

Федеральное агентство научных организаций РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)

УДК 539.1; 539.12; 539.123

№ госрегистрации 114090170010

Инв.№

УТВЕРЖДАЮ

директор ИЯИ РАН д.т.н.

Л.В.Кравчук

19 января 2016 года



ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ; ФИЗИКА ПУЧКОВ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
(промежуточный за 2015 год)
0031-2014-0069

Научный руководитель
заместитель директора по научной работе
д.ф.-м.н.



А.В.Фещенко
19 января 2016 года

Москва 2016

Федеральное агентство научных организаций РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)

УДК 539.1; 539.12; 539.123

№ госрегистрации 114090170010

Инв.№

УТВЕРЖДАЮ

директор ИЯИ РАН д.т.н.

Л.В.Кравчук

19 января 2016 года

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ; ФИЗИКА ПУЧКОВ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
(промежуточный за 2015 год)
0031-2014-0069

Научный руководитель
заместитель директора по научной работе
д.ф.-м.н.

А.В.Фещенко

19 января 2016 года

Москва 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы д.ф.-м.н.



А.В.Фещенко (реферат, введение,
разделы 1-4, заключение)

19.01.2016

РЕФЕРАТ

Отчёт содержит: 23 с., 4 табл.

СИЛЬНОТОЧНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ, ИСТОЧНИК ПРОТОНОВ, ИНЖЕКТОР ПРОТОНОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ УСКОРИТЕЛЯ, ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ИОН, АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР, ДИАГНОСТИКА ПУЧКОВ, ФОРМА СГУСТКА, СВЕТИМОСТЬ ПУЧКА, КАНАЛЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ, ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Линейный ускоритель ионов водорода ИЯИ РАН относится к классу высокоточных линейных ускорителей на средние энергии и является уникальной установкой национального и международного значения. Он является единственным в России ускорителем данного класса и самым крупным линейным ускорителем ионов водорода в Евроазиатском регионе. Со времени начала регулярной работы ускорителя на физические и прикладные задачи в 1993 году и по декабрь 2015 года проведено 118 сеансов, общей продолжительностью свыше 43300 часов, в том числе 5 сеансов продолжительностью свыше 1600 часов в 2015 году. Для обеспечения работы ускорителя проводятся постоянные ремонтно-профилактические работы по поддержанию его работоспособности, а также работы по его модернизации.

Выполнялись работы по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, пункт 15. Современные проблемы ядерной физики, в том числе физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты, а также физики атомного ядра, физики ускорителей заряженных частиц и детекторов, создание интенсивных источников нейтронов, мюонов, синхротронного излучения и их применения в науке, технологиях и медицине.

В 2015 году основные усилия были направлены на модернизацию каналов транспортировки пучка экспериментального комплекса на установки РАДЭКС, ИН-05 и СВЗ-100, а также обеспечению совместной работы ускорителя и экспериментального комплекса как единой научной установки. В связи с отказом от одновременной работы на несколько установок и деления пучка путем перезарядки отрицательных ионов водорода было принято решение о вертикальном смещении элементов магнитной оптики и их размещение на одной высотной отметке. В 2015 году были модернизированы каналы транспортировки на нейтронный источник ИН-06 и спектрометр по времени замедления в

свинце СВЗ-100. Был проведен сеанс работы ускорителя на установки РАДЭКС, ИН-05 и СВЗ-100 с энергией пучка протонов 209 МэВ.

Необходимость постоянного усовершенствования и модернизации систем ускорителя и экспериментального комплекса обусловлена рядом причин. Во-первых, изменением требований к параметрам пучка, во-вторых, необходимостью устранения отдельных, в ряде случаев существенных недостатков, которые обнаруживаются в процессе эксплуатации, и, в третьих, необходимостью перехода на новую элементную базу, новые приборы и комплектующие взамен снятых с производства. В ряде случаев модернизация требует проведения всесторонних исследований. В 2015 году проводились работы по модернизации большинства систем ускорителя, среди которых следует отметить систему ВЧ питания начальной части, инжекторы, ускоряющую систему основной части, большинство систем экспериментального комплекса, систему контроля и управления.

В процессе сооружения, запуска, эксплуатации и модернизации ускорителя был достигнут уникальный уровень понимания процессов в ускорителе и накоплен огромный опыт решения практических задач. Это обеспечило международное признание авторитета сотрудников Института и широкое применение их разработок не только в ИЯИ РАН, но и в ведущих ядерно-физических ускорительных научных центрах России и всего мира.

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат	3
Введение	6
Основные результаты	8
1 Обеспечение работы ускорителя	8
2 Модернизация ускорителя и каналов транспортировки пучков ЭК	11
3 Усовершенствование систем ускорителя и ЭК	14
4 Сотрудничество с Российскими и зарубежными научными центрами. Разработка элементов ускорителей для Российских и зарубежных научных центров	18
Заключение	22

ВВЕДЕНИЕ

Линейный ускоритель ионов водорода ИЯИ РАН относится к классу сильноточных линейных ускорителей на средние энергии и является уникальной установкой национального и международного значения. Он является единственным в России ускорителем данного класса и самым крупным линейным ускорителем ионов водорода в Евроазиатском регионе. Со времени начала регулярной работы ускорителя на физические и прикладные задачи в 1993 году и по декабрь 2015 года проведено 118 сеансов, общей продолжительностью свыше 43300 часов, в том числе 5 сеансов продолжительностью свыше 1600 часов в 2015 году. Для обеспечения работы ускорителя проводятся постоянные ремонтно-профилактические работы по поддержанию его работоспособности, а также работы по его модернизации.

