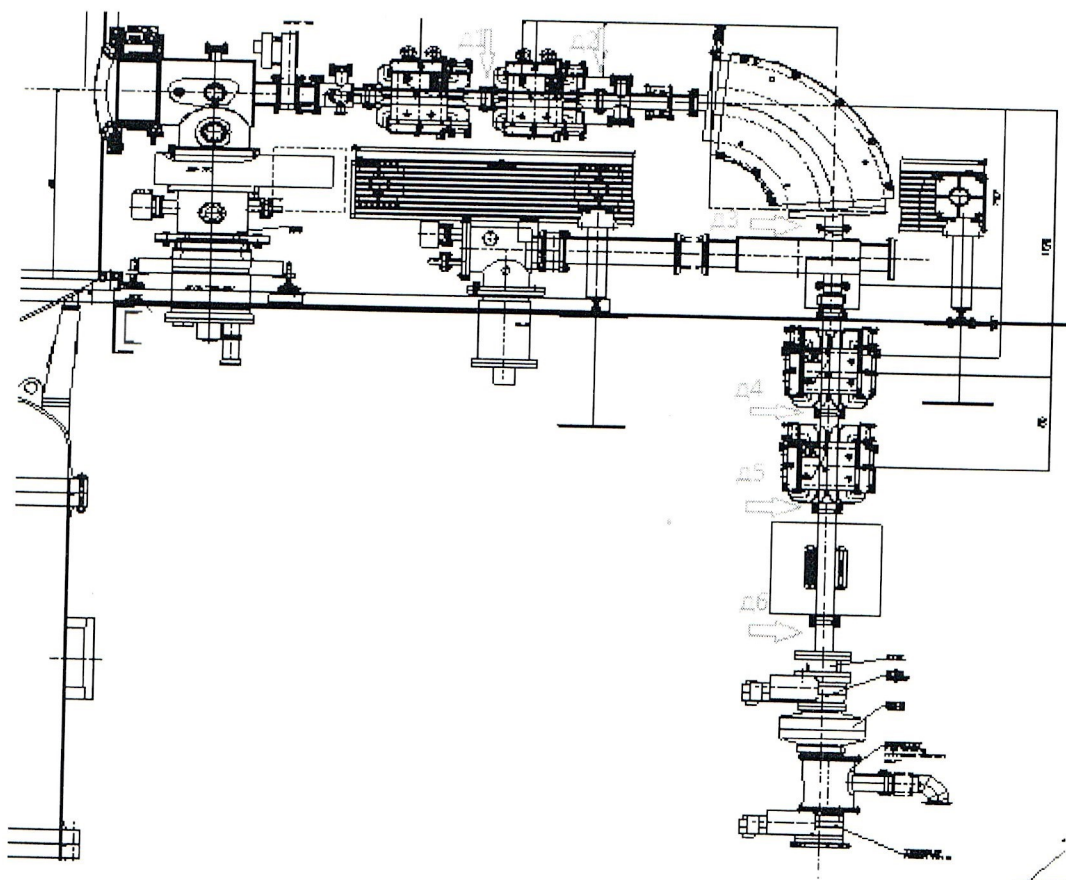


Рис. 1.6. Высокоэнергетический тракт.

Оборудование

Для контроля температуры в качестве тестового варианта был выбран электронный модуль MP707 - это многоканальный цифровой термометр, подключаемый к персональному компьютеру через USB-порт. Общий вид устройства представлен на рис 1.7

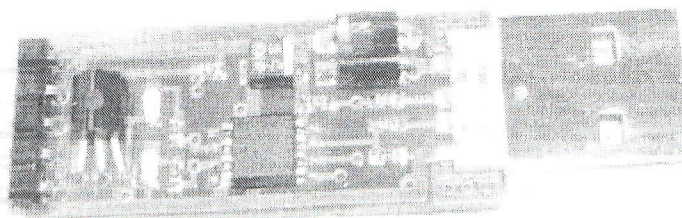


Рис.1.7. Общий вид устройства.

