

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 621.384.6

СОСТОЯНИЕ РАБОТ НА ИНЖЕКЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ ВЭПП-5<sup>1</sup>

©2024 г. В. В. Балакин<sup>а,\*</sup>, Ф. А. Еманов<sup>а</sup>, Д. Е. Беркаев<sup>а</sup>, К. В. Астрелина<sup>а</sup>,  
О. В. Беликов<sup>а</sup>, Ю. М. Боймельштейн<sup>а</sup>, Д. Ю. Болховитянов<sup>а</sup>,  
А. Р. Фролов<sup>а</sup>, Г. В. Карпов<sup>а</sup>, А. С. Касаев<sup>а</sup>, Н. Н. Лебедев<sup>а</sup>, А. Е. Левичев<sup>а</sup>,  
С. Л. Самойлов<sup>а</sup>, А. В. Топчиенко<sup>а</sup>, Ю. А. Роговский<sup>а</sup>

*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
Россия, 630090-Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11  
\*e-mail: Vit.V.Balakin@inp.nsk.su*

Поступила в редакцию 28.11.2024 г.

После доработки 19.03.2024 г.

Принята к публикации 10.04.2024 г.

Инжекционный комплекс ВЭПП-5 снабжает коллайдеры ВЭПП-4М и ВЭПП-2000 ИЯФ СО РАН пучками электронов и позитронов. Ранее было показано, что инжекционный комплекс в полной мере покрывает потребности действующих коллайдеров в пучках частиц. Тем не менее продолжают дальнейшие модернизации подсистем комплекса (термостабилизации, оптической диагностики, программного обеспечения), направленные на улучшение взаимодействия с потребителями и повышение стабильности работы комплекса. В статье представлены последние достижения производительности инжекционного комплекса и возможности его улучшения.

---

<sup>1</sup> Материалы 28-й конференции по ускорителям заряженных частиц “RuPAC’23”, Новосибирск.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Инжекционный комплекс (ИК) ВЭПП-5 [1, 2] служит источником электронных и позитронных пучков для двух действующих ускорительных комплексов ВЭПП-2000 [3] и ВЭПП-4 [4, 5], с которыми он соединен транспортным каналом К-500 (см. рис. 1).

**Рис. 1.** Схема инжекционного комплекса и ВЭПП-4М/ВЭПП-2000

Инжекционный комплекс состоит из электронной пушки, двух линейных ускорителей (ЛУ), конверсионной системы, накопителя-охладителя (НО) и транспортных каналов К-500, которые соединяют накопитель с бустерами потребителей пучка. Схема инжекционного комплекса представлена на рис. 2.

**Рис. 2.** Схема инжекционного комплекса

Линейные ускорители инжекционного комплекса состоят из четырех модулей, в которых суммарно 14 ускоряющих структур с постоянным импедансом на основе круглого диафрагмированного волновода, работающие на частоте 2855.5 МГц [6]. Каждый ускоряющий модуль питается от клистрона 5045 производства SLAC через умножитель мощности SLED. Накопитель-охладитель рассчитан на максимальную энергию 510 МэВ, имеет периметр 27.4 м, времена радиационного затухания на максимальной энергии составляют 18/11/12 мс ( $v$ ,  $h$ ,  $s$ ). В настоящий момент на НО работает резонатор первой гармоники 10.94 МГц. Инжекция из линейных ускорителей в НО осуществляется с частотой до 12.5 Гц, перепуск к потребителям возможен с частотой до 2 Гц. В настоящее время он происходит один раз в 3 с из-за ограничений впускных систем со стороны бустера комплекса ВЭПП-2000, достигнутые скорости накопления электронов и позитронов  $1.1 \cdot 10^{11} e^-/с$  и  $1.2 \cdot 10^{10} e^+/с$ .

Выпущенный пучок транспортируется к потребителям по общему каналу К-500, длина которого составляет величину около 250 м до бустера электронов и позитронов (БЭП) и 120 м до ВЭПП-3. Проектная энергия пучка в транспортных каналах 510 МэВ. К-500 состоит из 5-ти секций: спуск от накопителя-охладителя в туннель, регулярные знакопеременные структуры на квадрупольных линзах с равными промежутками в каждую сторону и подъемные части к каждому из потребителей пучка. К настоящему моменту достигнута эффективность перепуска около 50% по обоим направлениям, ведутся работы по улучшению эффективности и стабильности перепуска [7].

## 2. УЛУЧШЕНИЯ НА ИНЖЕКЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ

### 2.1. Модернизация оптической диагностики накопителя-охладителя

Было решено заменить схему вывода синхротронного излучения из вакуумной камеры ускорителя и расположение диагностических элементов. Вместо вакуумного зеркала и вывода света вверх было решено поставить сразу вакуумное окно и к общему с ним фланцу прикрепить снаружи зеркало, отражающее пучок света вправо, оставляя его в плоскости накопителя (рис. 3).