Необходимость постоянного усовершенствования и модернизации систем ускорителя и экспериментального комплекса обусловлена рядом причин. Во-первых, изменением требований к параметрам пучка, во-вторых, необходимостью устранения отдельных, в ряде случаев существенных недостатков, которые обнаруживаются в процессе эксплуатации, и, в третьих, необходимостью перехода на новую элементную базу, новые приборы и комплектующие взамен снятых с производства. В ряде случаев модернизация требует проведения всесторонних исследований. В 2015 году проводились работы по модернизации большинства систем ускорителя, среди которых следует отметить систему ВЧ питания начальной части, инжекторы, ускоряющую систему основной части, большинство систем экспериментального комплекса, систему контроля и управления.

Выполнялись работы по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, пункт 15. Современные проблемы ядерной физики, в том числе физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты, а также физики атомного ядра, физики ускорителей заряженных частиц и детекторов, создание интенсивных источников нейтронов, мюонов, синхротронного излучения и их применения в науке, технологиях и медицине.

Работы проводились в следующих направлениях:

модернизация сильноточного линейного ускорителя протонов в Троицке, получение мегаваттной мощности в пучке;

развитие на этой основе троцкого ядерно-физического комплекса: создание мощных источников синхротронного, нейтронного и иных ядерных излучений;

создание новых перспективных ядерно-физических и ускорительных технологий в интересах экологически безопасной ядерной энергетики, ядерно-физической медицины, здравоохранения, систем безопасности и других отраслей;

развитие технологии мощных ускорителей электронов для фундаментальных, прикладных исследований и технологических применений;

участие в реализации проекта создания коллайдера тяжёлых ионов для исследования фазовых переходов и критических явлений в ядерной материи при высоких температурах и плотностях;

участие в разработке методик и создании аппаратуры Курчатовского источника синхротронного излучения и Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (XFEL) и проведение исследований на них;

В процессе сооружения, запуска, эксплуатации и модернизации ускорителя был достигнут уникальный уровень понимания процессов в ускорителе и накоплен огромный опыт решения практических задач. Это обеспечило международное признание авторитета сотрудников Института и широкое применение их разработок не только в ИЯИ РАН, но и в ведущих ядерно-физических ускорительных научных центрах России и всего мира. В 2015 году проводились совместные работы, а также работы по договорам со следующими организациями: ОИЯИ, ИФВЭ, ЦЕРН, DESY (Германия), GSI (Германия), FRIB (Мичиганский университет, США), FTSC (Англия).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Отдел ускорительного комплекса

Руководитель работ д.ф.-м.н. А.В.Фещенко.

В отчёте представлены результаты фундаментальных и прикладных работ, проведённых по государственному заданию в соответствии с планом научных исследований ИЯИ РАН на 2015 год.

1 Обеспечение работы ускорителя.

Список исполнителей

1.	Артюшин Александр Петрович	гл.инж.устан.ЭК
2.	Белов Александр Степанович	зав.лабораторией, к/н
3.	Брагин Сергей Евгеньевич	научный сотрудник
4.	Бурсова Наталья Ивановна	вед.инженер-констр.
5.	Быков Сергей Сергеевич	лаборант
6.	Варламов Геннадий Владимирович	вед.инженер-электроник
7.	Васильев Иван Андреевич	научный сотрудник
8.	Васина Нина Гавриловна	техник
9.	Венгер Ирина Романовна	Ст. инженер
10.	Ветохов Вячеслав Михайлович	начальник установки
11.	Володкевич Ольга Михайловна	научный сотрудник
12.	Гаврилов Сергей Александрович	научный сотрудник
13.	Гаврилова Наталья Николаевна	вед.инженер
14.	Гаврилюк Юрий Яковлевич	старший инженер
15.	Гайдаш Виктор Александрович	вед.инженер-электроник
16.	Голубовский Станислав Евгеньевич	ст.инженер по ЭУ
17.	Горбатова Раиса Евгеньевна	старший лаборант
18.	Горбунов Владимир Кузьмич	нач-к установок
19.	Готовцев Юрий Николаевич	ведущий инженер по ЭУ
20.	Грехов Олег Викторович	нач-к службы
21.	Грехова Елена Дмитриевна	ст.инженер по ЭУ
22.	Гречко Владимир Васильевич	зам.гл.инж.ОУК
23.	Долгов Евгений Викторович	вед.инженер по ЭУ
24.	Жвакин Игорь Михайлович	инженер по ЭУ
25.	Железов Игорь Николаевич	вед.инженер-констр.
26.	Зиновьев Геннадий Павлович	зам.зав.отделом
27.	Зубец Валерий Николаевич	научный сотрудник
28.	Калинин Юрий Жоржевич	зав.лабораторией, к/н
29.	Калинина Татьяна Васильевна	техник по ЭУ
30.	Калихов Борис Владимирович	вед.инженер по ЭУ
31.	Калихов Владимир Борисович	нач-к службы
32.	Кваша Адольф Иванович	зав.сектором, к/н
33.	Киселев Юрий Васильевич	зав.лабораторией, к/н
34.	Кленов Виктор Сергеевич	научный сотрудник
35.	Кобзев Леонид Николаевич	ст. инженер по ЭУ
36.	Колпак Николай Игнатьевич	электромонтажник бр.
37.	Колыхалов Николай Александрович	вед.инженер по ЭУ
38.	Копин Владимир Сергеевич	вед.инженер по ЭУ