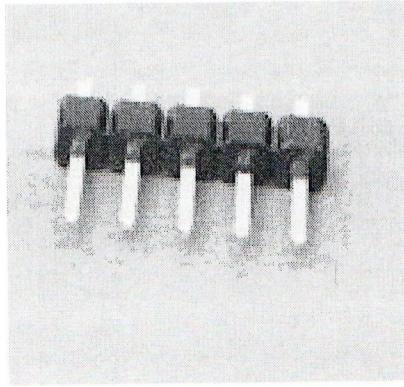


Рис. 1.10. Штыревые соединения

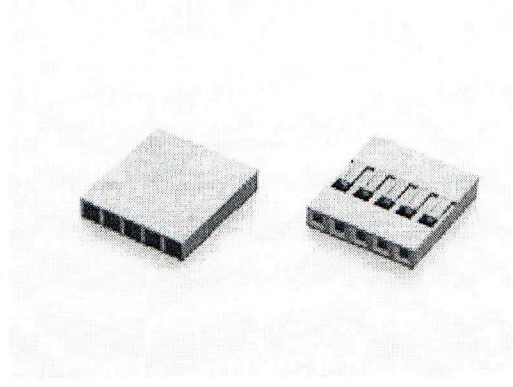


Рис. 1.11. Гнезда BLS-5

Данные с датчиков считываются электронным модулем MP707, подключенным к серверу, и сохраняются в файл, к файлу открыт общий доступ. Данные из файла обрабатываются и визуализируются программным обеспечением, которое было написано мной. Пользовательский интерфейс программы показан на рис 1.15.