**Рис. 3.** Схема позитронной оптической системы после модификации. Вид сверху.

В плоскости кольца располагаются по три зеркала и 2 линзы с каждого из направлений (позитронного и электронного), общий диссектор, а 2 ПЗС-камеры подняты над плоскостью накопителя-охладителя. Разработка и расчет оптической системы для установки диагностики пучков заряженных частиц на накопителе-охладителе инжекционного комплекса ВЭПП-5 были выполнены в программе “Zemax” [8].

Для измерения поперечных параметров пучка заряженных частиц используется ПЗС-матрица размером  $6.784 \times 5.427$  мм<sup>2</sup>. Из-за особенностей расположения магнитных элементов накопителя-охладителя присутствуют фиксированные расстояния от точки излучения СИ до первого зеркала 500 мм и от первого зеркала до расположения второго зеркала 550 мм.

Для оптимизации параметров системы (фокусного расстояния линз, дистанции между ними) были выбраны операторы, которые контролируют:

- EFFL – эффективное фокусное расстояние системы
- EFLY – эффективное фокусное расстояние в локальной у-плоскости
- AXCL – хроматизм положения в линейных единицах для фокальных оптических систем

и в диоптриях для афокальных систем

В качестве критерия качества изображения системы использовался диаметр пятна рассеяния, размер которого (21 мкм) оказался во много раз меньше, чем радиус Эйри (318 мкм). Расчет показал размер изображения пучка заряженных частиц, равный 5.3 мм, что меньше минимального размера ПЗС-матрицы, что полностью соответствует поставленным требованиям [9].

Для контроля положения диафрагмы одного из объективов было решено использовать контроллер Arduino UNO [10]. Из-за того, что он не имеет полноценного цифро-аналогового

преобразователя (ЦАП), а только выходы широтно-импульсной модуляции (ШИМ) была необходимость создания электронной схемы для конвертации ШИМ-сигнала в постоянное напряжение.

Arduino UNO включен в сеть контроллеров инжекционного комплекса, получая свой IP-адрес у DHCP-сервера ИК по его MAC-адресу. С другой стороны, пользовательское приложение для управления состоянием диафрагмы получает IP-адрес Arduino у DNS-сервера по персональному имени и передает ему команды управления через протокол UDP. Прошивка Arduino UNO рассчитана на прием команд по UDP от пользовательской программы для управления диафрагмой, отсылкой подтверждений выполненных команд и отслеживания текущего состояния диафрагмы путем измерения, поданного на него напряжения встроенным АЦП. Также применяется механизм “keepalive” для подтверждения наличия связи с платой Arduino Uno.

Ранее изображение пучка заряженных частиц не оцифровывалось. В связи с возникшей необходимостью такой оцифровки установленный ранее аналоговый видеоглазок был заменен на цифровую ПЗС-камеру IDS UI-5240SE-M-GL Rev. 2. Она управляется протоколом GigE Vision через интерфейс Ethernet.

Пользовательское приложение реализовано на языке Python 3, оно отображает зарегистрированное ПЗС-матрицей изображение и выводит измеренные размеры пучка, а также позволяет задавать пользователю необходимые параметры ПЗС-камеры (время экспозиции, вариант запуска камеры и т.д.). Приложение передает команды службе через фреймворк CXv4 [11], используя библиотеку русх4 [12], а служба использует обертку руеуе [13] для передачи команд ПЗС-камере и получения от нее данных.

## *2.2. Модернизация системы термостабилизации*

Сверхвысокочастотные структуры (СВЧ) линейного ускорителя инжекционного комплекса ВЭПП-5 крайне чувствительны к температуре охлаждающей дистиллированной воды. Рабочие температуры для разных структур находятся в диапазоне от 28°C до 34°C. Стабильность воды требуется  $\pm 0.1$  °C. Рабочая температура и стабильность достигается подогревом воды с начальной температурой 27–28°C. Дистиллированная вода для каждой структуры нагревается индивидуальной теплостанцией (№1–№19).

В летнее время года при высокой влажности и температуре наружного воздуха температура охлаждающего контура поднимается выше 28°C. Работа магнитной системы при

такой температуре охлаждающего дистиллята не нарушается, а вот для термостабилизации СВЧ-структур такая ситуация является критичной. Теплостанции отключаются, температура СВЧ-структур растет выше установленных значений, приводя к значительным изменениям геометрии этих структур и, как следствие, к падению ускоряющего напряжения и энергии пучка на выходе из линейного ускорителя. В этом случае предусмотрено охлаждение воды внутреннего контура чиллером (рис. 4а).

**Рис. 4.** Гидравлическая схема системы термостабилизации инжекционного комплекса при работе с чиллером до модернизации (а) и после нее (б)

Однако при режиме работы системы термостабилизации с чиллером возникает другая проблема: постоянное включение и отключение чиллеров (а их в системе охлаждения два) приводило к значительным колебаниям температуры охлаждающей воды. Полная амплитуда колебаний достигла 6 °С и выше. При работе только одного чиллера амплитуда меньше (2.5 °С), но все равно это значение является слишком большим для стабильной работы СВЧ- структур линейного ускорителя инжекционного комплекса.