39.	Краюшкин Дмитрий Игоревич	ст.инженер по ЭУ
40.	Кубалов Сергей Алексеевич	вед.инженер по ЭУ
41.	Кузьмин Олег Спартакович	вед.инженер по ЭУ
42.	Кутузов Валерий Александрович	зав.сектором
43.	Лебедева Наталья Федоровна	вед.инженер-электроник
44.	Леонтьев Владимир Николаевич	заведующий сектором
45.	Лопатников Юрий Михайлович	начальник установок
46.	Лопатовский Георгий Юрьевич	ведущий инженер
47.	Лоскутов Владимир Евгеньевич	нач-к установок
48.	Мартынов Александр Евгеньевич	вакуумщик-испытат.
49.	Мельников Виктор Михайлович	ст.инженер по ЭУ
50.	Микляев Дмитрий Викторович	слесарь КИПиА 4р.
51.	Михайлов Владимир Никитович	вед.инженер по ЭУ
52.	Моисеев Василий Александрович	научный сотрудник
53.	Мосунов Владимир Георгиевич	вед.инженер по ЭУ
54.	Набока Александр Николаевич	нач-к установок
55.	Назаренко Валерия Витальевна	вед.инженер-констр.
56.	Нечаева Лидия Поликарповна	ст.н.с., к/н
57.	Никулин Евгений Семенович	научный сотрудник
58.	Парамонов Валентин Витальевич	вед.н.с., д/н
59.	Петров Геннадий Валентинович	ведущий инженер по ЭУ
60.	Прус Александр Михайловч	ст.инженер по ЭУ
61.	Редькин Юрий Николаевич	вед.инженер по ЭУ
62.	Рейнгардт-Никулин Петр Игоревич	научный сотрудник
63.	Рыбаков Иван Викторович	Инженер
64.	Свириденко Михаил Павлович	инженер по ЭУ
65.	Семина Татьяна Васильевна	старший лаборант
66.	Серов Валерий Львович	главный инж.ОУК
67.	Сильниченко Владимир Николаевич	вед.инженер по ЭУ
68.	Столяров Алексей Стефанович	слесарь
69.	Стрижов Анатолий Константинович	начальник установок
70.	Тараничева Наталья Михайловна	старший лаборант
71.	Толкачева Нина Сергеевна	техник
72.	Торопова Лариса Александровна	инж.электр.
73.	Турбабин Александр Васильевич	вед.инженер по ЭУ
74.	Фещенко Александр Владимирович	Зам. директора
75.	Филимонов Геннадий Александрович	ведущий инженер по ЭУ
76.	Фролов Олег Тимофеевич	научный сотрудник
77.	Ханжина Татьяна Николаевна	ст.инж.-констр.
78.	Чернов Юрий Викторович	вед.инженер по ЭУ
79.	Шаталов Владимир Александрович	вед.инженер-электроник
80.	Ярилин Александр Алексеевич	начальник участка

1 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2015 году на сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведено пять сеансов, направленных на разработку технологии получения радиоизотопов и наработку радиоизотопов, на исследования и модернизацию ускорительного комплекса, а также на физическую программу Института. Общая продолжительность сеансов в 2015 году

составила более 1600 часов. Нарботка ускорителя по программе получения радиоизотопов составила свыше 80000 мкА·часов при среднем токе пучка до 130 мкА и энергии 143 МэВ. Впервые за весь период эксплуатации ускорителя была достигнута интегральная наработка за 12-часовую смену свыше 1400 мкА·часов. На установки экспериментального комплекса РАДЭКС нейтронный источник ИН-06 и спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце СВЗ-100 работы велись с энергией 209 МэВ.

Основными целями работы на экспериментальный комплекс являлись проверка работы оборудования и систем экспериментального комплекса после их модернизации, реализация методик проводки пучка по модернизированным каналам, измерение радиационной обстановки в экспериментальном зале, а также выполнение физической программы.

Среди ремонтно-профилактических и наладочных работ оборудования и инженерных сетей линейного ускорителя и экспериментального комплекса можно выделить: ремонт, ревизию и испытания оборудования систем ВЧ-питания основной части линейного ускорителя; ревизию и текущий ремонт блоков анодного питания ламповых усилителей датчиков системы СИПИ линейного ускорителя; ремонт и испытания оборудования системы ВЧ-питания начальной части ускорителя; профилактику и ремонт оборудования систем стабилизации ВЧ полей в резонаторах; ремонт оборудования системы стабилизации частоты АРЧ-Т; ремонт оборудования вакуумной системы ускорителя; ревизию и текущий ремонт электрооборудования ускорителя; ремонт систем водоохлаждения ускорителя; ремонт оборудования технологических систем экспериментального комплекса; монтаж и наладка системы измерения токов в источниках стабильного тока; ремонт и наладку источников стабильного тока ИСТ; монтаж и наладку устройств диагностики пучка на каналах транспортировки пучка на РАДЭКС, ИН-06 и СВЗ-100, изготовление электроники; монтажно-наладочные работы по системе нейтронного мониторинга в экспериментальном комплексе в части каналов транспортировки пучка протонов на установки ИН-06, СВЗ-100; работы по изменению высотного положения (перемещению) электромагнитного оборудования; юстировку электромагнитного оборудования и датчиков системы диагностики; монтаж и наладку дополнительных корректирующих магнитов; изготовление новых узлов ионопроводов; демонтаж и монтаж бетонных блоков перекрытия биологической защиты над каналами транспортировки пучка; работы по вакуумной системе экспериментального комплекса.

2 Модернизация ускорителя и каналов транспортировки пучков ЭК.

Список исполнителей:

1.	Артюшин Александр Петрович	гл.инж.устан.ЭК
2.	Белов Александр Степанович	зав.лабораторией, к/н
3.	Брагин Сергей Евгеньевич	научный сотрудник
4.	Брусова Наталья Ивановна	вед.инженер-констр.
5.	Варламов Геннадий Владимирович	вед.инженер-электроник
6.	Васильев Иван Андреевич	научный сотрудник
7.	Васина Нина Гавриловна	техник
8.	Ветохов Вячеслав Михайлович	начальник установки
9.	Володкевич Ольга Михайловна	научный сотрудник
10.	Гаврилов Сергей Александрович	научный сотрудник
11.	Гаврилова Наталья Николаевна	вед.инженер
12.	Гайдаш Виктор Александрович	вед.инженер-электроник
13.	Голубовский Станислав Евгеньевич	ст.инженер по ЭУ
14.	Горбатова Раиса Евгеньевна	старший лаборант
15.	Горбунов Владимир Кузьмич	нач-к установок
16.	Готовцев Юрий Николаевич	ведущий инженер по ЭУ
17.	Грехов Олег Викторович	нач-к службы
18.	Грехова Елена Дмитриевна	ст.инженер по ЭУ
19.	Гречко Владимир Васильевич	зам.гл.инж.ОУК
20.	Долгов Евгений Викторович	вед.инженер по ЭУ
21.	Жвакин Игорь Михайлович	инженер по ЭУ
22.	Железов Игорь Николаевич	вед.инженер-констр.
23.	Зубец Валерий Николаевич	научный сотрудник
24.	Калинин Юрий Жоржевич	зав.лабораторией, к/н
25.	Калинина Татьяна Васильевна	техник по ЭУ
26.	Калихов Борис Владимирович	вед.инженер по ЭУ
27.	Калихов Владимир Борисович	нач-к службы
28.	Кваша Адольф Иванович	зав.сектором, к/н
29.	Киселев Юрий Васильевич	зав.лабораторией, к/н
30.	Кленов Виктор Сергеевич	научный сотрудник
31.	Кобзев Леонид Николаевич	ст. инженер по ЭУ
32.	Колпак Николай Игнатьевич	электромонтажник бр.
33.	Колыхалов Николай Александрович	вед.инженер по ЭУ
34.	Копин Владимир Сергеевич	вед.инженер по ЭУ
35.	Краюшкин Дмитрий Игоревич	ст.инженер по ЭУ
36.	Кубалов Сергей Алексеевич	вед.инженер по ЭУ
37.	Кузьмин Олег Спартакович	вед.инженер по ЭУ
38.	Кутузов Валерий Александрович	зав.сектором
39.	Лебедева Наталья Федоровна	вед.инженер-электроник
40.	Леонтьев Владимир Николаевич	заведующий сектором
41.	Лопатников Юрий Михайлович	начальник установок

42.	Лопатовский Георгий Юрьевич	ведущий инженер
43.	Лоскутов Владимир Евгеньевич	нач-к установок
44.	Мартынов Александр Евгеньевич	вакуумщик-испытат.
45.	Мельников Виктор Михайлович	ст.инженер по ЭУ
46.	Микляев Дмитрий Викторович	слесарь КИПиА 4р.
47.	Михайлов Владимир Никитович	вед.инженер по ЭУ
48.	Моисеев Василий Александрович	научный сотрудник
49.	Мосунов Владимир Георгиевич	вед.инженер по ЭУ
50.	Набока Александр Николаевич	нач-к установок
51.	Назаренко Валерия Витальевна	вед.инженер-констр.
52.	Нечаева Лидия Поликарповна	ст.н.с., к/н
53.	Никулин Евгений Семенович	научный сотрудник
54.	Петров Геннадий Валентинович	ведущий инженер по ЭУ
55.	Прус Александр Михайловч	ст.инженер по ЭУ
56.	Редькин Юрий Николаевич	вед.инженер по ЭУ
57.	Рейнгардт-Никулин Петр Игоревич	научный сотрудник
58.	Рыбаков Иван Викторович	Инженер
59.	Свириденко Михаил Павлович	инженер по ЭУ
60.	Серов Валерий Львович	главный инж.ОУК
61.	Сильниченко Владимир Николаевич	вед.инженер по ЭУ
62.	Столяров Алексей Стефанович	слесарь
63.	Стрижов Анатолий Константинович	начальник установок
64.	Толкачева Нина Сергеевна	техник
65.	Турбабин Александр Васильевич	вед.инженер по ЭУ
66.	Фещенко Александр Владимирович	Зам. директора
67.	Филимонов Геннадий Александрович	ведущий инженер по ЭУ
68.	Фролов Олег Тимофеевич	научный сотрудник
69.	Ханжина Татьяна Николаевна	ст.инж.-констр.
70.	Чернов Юрий Викторович	вед.инженер по ЭУ
71.	Шаталов Владимир Александрович	вед.инженер-электроник
72.	Ярилин Александр Алексеевич	начальник участка

2 Содержание работ

В 2015 году была продолжена модернизация каналов и оборудования экспериментального комплекса с целью обеспечения более устойчивой и надежной транспортировки пучков на экспериментальные установки. В связи с отказом от одновременной работы на несколько установок и деления пучка путем перезарядки отрицательных ионов водорода было принято решение о вертикальном смещении элементов магнитной оптики и их размещение на одной высотной отметке. В 2015 году были модернизированы каналы транспортировки на нейтронный источник ИН-06 и спектрометр по времени замедления в свинце СВЗ-100. Были модернизированы система

питания электромагнитных элементов, вакуумная система, система измерения потерь, система диагностики пучка, система контроля и управления, система стационарного дозиметрического контроля, а также защита радиационная защита. Например, в процессе модернизации системы диагностики разработаны, изготовлены и смонтированы 2 индукционных датчика тока, 2 многопроволочных профилометра. Разработана и изготовлена электроника для 11 электростатических датчиков положения пучка, и 32 ионизационных камер. На основе ионизационных камер создана система быстрой аварийной защиты. Разработана и создана система защиты по разности токов пучка на основе индукционных датчиков. Разработана, изготовлена и смонтирована система нейтронного мониторинга потерь пучка вдоль каналов транспортировки. Модернизирована система контроля и обеспечено управление системами экспериментального комплекса с центрального пульта ускорителя.

Комплекс выполненных работ позволил провести сеанс работы ускорителя на установки РАДЭКС, ИН-06 и СВЗ-100. Во время сеанса были проведены измерения радиационной обстановки в экспериментальном зале и смежных помещениях при интенсивности пучка около 1 мкА при работе на СВЗ-100 и около 10 мкА при работе на РАДЭКС и ИН-06. При указанных параметрах пучка радиационная обстановка в экспериментальном зале и смежных помещениях не создаёт трудностей для организации и проведения работ персоналом групп А (зал и смежные помещения) и Б (смежные помещения), однако, требует проведения определённых организационно-технических мероприятий. Также осуществлялась подача пучка на установку РАДЭКС с целью выполнения физической программы.