Рис. 1.12. Блок-схема

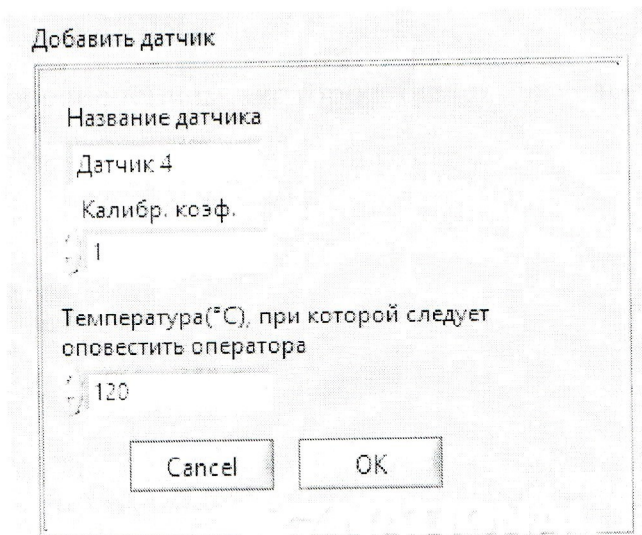


Рис. 1.13. Меню добавления датчиков

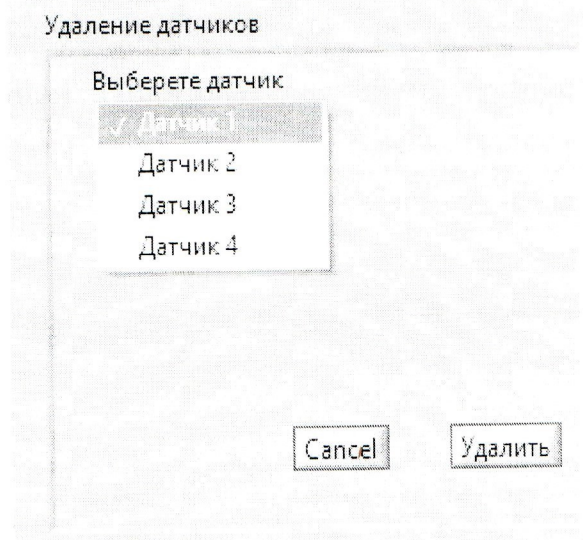


Рис. 1.14. Меню удаления датчиков

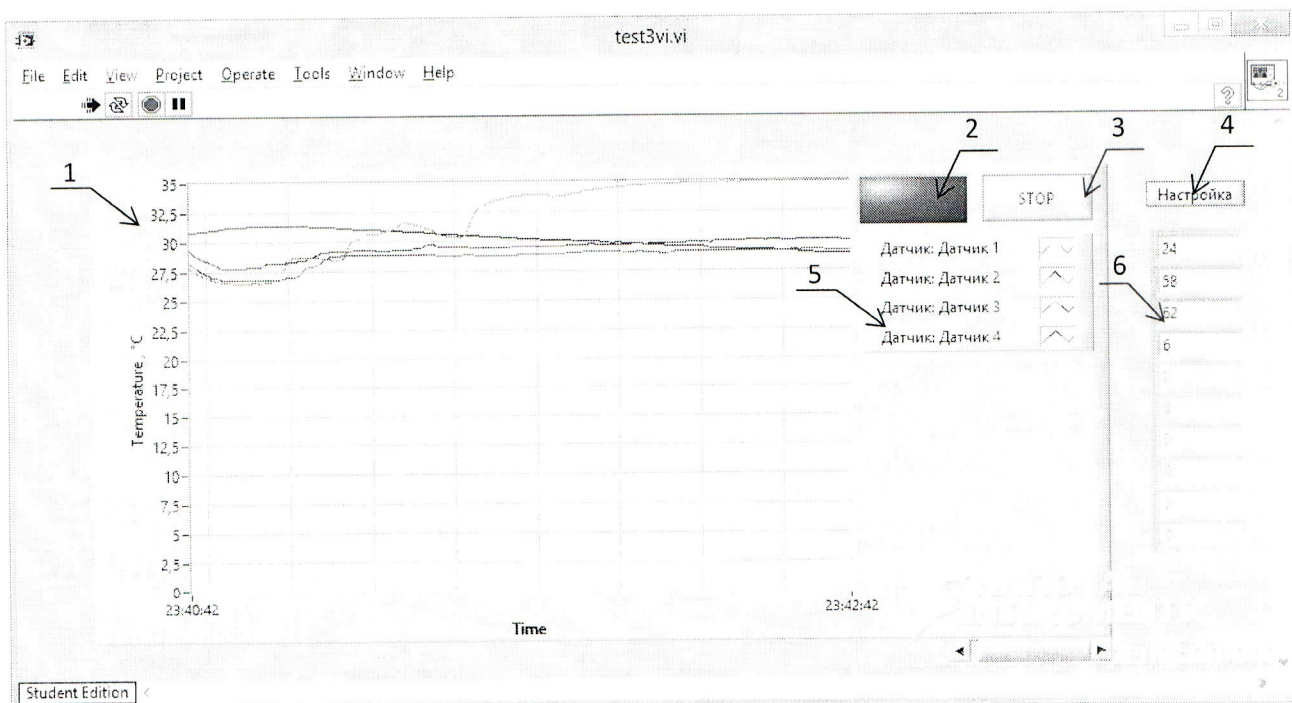


Рис. 1.15. Окно пользовательского интерфейса

Функции программы:

1. Динамическое добавление и удаление датчиков
2. Вывод данных на график
3. Оповещение оператора о предаварийных ситуациях
4. Обработка аварийных ситуаций.

Описание интерфейса:

1. График.
2. Индикатор предаварийных ситуаций.
3. Кнопка СТОП останавливает работу программы.
4. Кнопка вызова меню добавления и удаления датчиков рис. 1.13., 1.14.
5. Панель с названиями датчиков и соответствующими им цветами графиков.

