Научная статья
УДК 681.513.1, 681.5.08
DOI: https://doi.org/10.18127/j20700784-202608-17

Автоматизация ускорительного источника нейтронов VITA

А.М. Кошкарев[1], В.А. Насташенко[2], С.П. Харченко[3], И.М. Щудло[4], С.Ю. Таскаев[5]
[1, 4, 5] Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской Академии наук (г. Новосибирск, Россия)
[2, 3] ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ» (г. Саров, Россия)
[1] A.M.Koshkarev@inp.nsk.su, [2] nastashenko@niiis.nnov.ru, [3] sKharchenko@niiis.nnov.ru,
[4] cshudlo.i.m@gmail.com, [5] S.Yu.Taskaev@inp.nsk.su

Аннотация

Постановка проблемы. Ускорительный источник нейтронов VITA (установка VITA) является установкой, состоящей из множества сложных электрофизических устройств и систем, согласованное управление которыми представляет собой непростую задачу, требующую применения самых передовых достижений в электронике, компьютерной технике и информационных технологиях. Для решения этой задачи требуется создать комплекс средств автоматизации.
Цель. Создать комплекс программно-технических средств системы контроля и управления, реализующего централизованный автоматизированный контроль и управление установкой VITA, функционирующей в медицинском учреждении.
Результаты. Выполнена автоматизация физических процессов ускорительного источника нейтронов VITA в условиях медицинского учреждения.
Практическая значимость. Созданный комплекс программных и аппаратных средств автоматизации установки для борнейтронозахватной терапии онкологических заболеваний в условиях медицинского учреждения позволит внедрить данное лечение в клиническую практику в самое ближайшее время.

Ключевые слова

Ускоритель, автоматизация, контроль, управление

Для цитирования

Кошкарев А.М., Насташенко В.А., Харченко С.П., Щудло И.М., Таскаев С.Ю. Автоматизация ускорительного источника нейтронов VITA // Успехи современной радиоэлектроники. 2026. Т. 80. № 8. С. 144–150. DOI: https://doi.org/10.18127/j20700784-202608-17

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

В августе 2023 г. Институтом ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской Академии наук (ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск) перед филиалом РФЯЦ ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова» была определена **задача** – создать комплекс программно-технических средств системы контроля и управления (КПТС СКУ), реализующий централизованный автоматизированный контроль и управление установкой VITA в Национальном медицинском исследовательском центре онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России (Москва).

Цель работы – создать комплекс программно-технических средств системы контроля и управления, реализующего централизованный автоматизированный контроль и управление установкой VITA, функционирующей в медицинском учреждении.

Созданием уникальной установки VITA (рис. 1) для лечения онкобольных по технологии борнейтронозахватной терапии в условиях медицинского учреждения занимаются ученые Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской Академии наук (ИЯФ СО РАН) в течение последних 25 лет [1]. Автоматизация одной из частей установки VITA (ионного источника) была реализована в ИЯФ СО РАН [2].

Установка VITA включает в себя тандемный электростатический ускоритель заряженных частиц оригинальной конструкции, названный ускорителем-тандемом с вакуумной изоляцией, для получения стационарного моноэнергетического пучка протонов с энергией до 2,3 МэВ, током до 10 мА, литиевой мишени для генерации нейтронов и системы формирования пучка нейтронов для получения терапевтического пучка нейтронов эпитеплового диапазона энергий.

© Кошкарев А.М., Насташенко В.А., Харченко С.П., Щудло И.М., Таскаев С.Ю., 2026

Режимы работы установки VITA:

подготовка ионного источника (рис. 1, позиция 1) для его выхода на рабочий режим генерации пучка ионов с определенным током;

тренировка ускорителя (рис. 1, позиция 2). Данная процедура требуется для подготовки ускорителя к работе путем постепенного повышения напряжения на высоковольтном источнике питания – секционированном выпрямителе, подобном используемому в промышленных ускорителях электронов серии ЭЛВ (рис. 1, позиция 5). Генерация пучка протонов не производится. Задействовано минимум блокировок. Описания укорителя и ЭЛВ приведены в [3, 4];

генерация протонов без поворота пучка. В данном режиме генерируются протоны без поворота пучка на 90 градусов и работают части установки, приведенные на рис. 1, позиции 1, 2, 3 и 5. Режим используется при пуско-наладочных работах;

генерация пучка протонов с поворотом. Задействованы все блокировки и все части установки VITA. Данный режим используется при терапии.