Чтобы уменьшить колебания температуры охлаждаемой чиллерами воды до приемлемых параметров была предложена и реализована иная система охлаждения технической воды. В старой схеме вода после чиллера напрямую поступала на теплообменник, что и приводило к сильной связи колебания температур секций и охлаждающей воды. В новой же схеме был изменен порядок следования элементов системы термостабилизации (рис. 4б), что позволило направить воду после чиллера в буферный бак (объемом 1 м<sup>3</sup>). После этого колебания температуры охлаждающей воды значительно снизились, составив величину около 1.2 °С. Колебания же входной температуры, охлаждающей секцию воды, уменьшались до значения 0.2 °С.

### *2.3. Измеритель временных интервалов TIME24K4 линейного ускорителя инжекционного комплекса*

Время-цифровой преобразователь (ВЦП) представляет собой блок для измерения временных интервалов, изготовлен в стандарте КАМАК. Причин выбора именно этого стандарта две: стандарт КАМАК поддерживается на ИК и можно использовать хорошо отработанную технологию, что значительно удешевляет проект и уменьшает время изготовления прибора. Для

измерения предполагается диапазон временных интервалов от 100 нс до 20 мс и с дискретностью от 1.5 до 2 нс.

Диапазон временных интервалов и точность измерения определили выбор схемы прибора и инструменты для реализации проекта. Измерение интервала времени цифровым методом основано на заполнении его импульсами с образцовым периодом. Для проекта выбраны два основных образцовых периода. Первый задается от кварцевого генератора с частотой 25 МГц. Второй – от тактовой частоты инжекционного комплекса. Эта тактовая частота используется для блоков временных задержек и равна удвоенной частоте резонатора накопителя-охладителя ( $2 \cdot 10.937404$  МГц).

Расчет основных параметров измерителя ВЦП дает следующие результаты. Для временного интервала 20 мс и величины дискретности 1.5 нс получается число тактов ( $\approx 13333333$ ) для измерения временного интервала. Это число близко в двоичном коде к  $2^{24} = 16777216$ . Двоичная шина на  $n$  контактов представляет число  $2n-1$ , отсюда получается шкала прибора 24 бита в двоичном коде.

Синхронный двоичный счетчик на 24 бита для счета тактов с периодом 1.5 нс изготовить проблематично (стоимость прибора неоправданно повысится). Потому для измерения временного интервала 20 мс с разрешением 1.25 нс используются две шкалы. Первая шкала с образцовым периодом 1/25 МГц. Количество тактов счетчика для первой шкалы равно  $20 \cdot 10^{-3} \text{ с} \cdot 25 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1} = 500000$ . Величину первого синхронного двоичного счетчика (для счета тактов с периодом 1/25 МГц) выбираем 19 бит. Для второй шкалы выделяется 5 бит (24 бит – 19 бит). Количество тактов счетчика второй шкалы равно 32. Получается образцовый период для счетчиков второй вспомогательной шкалы  $40 \text{ нс} / 32 = 1.25 \text{ нс}$ , что соответствует частоте 800 МГц. Для сохранения временного разрешения и уменьшения тактовой частоты используются два счетчика для второй шкалы. Первый счетчик считает положительные переходы, а второй – отрицательные. Такой вариант позволяет сохранить временное разрешение и уменьшить тактовую частоту второго образцового периода в два раза (до 400 МГц). Этот метод построения прибора можно отнести к методу интерполяции.

Время-цифровой преобразователь Time24k4 изготовлен и проведены тестовые измерения на двух блоках. Блок изготовлен в стандарте КАМАК. Размеры блока 1М. Основные параметры прибора:

- Шкала 24 бита

- Временное разрешение 1.25 нс и 1.428нс
- Максимальный временной интервал 20.97 мс и 23.8мс
- Неравномерность (чет–нечет) ширины каналов 10%
- Интегральная нелинейность на 90% шкалы лучше 0.001%
- Набор статистики четыре страницы шириной 11 бит и глубиной 8 бит

#### *2.4. Развитие программного обеспечения*

Программное обеспечение комплекса построено на основе модульного фреймворка CXv4 [11]. Изначально этот фреймворк служил для абстракции оборудования ускорителя, но к настоящему времени сложилась практика использования CX-серверов для обмена данными между программами на клиентском уровне. То есть CXv4 служит в качестве общей программной шины, благодаря чему сильно упрощаются связи между программами. На инжекционном комплексе используется централизованная загрузка/сохранение состояний установки, для которого была необходима конфигурационная база данных, содержащая структурированную информацию о подсистемах и устройствах. Загрузчик состояний служит основой для автоматики, которая реализует цикл накопления-выпуска и переключение между потребителями или видами частиц [7]. Для работы автоматического программного обеспечения сразу же потребовалось обмениваться данными с системами управления потребителей пучка. Ситуация осложняется тем, что системы управления инжекционного комплекса и потребителей пучка изначально развивались независимо, и в результате в них используется разное базовое программное обеспечение. Со стороны ВЭПП-4 – EPICS, на ВЭПП-2000 VCAS и TANGO. На ранних этапах работ необходимые для автоматики данные передавались при помощи программ-шлюзов с использованием общей сети института. Остальные данные, например, диагностическая информация канала К-500 не передавались, а вместо этого была принята практика удаленного запуска клиентских программ. К настоящему моменту времени полностью построена общая сеть инжекционного комплекса и коллайдеров, в которой для обмена данными между системами управления со стороны каждой установки работает шлюзовая виртуальная машина (рис. 5).