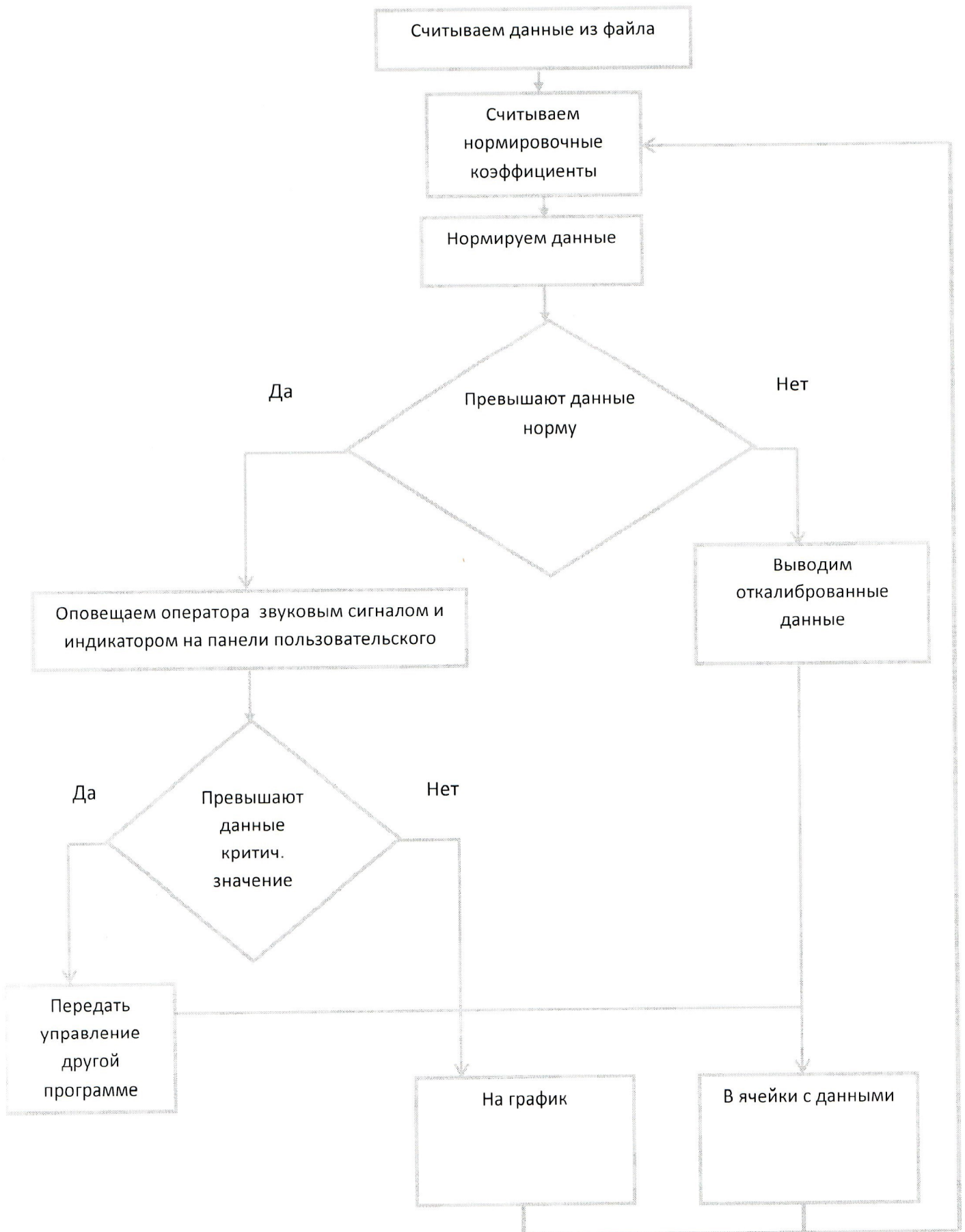


Рис. 1.16. Блок-схема программного обеспечения.

На рисунке 1.16 приведена блок-схема работы программы. Программа считывает данные из файла, который находится на сервере, нормирует в соответствии с нормировочными коэффициентами. Далее идет проверка данных, не превышают ли они норму, которую нужно было установить во время добавления датчиков, если превышают, то подается звуковой сигнал, загорается индикатор 2, далее идет проверка не превышают ли данные критического значения, если превышают, то управление передаётся программе контролирующей напряжение. Далее выводятся данные на экран: график 1 и ячейки 6. Если данные не превышают нормы, то выводятся в виде графика 1 и ячеек 6.

Программа была протестирована с датчиками, в настоящий момент ведутся работы по согласованию протокола действий при аварийных ситуациях.