3 Усовершенствование систем ускорителя и ЭК

Список исполнителей

1.	Артюшин Александр Петрович	гл.инж.устан.ЭК
2.	Белов Александр Степанович	зав.лабораторией, к/н
3.	Брагин Сергей Евгеньевич	научный сотрудник
4.	Брусова Наталья Ивановна	вед.инженер-констр.
5.	Варламов Геннадий Владимирович	вед.инженер-электроник
6.	Васильев Иван Андреевич	научный сотрудник
7.	Васина Нина Гавриловна	техник
8.	Ветохов Вячеслав Михайлович	начальник установки
9.	Володкевич Ольга Михайловна	научный сотрудник
10.	Гаврилов Сергей Александрович	научный сотрудник
11.	Гаврилюк Юрий Яковлевич	старший инженер
12.	Гайдаш Виктор Александрович	вед.инженер-электроник
13.	Голубовский Станислав Евгеньевич	ст.инженер по ЭУ
14.	Горбунов Владимир Кузьмич	нач-к установок
15.	Готовцев Юрий Николаевич	ведущий инженер по ЭУ
16.	Грехов Олег Викторович	нач-к службы
17.	Грехова Елена Дмитриевна	ст.инженер по ЭУ
18.	Гречко Владимир Васильевич	зам.гл.инж.ОУК
19.	Долгов Евгений Викторович	вед.инженер по ЭУ
20.	Жвакин Игорь Михайлович	инженер по ЭУ
21.	Железов Игорь Николаевич	вед.инженер-констр.
22.	Зубец Валерий Николаевич	научный сотрудник
23.	Калинин Юрий Жоржевич	зав.лабораторией, к/н
24.	Калихов Борис Владимирович	вед.инженер по ЭУ
25.	Калихов Владимир Борисович	нач-к службы
26.	Кваша Адольф Иванович	зав.сектором, к/н
27.	Киселев Юрий Васильевич	зав.лабораторией, к/н
28.	Кленов Виктор Сергеевич	научный сотрудник
29.	Колпак Николай Игнатьевич	электромонтажник бр.
30.	Колыхалов Николай Александрович	вед.инженер по ЭУ
31.	Копин Владимир Сергеевич	вед.инженер по ЭУ
32.	Краюшкин Дмитрий Игоревич	ст.инженер по ЭУ
33.	Кубалов Сергей Алексеевич	вед.инженер по ЭУ
34.	Кузьмин Олег Спартакович	вед.инженер по ЭУ
35.	Кутузов Валерий Александрович	зав.сектором
36.	Лебедева Наталья Федоровна	вед.инженер-электроник
37.	Леонтьев Владимир Николаевич	заведующий сектором
38.	Лопатников Юрий Михайлович	начальник установок
39.	Лопатовский Георгий Юрьевич	ведущий инженер
40.	Лоскутов Владимир Евгеньевич	нач-к установок
41.	Мартынов Александр Евгеньевич	вакуумщик-испытат.
42.	Мельников Виктор Михайлович	ст.инженер по ЭУ
43.	Микляев Дмитрий Викторович	слесарь КИПиА 4р.
44.	Михайлов Владимир Никитович	вед.инженер по ЭУ
45.	Мосунов Владимир Георгиевич	вед.инженер по ЭУ
46.	Набока Александр Николаевич	нач-к установок

47.	Назаренко Валерия Витальевна	вед.инженер-констр.
48.	Нечаева Лидия Поликарповна	ст.н.с., к/н
49.	Никулин Евгений Семенович	научный сотрудник
50.	Парамонов Валентин Витальевич	вед.н.с.,д/н
51.	Петров Геннадий Валентинович	ведущий инженер по ЭУ
52.	Прус Александр Михайлович	ст.инженер по ЭУ
53.	Редькин Юрий Николаевич	вед.инженер по ЭУ
54.	Рейнгардт-Никулин Петр Игоревич	научный сотрудник
55.	Рыбаков Иван Викторович	Инженер
56.	Свириденко Михаил Павлович	инженер по ЭУ
57.	Серов Валерий Львович	главный инж.ОУК
58.	Сильниченко Владимир Николаевич	вед.инженер по ЭУ
59.	Стрижов Анатолий Константинович	начальник установок
60.	Турбабин Александр Васильевич	вед.инженер по ЭУ
61.	Фещенко Александр Владимирович	Зам. директора
62.	Филимонов Геннадий Александрович	ведущий инженер по ЭУ
63.	Фролов Олег Тимофеевич	научный сотрудник
64.	Ханжина Татьяна Николаевна	ст.инж.-констр.
65.	Чернов Юрий Викторович	вед.инженер по ЭУ
66.	Шаталов Владимир Александрович	вед.инженер-электроник
67.	Ярилин Александр Алексеевич	начальник участка

3 Содержание работ

В 2015 году выполнен комплекс работ по исследованию инжектора протонов для обеспечения его надежной и устойчивой работы с увеличенной в два раза, до 100 Гц, частотой повторения импульсов. Проведены исследования внутриимпульсных нестабильностей формы фазового портрета пучка на выходе инжектора и причин таких нестабильностей. Найдены способы уменьшения нестабильностей, основным из которых является устранение внутриимпульсной модуляции распределения потенциала по длине ускорительной трубки. В результате выполненных исследований был уменьшен эффективный эмиттанс пучка, что позволило уменьшить трудоемкость настройки ускорителя до приемлемого уровня потерь пучка.

На инжекторе и канале транспортировки отрицательных ионов водорода внедрен измеритель эмиттанса типа «перечница» с регистрацией профилей пучков на кварцевом стекле цифровой камерой с последующей обработкой.