**Рис. 5.** Схема общей сети инжекционного комплекса и ускорителей потребителей

Для улучшения взаимодействия с потребителями пучка для CXv4 ранее были разработаны модули клиентские модули для VCAS, EPICS, TANGO, и на настоящем этапе работ

был создан серверный модуль EPICS. Клиентские модули дают возможность средствами клиентских библиотек СХ получать доступ к данным из стороннего программного обеспечения (ПО), а серверный модуль позволяет СХ-серверу отвечать по протоколу другого фреймворка. Так же для СХv4 был реализован драйвер для зеркалирования данных устройства или отдельных каналов. Такой набор средств позволяет создавать очень гибкие “шлюзы” между всеми имеющимися установками.

Конфигурационная база данных (БД) комплекса к настоящему времени дополнена и средствами автоматизации конфигурирования СХv4, значительно упростилась настройка СХ-серверов, которые служат для обмена данными как внутри системы управления ИК, так и с потребителями пучка. В настоящий момент конфигурационная БД применяется и в качестве источника данных для прикладных программ. Изначально все описанные архитектурные подходы были применены при создании программ для автоматизации основных технологических процессов инжекционного комплекса (которые упомянуты выше). Благодаря этому структура прикладного ПО комплекса сильно упростилась и приблизительно соответствует схеме, представленной на рис. 6.

**Рис. 6.** Схема прикладного программного обеспечения инжекционного комплекса

Позднее архитектура была применена и в ряде других прикладных программных комплексах, например, для программных инструментов управления накопителем-охладителем [14], в которых программы-обработчики данных обмениваются с пользовательскими приложениями через СХ-сервера и конфигурационная БД задействована для выбора используемых в измерении матрицы откликов элементов магнитной системы и т.д.

### 3. РАБОТА КОМПЛЕКСА В СЕЗОНЕ 2022/2023 ГОДА

Сезон 2022/2023 года начался 15 сентября и закончился 3 июля. Статистика по количеству частиц в электронном пучке на выходе с пушки приведена на рис. 7.

**Рис. 7.** Количество частиц в электронном пучке, измеренное с электронной пушки

Небольшой пик в начале объясняется тем, что в сентябре длительность пучка была около 5.35 нс, а после ее уменьшили до 4.75 нс. Рисунок 8 демонстрирует ток накопленного в накопителе-охладителе пучка, который выпускался в транспортный канал К-500. Зеленый



маркер соответствует режиму электронов для ВЭПП-2000, бирюзовый – для ВЭПП-4М, красный и пурпурный – позитронные режимы.

**Рис. 8.** Ток пучка, выпущенного из накопителя-охладителя в транспортный канал.

На рис. 8 присутствует отличительная особенность, видно, что инжекционный комплекс начал поставлять позитроны только в середине января 2023 года. Причиной тому выход из строя одного из клистронов, питающих ускоряющие структуры линейного ускорителя.

### *3.1. Неполадки клистрона*

Вышедший из строя клистрон питает 4 секции ЛУ, которые отвечают за первоначальное ускорение позитронов, полученных на конверсионной мишени. Без них ускорить рожденный позитронный пучок не представляется возможным и в полной мере ИК может производить только электроны. Для работы на потребителей были перестроены оставшиеся секции ЛУ, и комплекс продолжил работу с пучками привычной энергии.

Вместе с этим для выявления причин его регулярных вакуумных пробоев и их устранения был разобран сам клистрон. При вскрытии обнаружилось, что поверхность анода в процессе эксплуатации покрылась другими металлами, предполагается, что вследствие происшедших пробоев. Рисунок 9а наглядно демонстрирует это, рис. 9б – вид анода после чистки. С катодом же подобных неприятностей не произошло, но на всей его поверхности лежали медные опилки – сыпучие результаты напыления меди после пробоев, на прикатодном электроде образовалось медное напыление (рис. 10).

**Рис. 9.** Фото анода: **а** – после вскрытия клистрона, **б** – после чистки.

**Рис. 10. а** – Поверхность катода с медными опилками,  
**б** – медное напыление на прикатодном электроде.

После устранения причин пробоев клистрон был собран и оттренирован. К моменту его выхода на режим линейный ускоритель вновь был перестроен и комплекс начал работать на потребителей в полной мере.

## 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инжекционный комплекс продолжает работу по обеспечению пучков заряженных частиц коллайдеров ВЭПП-2000 и ВЭПП-4М ИЯФ СО РАН. Несмотря на то, что комплекс полностью покрывает потребности обоих коллайдеров в позитронах и электронах, ведутся регулярные работы по улучшению стабильности работы комплекса и увеличению его производительности.

В текущем сезоне была изменена схема термостабилизации, что позволило значительно снизить колебания температуры охлаждающей воды до величины 1.2 °С, а колебания входной температуры, охлаждающей секцию – до значения 0.2 °С.