Подготовка к эксперименту

Для проведения эксперимента нужно было протестировать датчики, в качестве наиболее простого способа тестирования, использовался нагрев в воде. В результате тестирования было определено, что показания датчиков соответствовали ожидаемым результатам - при кипении воды датчики показывали температуру 100°C с хорошей точностью (менее 1%). На рис 1.17 изображено главное окно программы и показания датчиков. На графике хорошо видны области нагрева воды, кипения и остывания.

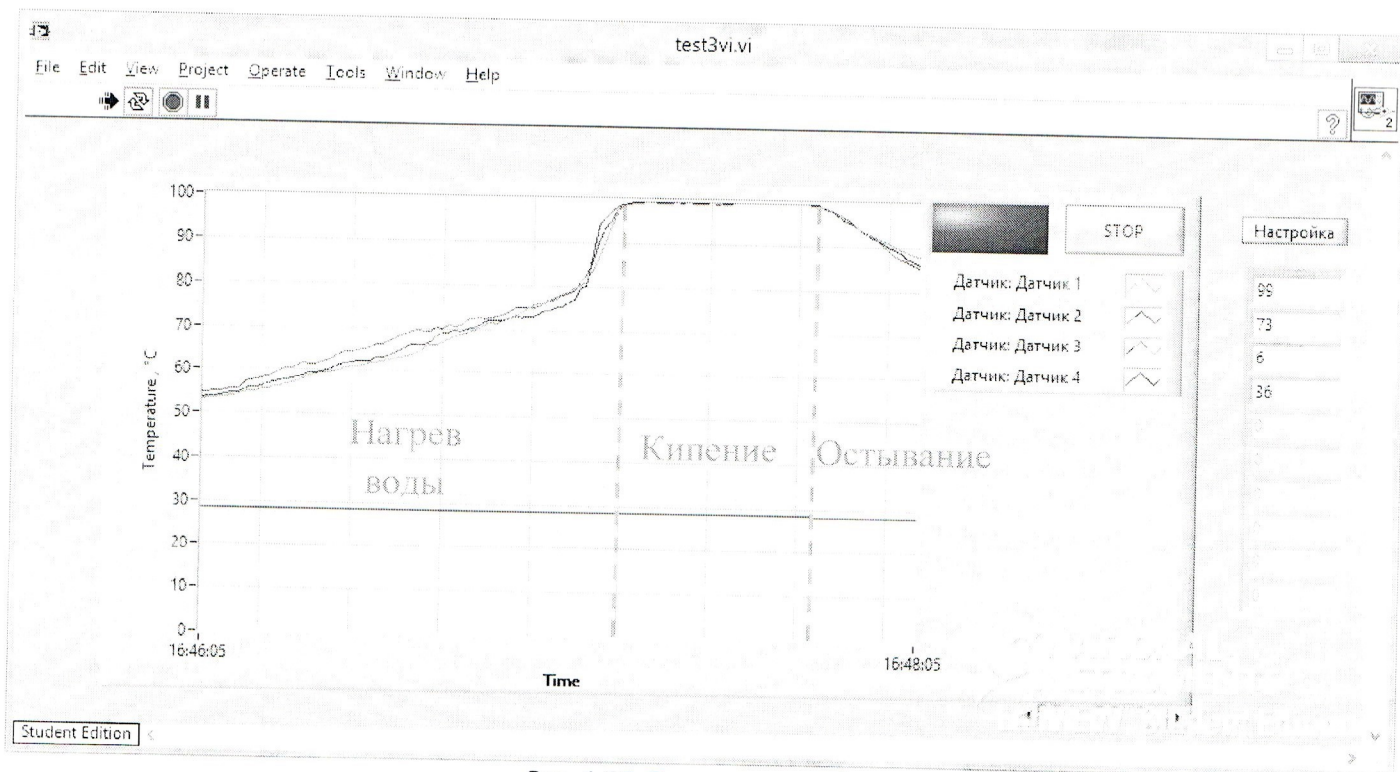


Рис. 1.17. Тестирование датчиков

Предварительные расчеты

Основные режимы работы при напряжении 920кэВ, 860кэВ и ускоряющем напряжении 1.8МэВ и 1.7МэВ соответственно.