В рамках развиваемого направления по созданию источников поляризованных частиц разработан проект измерителя поперечного фазового объема пучка нейтральных атомов водорода, предназначенный для исследования механизма формирования пучка атомов водорода в источниках с вакуумным сверхзвуковым соплом. Для регистрации размеров струйки, вырезаемой из потока атомов, предлагается использовать перемещаемый приводом с шаговым двигателем времяпролетный масс-спектрометр с ионизацией атомов электронным пучком. Сигналы с выхода масс-спектрометра будут

регистрироваться быстрым амплитудно-цифровым преобразователем с полосой пропускания не менее 100 МГц и памятью не менее 1Мб. Плата такого цифрового осциллографа со связью с компьютером через порт USB приобретена в 2015 г. Разрабатывается блок управления шаговым двигателем с микроконтроллером и программным комплексом для обеспечения связи с компьютером. Приобретены электронные компоненты. Проводятся макетные испытания.

Среди работ по модернизации системы ВЧ питания начальной части ускорителя следует отметить работы по переводу мощных модуляторов на генераторные триоды ГИ-71А вместо модуляторных триодов ГМИ-44А, снятых с производства. Без успешного решения этой задачи само дальнейшее существование ускорителя было бы невозможно. Следует отметить нестандартность решения – использование высокочастотных генераторных ламп в качестве импульсных модуляторных. При решении этой задачи были найдены технические решения, и проведена модернизация аппаратуры модуляторов, включая как непосредственно сами модуляторы так и подмодуляторы, сначала на одном канале усиления из семи. После в целом успешных испытаний и последующих доработок найденные решения были распространены еще на два канала. Достигнута номинальная ВЧ мощность в ускоряющих резонаторах. Проведены успешные испытания модернизированного оборудования в двух сеансах работы ускорителя.

В 2015 году проводились исследования возможности замены первого ускоряющего резонатора основной части ускорителя на новый. Необходимость такой замены обусловлена снижением электрической прочности существующего резонатора, и, как следствие, снижением надежности работы ускорителя и ограничением интенсивности пучка. При решении этой проблемы завершено сравнение электродинамических и технологических характеристик возможных ускоряющих структур. Рассмотрены как апробированные в интенсивных ускорителях структуры, так и предложенные перспективные разработки. Показано, что, при обеспечении необходимых ВЧ характеристики, для замены первого резонатора наиболее целесообразно применение разработанной в ИЯИ РАН структуры CDS. Обладая меньшими в два раза поперечными размерами, структура требует существенно меньших финансовых затрат при изготовлении и настройке. Из известных структур CDS является единственной, в конструкции которой можно выполнить каналы охлаждения без паяных соединений вода-вакуум, что повысит надежность эксплуатации резонатора. Начата проработка структуры с целью максимальной унификации размеров ячеек во всех четырех секциях резонатора, разработка методики настройки и ВЧ тренировки структуры.

В 2015 году были модернизированы каналы транспортировки на нейтронный источник ИН-06 и спектрометр по времени замедления в свинце СВЗ-100. Все магнитные элементы были смещены по вертикали и установлены на одном уровне. Данный уровень не совпадает с высотными координатами как ИН-06, так и СВЗ-100, поэтому на участках дрейфа перед этими установками были установлены дополнительные дипольные корректирующие магниты. Существенной модернизации подверглись системы диагностики пучка и потерь пучка. Так изготовлены и смонтированы 2 индукционных датчика тока, 2 многопроволочных профилометра, разработана, изготовлена, смонтирована и электроника для 11 электростатических датчиков положения пучка и 32 ионизационных камер и 32 нейтронных детекторов. На основе ионизационных камер создана система быстрой аварийной защиты, а на основе нейтронных детекторов - смонтирована система нейтронного мониторинга потерь пучка вдоль каналов транспортировки. Разработана и создана система защиты по разности токов пучка на основе индукционных датчиков. Создана система стационарного гамма-контроля. Начата модернизация 32 существующих профилометров. Модернизирована система контроля и управления источниками питания электромагнитным оборудованием. Управление источниками питания, а также контроль параметров пучка и потерь пучка обеспечивается с центрального пульта ускорителя. Обеспечено управление системами экспериментального комплекса с центрального пульта ускорителя.

Существенной модернизации подверглась вакуумная система. Среди выполненных работ можно отметить изготовление и установку новой вакуумной камеры на участке пересечения траекторий пучка на ИН-06 и СВЗ-100, замену высоковакуумных магниторазрядных насосов и постов предварительной откачки, модернизацию элементов ионопровода в связи с изменением высотных отметок и пр.

3 Публикации, индексируемые в WoS

1. E.S. Nikulin, A.S. Belov, O.T. Frolov, L.P. Nechaeva, A.V. Turbabin, V.N. Zubets "Analysis of 400kV Pulse Generator Operation". ISSN 1562-6016. PROBLEMS OF ATOMIC SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2015, N3 (97). Series: Nuclear Physics Investigations (64), p.123-126

4 Сотрудничество с Российскими и зарубежными научными центрами. Разработка элементов ускорителей для Российских и зарубежных научных центров.

Список исполнителей:

1.	Белов Александр Степанович	зав.лабораторией, к/н
2.	Брусова Наталья Ивановна	вед.инженер-констр.
3.	Васильев Иван Андреевич	научный сотрудник
4.	Венгер Ирина Романовна	Ст. инженер
5.	Володкевич Ольга Михайловна	научный сотрудник
6.	Гаврилов Сергей Александрович	научный сотрудник
7.	Гаврилюк Юрий Яковлевич	старший инженер
8.	Гайдаш Виктор Александрович	вед.инженер-электроник
9.	Готовцев Юрий Николаевич	ведущий инженер по ЭУ
10.	Железов Игорь Николаевич	вед.инженер-констр.
11.	Зиновьев Геннадий Павлович	зам.зав.отделом
12.	Зубец Валерий Николаевич	научный сотрудник
13.	Калинин Юрий Жоржевич	зав.лабораторией, к/н
14.	Киселев Юрий Васильевич	зав.лабораторией, к/н
15.	Кленов Виктор Сергеевич	научный сотрудник
16.	Михайлов Владимир Никитович	вед.инженер по ЭУ
17.	Набока Александр Николаевич	нач-к установок
18.	Парамонов Валентин Витальевич	вед.н.с., д/н
19.	Рейнгардт-Никулин Петр Игоревич	научный сотрудник
20.	Тараничева Наталья Михайловна	старший лаборант
21.	Турбабин Александр Васильевич	вед.инженер по ЭУ
22.	Фещенко Александр Владимирович	Зам. директора