Существенно была изменена схема вывода синхротронного излучения из поворотного магнита для последующей диагностики поперечных размеров пучка. Новая схема была рассчитана с использованием “Zemax”, а для внедрения отдельных ее компонент в систему управления инжекционного комплекса были разработаны соответствующие пользовательские программы и службы.

Также продолжается развитие программного обеспечения ИК, которое улучшает взаимодействие с потребителями пучка. Конфигурационная БД комплекса к настоящему времени дополнена и средствами автоматизации конфигурирования CXv4, значительно упростилась настройка CX-серверов, которые служат для обмена данными как внутри системы управления ИК так и с потребителями пучка. В настоящий момент конфигурационная БД применяется и в качестве источника данных для прикладных программ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Berkaev D., Andrianov A., Astrelina K. et al.* // Proceedings of IPAC'17. Copenhagen, Denmark. 2017. <https://doi.org/10.1134/S1547477118070294>
2. *Emanov F., Andrianov A., Astrelina K. et al.* // Proceedings of RuPAC'16. St. Petersburg, Russia. 2016. <https://doi.org/10.18429/JACoW-RuPAC2016-WEXMH01>
3. *Timoshenko M.V., Borin V.M., Zharinov Yu.M. et al.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2020. V. 17. P. 419. <https://doi.org/10.1134/S1547477120040457>
4. *Levichev E.B.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2016. V. 13. № 7. P. 876. <https://doi.org/10.1134/S1547477116070372>
5. *Piminov P.A., Baranov G.N., Bogomyagko A.V. et al.* // Physics Procedia. 2016. V. 84. P. 19. <http://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.11.005>
6. *Подлевских В.В.* Ускоряющая секция и СВЧ нагрузка для форинжектора ВЭПП-5. Дисс ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2003.
7. *Emanov F.A., Astrelina K.V., Balakin V.V. et al.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2023. V. 20. №. 4. P. 754. <https://doi.org/10.1134/S1547477123040258>
8. Optical Design Applications Zemax. <https://www.zemax.com/>
9. *Топчиенко А.В.* Разработка оптической системы установки для диагностики параметров пучков заряженных частиц: Магистерская выпускная квалификационная работа. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2023. 62 с.
10. Open-source electronics platform Arduino: сайт. <https://www.arduino.cc/>
11. *Bolkhovityanov D., Cheblakov P., Emanov F.* // Proceedings of the 15th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems. Melbourne, 2015. P. 915. <https://doi.org/10.1134/S1547477120040123>
12. *Bolkhovityanov D., Emanov F.* // Proceedings of RUPAC'18. Protvino, Russia. 2018. P. 417. <https://doi.org/10.18429/JACoW-RUPAC2018-THPSC07>
13. Python bindings for uEye API pyueye. <https://pypi.org/project/pyueye/>

14. *Балакин В.* // Проблемы информатики. 2022. Т. 55. № 2. С. 27. [https://doi.org/ 10.24412/2073-0667-2022-2-27-43](https://doi.org/10.24412/2073-0667-2022-2-27-43)

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

**Рис. 1.** Схема инжекционного комплекса и ВЭПП-4М/ВЭПП-2000.

**Рис. 2.** Схема инжекционного комплекса.

**Рис. 3.** Схема позитронной оптической системы после модификации. Вид сверху.

**Рис. 4.** Гидравлическая схема системы термостабилизации инжекционного комплекса при работе с чиллером до модернизации (**а**) и после нее (**б**).

**Рис. 5.** Схема общей сети инжекционного комплекса и ускорителей потребителей.

**Рис. 6.** Схема прикладного программного обеспечения инжекционного комплекса.

**Рис. 7.** Количество частиц в электронном пучке, измеренное с электронной пушки.

**Рис. 8.** Ток пучка, выпущенного из накопителя-охладителя в транспортный канал. Зеленый и бирюзовый цвета – электронные режимы, красный и пурпурный – позитронные.