$$P = W \cdot I \quad t = \frac{C \cdot m \cdot T_0}{P}$$

Рассчитаем время нагрева для трубки вакуумной камеры. Трубка сделана из стали 12Х18Н10Т, её внешний радиус 32.5 мм, толщина стенок 2.5 мм, длина 300 мм. Теплоемкость стали: $462 \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{К}}$, плотность: $7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
 объем: $V = \pi \cdot (R_{\text{внеш}}^2 - R_{\text{внут}}^2) \cdot L = 3.14 \cdot (0.035^2 - 0.0325^2) \cdot 0.3 = 1.473 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$

$$m = \rho \cdot V = 7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1.473 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 1.163 \text{ кг}$$

В предварительных расчетах, будем пренебрегать теплопроводностью, считая, что тепло успевает распространиться по всему объему.

I, mA	W, МэВ	S, см ²	P, Вт	t(T=353K), сек	t(T=1773K), сек
0.1	1.7	1.26·10 ⁻³	173	1.3·10 ³	6.6·10 ³
0.5			865	264	1.3·10 ³
1			1.73·10 ³	132	663
5			8.65·10 ³	26.4	132.6
10			17.3·10 ³	13.2	66.3

Рис. 1.18. Оценочное время нагрева, для разных значений тока пучка.

Во время эксперимента будем работать с малыми токами, чтобы не повредить вакуумную камеру. Далее аппроксимируем полученные значения, зная, что у тока и мощности прямая зависимость.

При нагреве вакуумной камеры, начнет портиться вакуум за счет выделения газа со стенок. Время нагрева будет минимальным при максимальном токе и энергии пучка. Из таблицы выше мы видим, что при максимальном токе в 10 мА и энергии 1.73 МэВ, время нагрева до 80°С составляет 13 сек, и до температуры плавления стали 66.3 сек.

Развитие диагностики

Предварительные расчеты показывают, что время на принятие решения составляет порядка 13 сек. Предполагается провести эксперименты с малым пучком, чтобы подтвердить расчеты, а так же проверить функциональные возможности программы. Значения температуры, используемые для теста это оповещение при 40 и критическая - 60. Этого достаточно, чтобы проверить работоспособность в системе.

В результате работ стало понятно, что такая диагностика нужна комплексу для предотвращения аварийных ситуаций. Ее преимущества: понятный принцип работы и простота. В будущем планируется развивать диагностику. В частности используемый для измерения температуры электронный модуль MP707, заменить контроллером серии ADAM, который

позволяет отвязаться от ПК и передавать данные с опрошенных датчиков напрямую через Ethernet “без посредников”. Скорость опроса (10 опросов/сек) не является ограничением в данной диагностической системе.

Вывод

Изучены принципы работы ускорителя тандем-БНЗТ. В ходе проделанной работы, был изучен электронный модуль MP707 и датчики DS18B20, была разработана и протестирована работа программного обеспечения с электронным модулем. Также была показана эффективность термодиагностики, как инструмента отслеживания аварийных ситуаций на ускорителе-тандеме БНЗТ. Планируется развитие диагностики.

Список литературы

1. Статические высоковольтные процессы при работе тандема с вакуумной изоляцией: Методическое пособие / В.И.Алейник, А.А. Иванов, А.С.Кузнецов, И.Н.Сорокин. ИЯФ, 2011;
2. LabVIEW для всех: Учебное пособие / Дж.Трэвис, Дж. Кринг. 2008г.
3. LabVIEW. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы: Учебное пособие / Баран Е.Д.
4. www.masterkit.ru Мастер кит, электронные наборы, блоки и модули
5. Ускорительная концепция нейтронозахватной терапии. I. Ускорители (обзор) / С.Ю.Таскаев. ИЯФ 2011-15;
6. LabVIEW 7: справочник по функциям. Суранов А. Я. - М.: ДМК Пресс, 2005. - 512 с. ISBN 5-94074-207-6