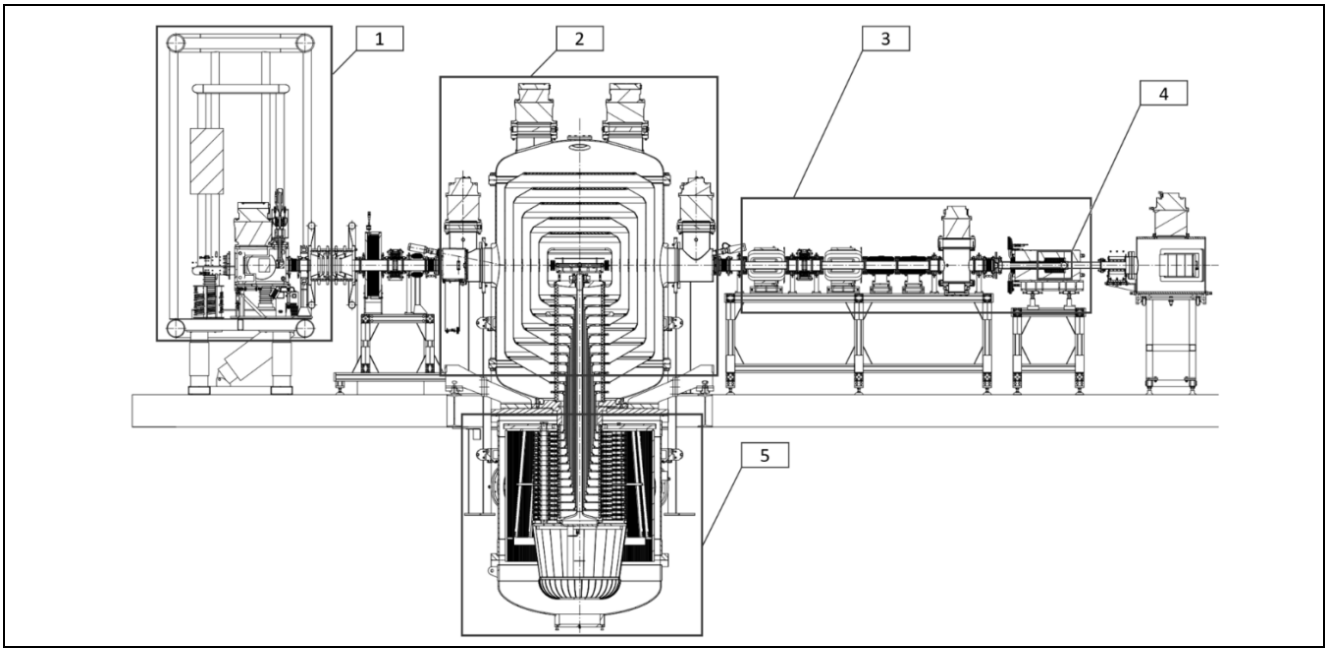


Рис. 1. Основные части установки VITA (вид сбоку): 1 – платформа ионного источника (ИИ); 2 – ускоритель-тандем; 3 – высокоэнергетический тракт; 4 – литиевая мишень; 5 – высоковольтный источник питания (ЭЛВ)
Fig. 1. Main parts of the VITA installation (side view), 1 Ion source platform (IS); 2 Accelerator-tandem; 3 High and energy path; 4 Lithium target; 5 High-voltage power supply/ electronic line rectifier (ELR)

Особенности автоматизации установки VITA

Приведем особенности автоматизации оборудования установки VITA (см. рис. 1):

контроль и управление высоковольтными частями установки VITA (ИИ-150 кВ/-180 кВ, ускоритель-тандем и ЭЛВ 1000 кВ);

подготовка установки VITA к работе по определенным алгоритмам;

контроль и управление программируемыми блоками питания различных зарубежных производителей, являющихся составными узлами установки VITA;

измерение параметров и их регулирование с высоким быстродействием;

обеспечение безопасной работы установки VITA (реализация блокировок);

ограниченное пространство размещения программно-технических средств.

Технические решения по автоматизации управления установки VITA

Филиалом РФЯЦ ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова» был создан КПТС СКУ установки VITA (рис. 2) с учетом особенностей автоматизации.