**Рис. 9.** Фото анода: **а** – после вскрытия клистрона, **б** – после чистки.

**Рис. 10.** **а** – Поверхность катода с медными опилками, **б** – медное напыление на прикатодном электроде.

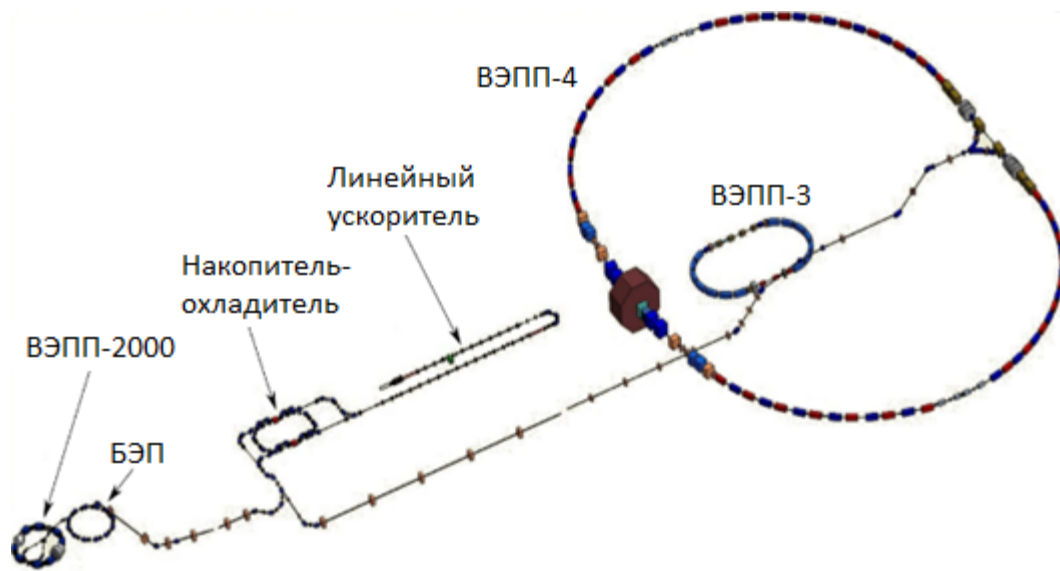


Рис. 1.

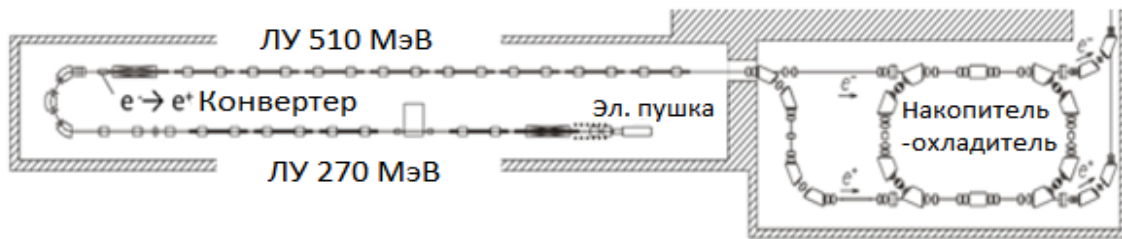


Рис. 2.

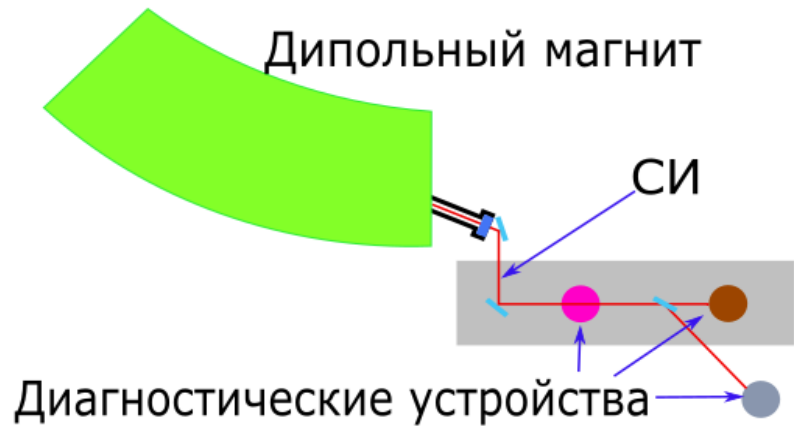


Рис. 3.