4 Содержание работ

В 2015 году проводились исследования на стенде источника поляризованных ионов водорода и дейтерия ИЯИ РАН и участие в создании источника поляризованных ионов для проекта НИКА (ОИЯИ). Для источника поляризованных ионов ОИЯИ в соответствии с договором между ИЯИ РАН и ОИЯИ было разработано и изготовлено следующее оборудование: времяпролетный масс-спектрометр атомарного водородного пучка и блоки питания импульсного генератора плазмы, включая блок управления с оптоволоконной связью и блок импульсного вытягивающего напряжения с регулируемой амплитудой импульсов до 25 кВ, длительностью импульса до 400 мкс, частотой повторения до 1 Гц и стабильностью напряжения $\pm 3 \cdot 10^{-3}$. Были выполнены испытания аппаратуры на стенде источника поляризованных ионов водорода и дейтерия ИЯИ РАН, а затем на стенде в ОИЯИ.

По договору с ОИЯИ по теме «Создание опытных образцов оборудования диагностики пучка для LEBT ЛУ-20 и NILAC комплекса NICA ОИЯИ» изготовлено два

диагностических узлов для ускорителей ЛУ-20 и НЛАС, разработанные ранее, и включающие многопроводочные датчики профиля, индукционные датчики тока и цилиндры Фарадея, а также соответствующее электронное оборудование. Произведены сборка, юстировка, вакуумные и электрические испытания и поставка диагностических узлов заказчику.

Завершено выполнение НИР по договору с ИФВЭ по теме «Разработка технического проекта модернизации источника ионов водорода в каскаде ускорителей ЛУ-30 и У-1.5». При выполнении НИР разработана структурная схема источника, функциональные схемы систем питания и управления, принципиальные схемы генератора тока разряда, блока питания газового клапана, блока контроля подачи цезия, блока контроля температуры корпуса, генераторов вытягивающего напряжения 25 кВ и ускоряющего напряжения 100 кВ. Проведены расчеты ионно-оптической системы вытягивания и ускорения до 100 кэВ и ионно-оптической системы согласования пучка с входом начальной части ускорителя, разработаны и изготовлены макеты генератора тока разряда и блока питания газового клапана, определены технические требования к характеристикам и параметрам системы диагностики пучка ионов в канале согласования пучка, разработан чертеж общего вида источника.

Также по договору с ИФВЭ начата работа по теме «Разработка узлов источника ионов водорода Н-минус для каскада ускорителей ЛУ-30 и У-1.5». Завершены разработка, изготовление, наладка и испытания на эквиваленте нагрузки макета блока контроля подачи цезия и макета блока контроля температуры корпуса. Ведется разработка рабочих чертежей газоразрядной камеры и магнитной системы источника ионов, а также газового клапана.

В 2015 году продолжалось участие в эксперименте AEGIS (Antimatter Experiment, Gravity, Interferometry, Spectroscopy), выполняемого в ЦЕРНе на пучке антипротонов из антипротонного кольца AD. Целью эксперимента является получение холодных атомов антиводорода и измерение их свойств, включая измерение ускорения атомов антиводорода в гравитационном поле Земли. Для синтеза атомов антиводорода в ловушках заряженных частиц в сильном магнитном поле, создаваемым сверхпроводящим соленоидом, осуществляется смешивание позитронов и медленных антипротонов. Для позитронной аппаратуры из ИЯИ РАН в ЦЕРН ранее был поставлен прецизионный магнит, который был использован в аккумуляторе позитронов. В сеансе с антипротонным пучком в октябре – декабре 2015 года использовалась и позитронная аппаратура, из которой был получен пучок позитронов с параметрами, близкими к проектным значениям. Сотрудники ИЯИ РАН принимали участие в проведении сеанса, в том числе в настройке

позитронной аппаратуры, настройке канала транспортировки позитронов в ловушку в сильном магнитном поле и настройке процесса образования атомов антиводорода методом смешивания захваченных в ловушки и охлажденных антипротонов и позитронов.

Продолжено выполнение НИР по договору с ЦЕРН, Швейцария по теме «Разработка, изготовление, лабораторные испытания, поставка и наладка измерителя продольного распределения заряда в сгустках для канала транспортировки из ускорителя Linac-4 в бустер». Закончено изготовление и выполнены сборка, наладка и лабораторные испытания как в ИЯИ РАН, так и в ЦЕРН. Измеритель подготовлен для установки на выходе ускорителя Linac-4.

Начато выполнение НИР по контракту с комплексом FRIB Мичиганского университета, США по теме «Разработка, изготовление, поставка и наладка Измерителя Формы Сгустков для Комплекса пучков редких изотопов (FRIB) MSU». Завершена разработка эскизного проекта и начато рабочее проектирование.

Продолжено выполнение НИР по контракту с лабораторией GSI, Германия по теме «Разработка, изготовление, испытания, поставка и наладка Измерителя формы сгустков (BSM) с тремя сменяемыми ВЧ дефлекторами и тремя сменяемыми электронными ВЧ трактами для линейных ускорителей GSI и проекта FAIR (линейный ускоритель протонов, ускоритель UNILAC и линейный ускоритель непрерывного действия)». Завершено изготовление оборудования, сборка, наладка и лабораторные испытания. Изготовленное оборудование подготовлено к отправке в GSI.