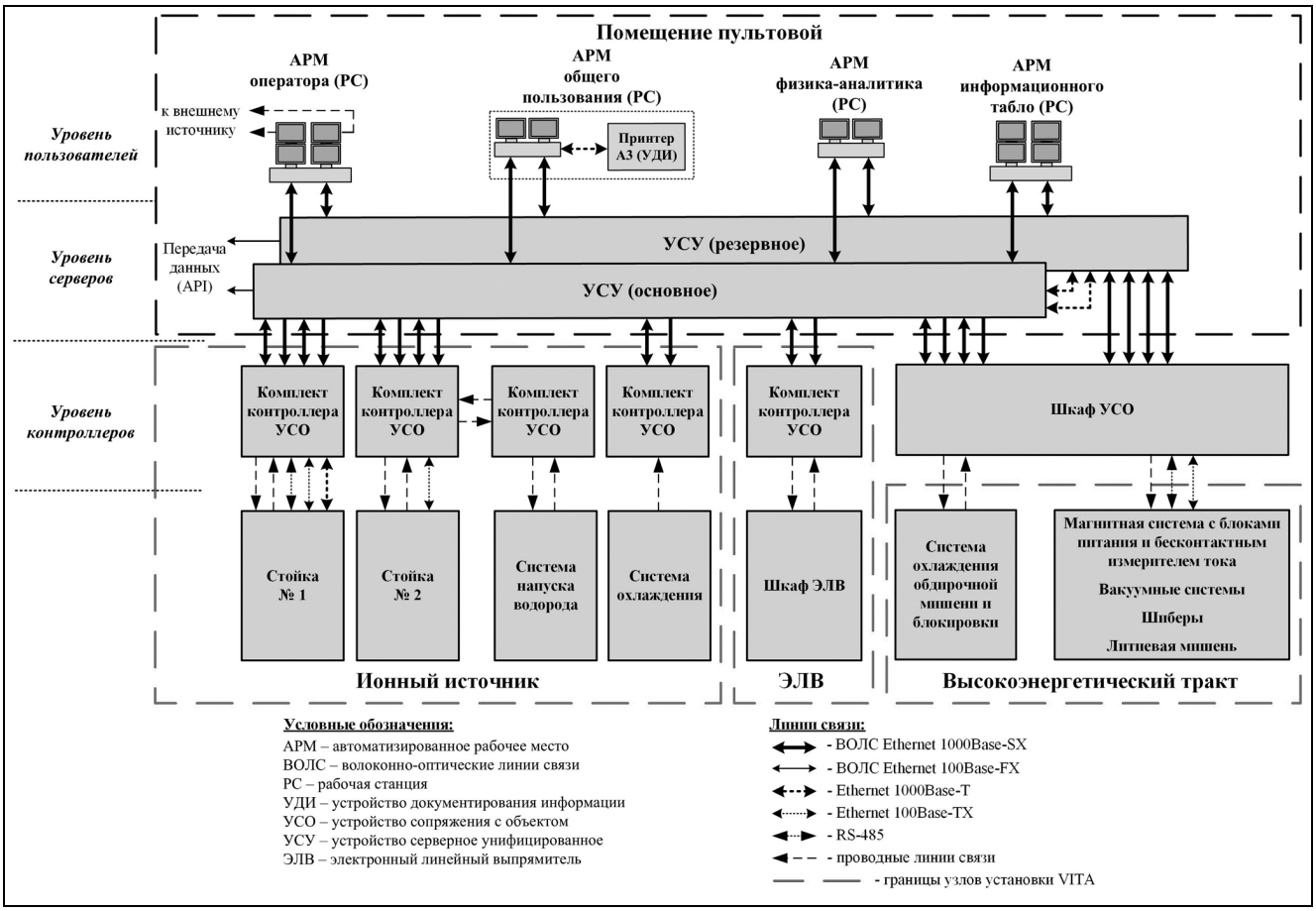


Рис. 2. Структурная схема КПТС СКУ установки VITA
Fig. 2. Block diagram of I&C SHC of VITA installation

КПТС СКУ установки VITA представляет собой трехуровневую структуру (рис. 2):

уровень контроллеров (комплектов), состоящий из устройств связи с объектом (УСО). Внешний вид шкаф УСО с контроллерами приведен на рис. 3;

уровень серверов, состоящий из устройств серверных унифицированных (УСУ), предназначенных для обработки информации, поступающей от УСО, и передачу команд с уровня пользователя. Внешний вид УСУ приведен на рис. 3;

уровень пользователей, состоящий из АРМ, предназначенных для реализации ЧМИ контроля и управления оборудованием установки VITA. Внешний вид АРМ приведен на рис. 4.

Обмен данными между уровнями КПТС СКУ установки VITA производиться по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) со скоростью 1000 Мбит/с (Ethernet). В том числе применение ВОЛС используется для гальванической изоляции высоковольтной платформы ИИ от земляного потенциала.

В нижней части рис. 2 приведены наименования технологических систем установки VITA, которыми управляет КПТС СКУ установки VITA.