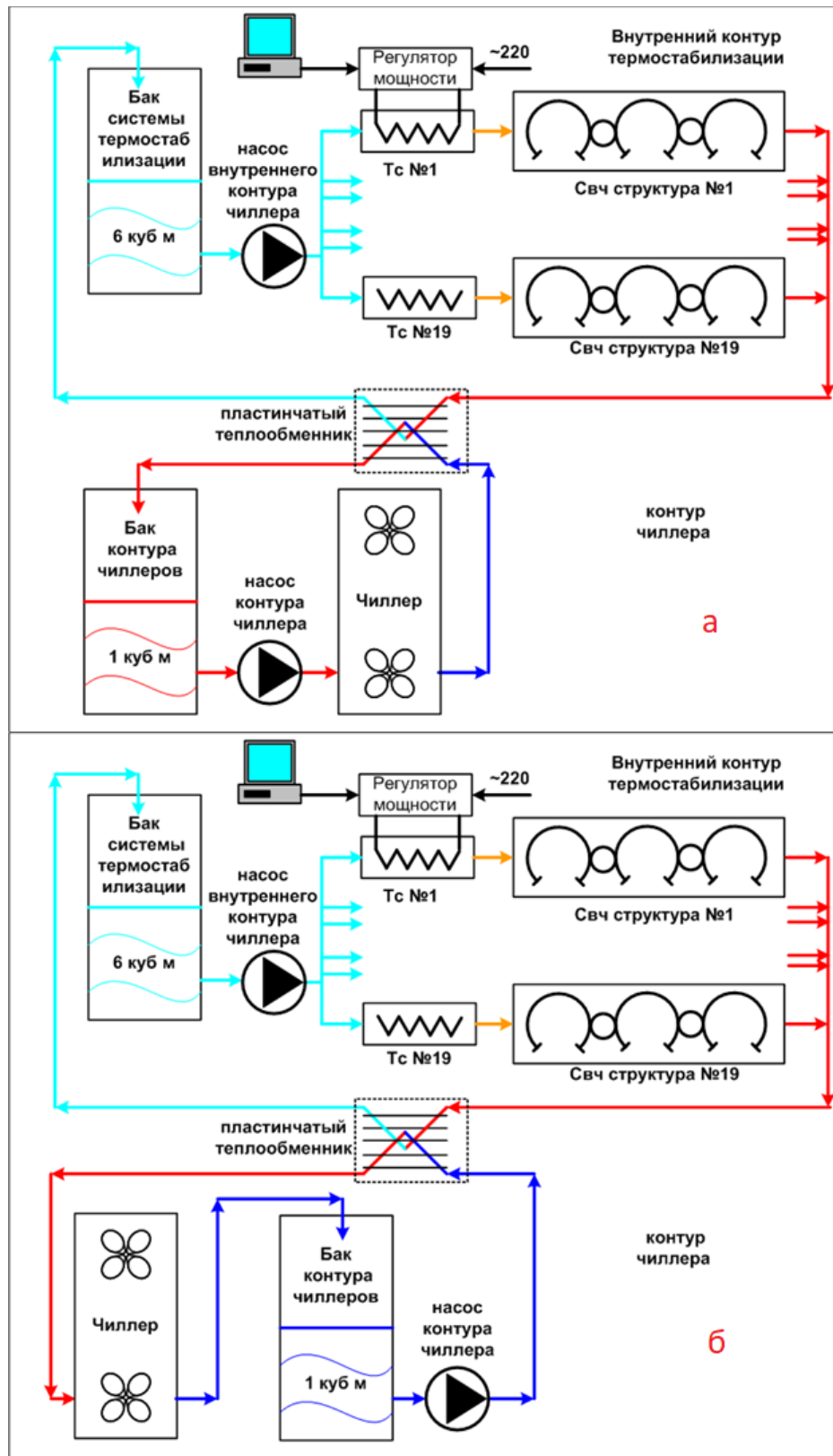
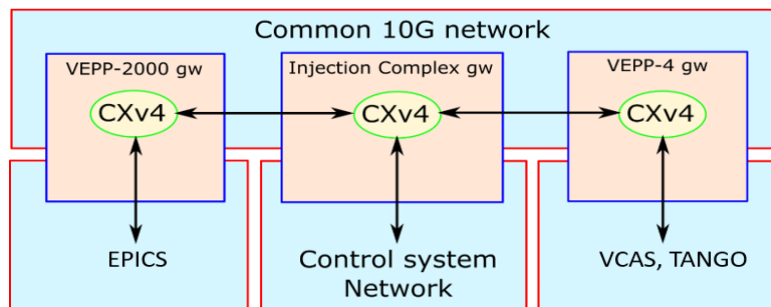


Рис. 4.



**Рис. 5.**

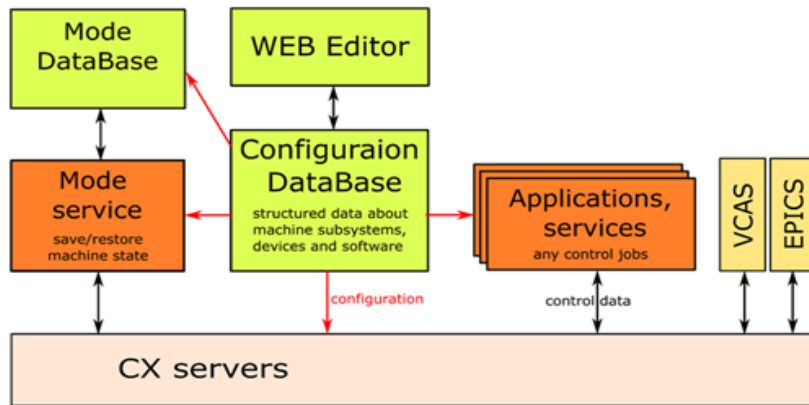


Рис. 6.