В рамках участия в проекте PITZ, ДЕЗИ, Цойтен выполнена работа по теме «Исследование, разработка и запуск электродинамических систем стенда фотоинжектора для исследование формирования сгустков электронов сверхвысокой яркости». С участием ИЯИ РАН на установке PITZ произведен физический пуск системы поперечного отклонения сгустков электронов, что позволило начать исследования продольного распределения частиц в сгустке. Достигнут уровень отклоняющего напряжения 50% от проектного, ограниченный в настоящее время уровнем отраженной мощности в ВЧ тракте. Выполнены измерения параметров тракта, позволившие разработать элемент ВЧ согласования. Завершена полная оптимизация конструкции и разработка физического проекта усовершенствованного резонатора фотоинжектора для международного проекта European XFEL. В сочетании предложенных и исследованных физических и конструкционных решений предложение превосходит по всем параметрам существующие аналоги.

В рамках участия в разработке и изготовлении систем диагностики пучка для Европейского лазера на свободных электронах XFEL, ДЕЗИ, Гамбург полностью завершено изготовление оборудования и монтаж в тоннеле ускорителя на участке энергии пучка 120 MeV всех элементов системы TDS Injector. Проведен полный цикл как автономных, так и комплексных испытаний элементов и система полностью подготовлена к запуску с пучком на высоком уровне ВЧ мощности. Продолжено изготовление и монтаж в тоннеле ускорителя оборудования систем TDS BC1 и TDS BC2.

В рамках сотрудничества с FTSC (Англия) по разработке элементов линейного ускорителя для проекта CLARA проводилось авторское сопровождение (совместно с FTSC) изготовления и настройки разработанного в 2014 г. резонатора фотоинжектора. Проводятся исследования факторов, определяющих стабильность распределения поля в резонаторе с целью обеспечения уникально малого отклонения фазы поля, не более 0.01 градуса, в многосгустковом режиме работы резонатора.

4 Публикации, индексируемые в WoS

1. V. Anastassopoulos, et. al., (CAST collaboration, A. Belov from INR RAS) "Search for chameleons with CAST", Physics Letters B, Volume 749.
2. G. Consolati, et. al., (AEGIS collaboration, A. Belov from INR RAS). "Experiments with low-energy antimatter", EPJ Web of Conferences, 96, 01007 (2015).
3. Arik, S. Aune, K. Barth, A. Belov, S. Borghi, et. al., (CAST Collaboration), New solar axion search using the CERN Axion Solar Telescope with He-4 filling. Physical Review D, 92 (2) (2015), 6p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.92.021101>.
4. S. Aghion, C. Amsler, A. Ariga, T. Ariga, A.S. Belov, G. Bonomi et al., (AEGIS collaboration), Positron bunching and electrostatic transport system for the production and emission of dense positronium clouds into vacuum, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B Beam Interactions with Materials and Atoms, 362(2015)86-92. DOI: 10.1016/j.nimb.2015.08.097.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отчёте представлены результаты фундаментальных и прикладных работ, проведённых по государственному заданию в соответствии с планом научных исследований ИЯИ РАН на 2015 год.

В 2015 году на сильноточном линейном ускорителе ИЯИ РАН проведено пять сеансов, направленных на разработку технологии получения радиоизотопов и наработку радиоизотопов, на исследования и модернизацию ускорительного комплекса, а также на физическую программу Института. Общая продолжительность сеансов в 2015 году составила более 1600 часов. Нарботка ускорителя по программе получения радиоизотопов составила свыше 80000 мкА·часов при среднем токе пучка до 130 мкА и энергии 143 МэВ. Впервые за весь период эксплуатации ускорителя была достигнута интегральная наработка за 12-часовую смену свыше 1400 мкА·часов. На установки экспериментального комплекса РАДЭКС нейтронный источник ИН-06 и спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце СВЗ-100 работы велись с энергией 209 МэВ.

В 2015 году были модернизированы каналы транспортировки на нейтронный источник ИН-06 и спектрометр по времени замедления в свинце СВЗ-100. Были модернизированы система питания электромагнитных элементов, вакуумная система, система измерения потерь, система диагностики пучка, система контроля и управления, система стационарного дозиметрического контроля, а также защита радиационная защита. Например, в процессе модернизации системы диагностики разработаны, изготовлены и смонтированы 2 индукционных датчика тока, 2 многопроволочных профилометра. Разработана и изготовлена электроника для 11 электростатических датчиков положения пучка, и 32 ионизационных камер. На основе ионизационных камер создана система быстрой аварийной защиты. Разработана и создана система защиты по разности токов пучка на основе индукционных датчиков. Разработана, изготовлена и смонтирована система нейтронного мониторинга потерь пучка вдоль каналов транспортировки. Модернизирована система контроля и обеспечено управление системами экспериментального комплекса с центрального пульта ускорителя.

Комплекс выполненных работ позволил провести сеанс работы ускорителя на установки РАДЭКС, ИН-06 и СВЗ-100. Во время сеанса были проведены измерения радиационной обстановки в экспериментальном зале и смежных помещениях при интенсивности пучка около 1 мкА при работе на СВЗ-100 и около 10 мкА при работе на РАДЭКС и ИН-06.

В процессе сооружения, запуска, эксплуатации и модернизации ускорителя был достигнут уникальный уровень понимания процессов в ускорителе и накоплен огромный

опыт решения практических задач. Это обеспечило международное признание авторитета сотрудников Института и широкое применение их разработок не только в ИЯИ РАН, но и в ведущих ядерно-физических ускорительных научных центрах России и всего мира. В 2015 году проводились совместные работы, а также работы по договорам со следующими организациями: ОИЯИ, ИФВЭ, ЦЕРН, DESY (Германия), GSI (Германия), FRIB (Мичиганский университет, США), FTSC (Англия).

Полученные результаты находятся на уровне лучших мировых или превышают их и представляют собой существенное продвижение в фундаментальных и прикладных исследованиях.