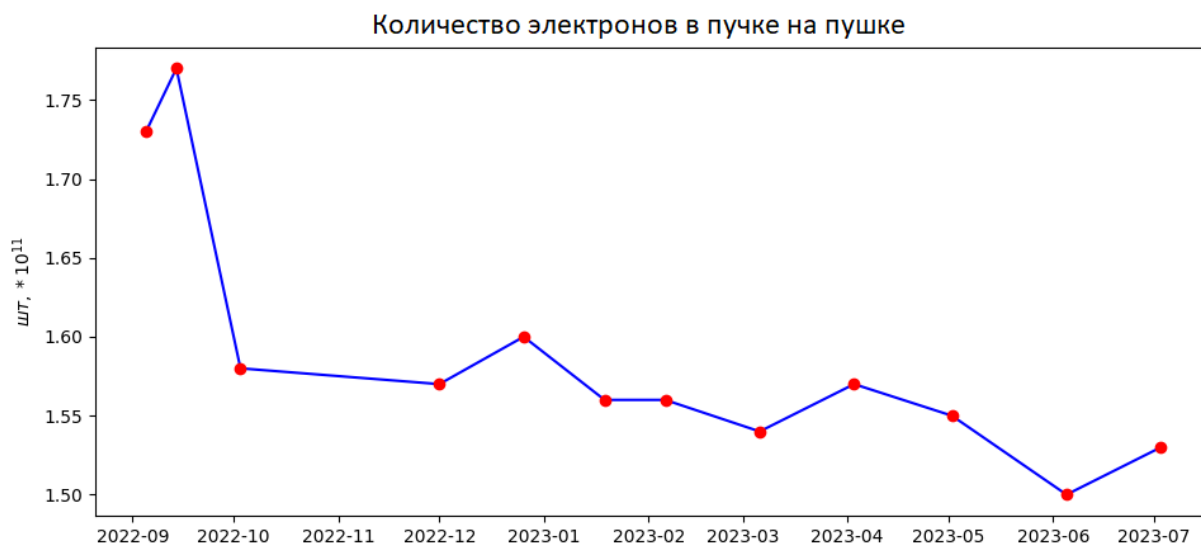
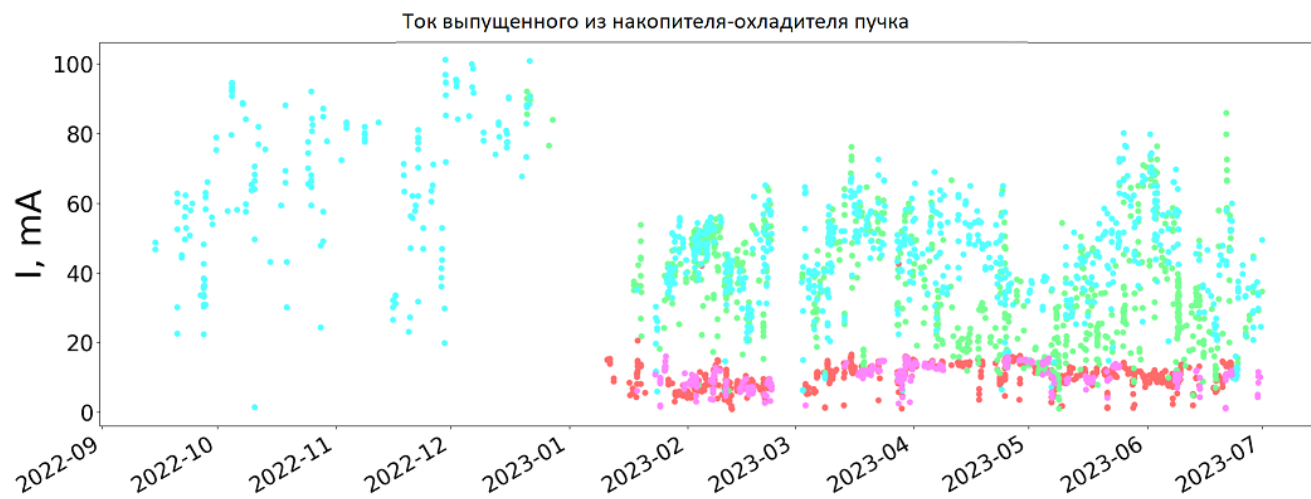
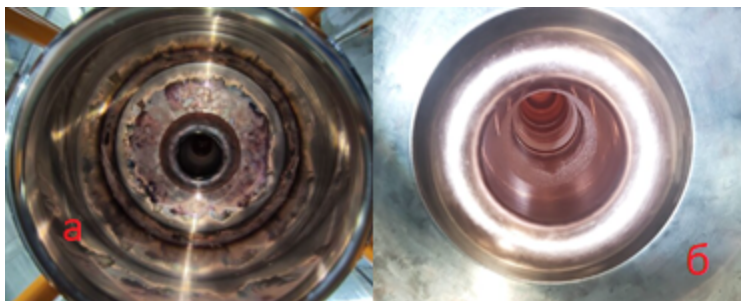


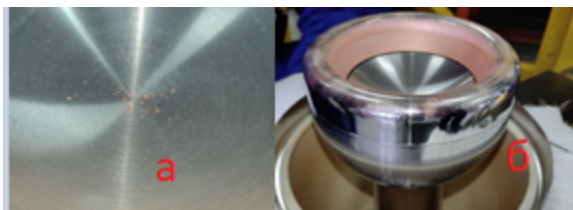
Рис. 7.



**Рис. 8.**



**Рис. 9.**



**Рис. 10.**

Для связи с авторами:

**Балакин Виталий Витальевич**

**Vit.V.Balakin@inp.nsk.su**

**Тел.: 8-953-859-17-45 (моб.)**

~~Для переводчика:~~

~~Status of the VEPP-5 injection complex~~

~~Аннотация:~~

~~The VEPP-5 injection complex provides the BINP SB RAS colliders VEPP-4M and VEPP-2000 with beams of electrons and positrons. It was previously shown that the injection complex fully covers the needs of existing colliders for particle beams. However, further modernization of the complex subsystems (thermal stabilization, optical diagnostics, software) continues, aimed at improving interaction with consumers and increasing the stability of the complex. The latest achievements in the performance of the injection complex and its improvements are presented in this article.~~