При информационном взаимодействии КПТС СКУ установки VITA с датчиками и управляемыми элементами (блоками питания ИИ, частотный преобразователь и т.д.) установки VITA реализованы протоколы Modbus TCP и SCPI, Modbus RTU (RS-485) и протокол контроллера Edwards (RS-232/RS-485), включая не стандартные протоколы (бесконтактный датчик тока, контроллер турбомолекулярных насосов, программируемые блоки питания, система радиационного контроля и т.д.).

Уровень контроллеров КПТС СКУ установки VITA позволил реализовать:

алгоритм ПИД – регулировки ИИ с быстродействием 1 мс для стабильности и увеличения ток пучка установки;

алгоритм тренировки ускорителя с ЭЛВ, необходимый для постепенного поднятия напряжения на ЭЛВ;



Рис. 3. Шкаф УСО и УСУ (основное и резервное)
Fig. 3. Cabinet of RTU (Remote Terminal Unit) and USU (main and standby)

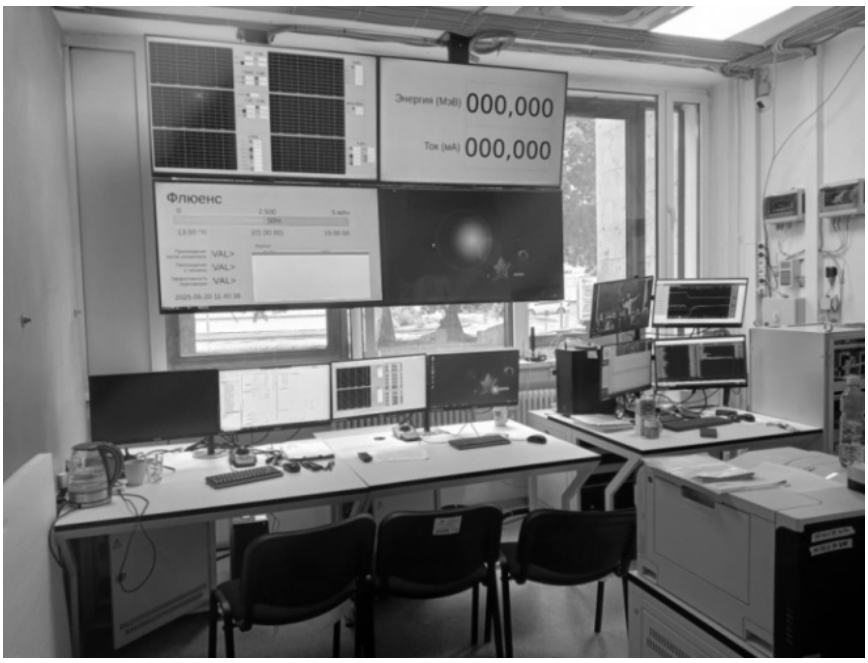


Рис. 4. Пультовая в Национальном медицинском исследовательском центре онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России (Москва) с расположенными в ней АРМ (РС) КПТС СКУ установки VITA
Fig. 4. Control room at the N.N. Blokhin National Research Oncology Center of the Russian Ministry of Health (Moscow), which comprises the AWS (WS), I&C SHC of the VITA installation

алгоритм синхронизации поворотного магнита, создающего магнитное поле для поворота пучка протонов на 90 градусов и его транспортировки на литиевую мишень;

алгоритм блокировок по дискретным сигналам с временем срабатывания от 10 до 20 мс, необходимый для отключения важных узлов установки при аварийных событиях;

быструю обработку сигналов термопар (опрос с частотой не менее 10 Гц), необходимую для контроля температур узлов высокоэнергетического тракта прохождения пучка (диафрагмы, литиевая мишень), для предотвращения разрушения данных узлов.

На уровнях пользователей и серверов реализован контроль работы алгоритмов и состояний оборудования установки VITA [5] на видеокадрах АРМ системы диспетчерского контроля (SCADA), функционирующей по принципу «клиент-сервер». Основной видеокадр, представленный на рис. 5 с вкладкой «Работа», содержит все необходимые элементы управления и контроля для проведения пучка протонов на литиевую мишень. На устройстве серверном унифицированном (УСУ) реализована серверная часть SCADA, отвечающая за прием информации от контроллеров УСО и команд (запросов) с видеокадров АРМ, а также за передачу команд пользователя на контроллеры УСО и архивирование событий. В качестве системного программного обеспечения УСУ и РС (АРМ) используется операционная система (ОС) Astra Linux Special Edition Релиз «Смоленск» не ниже версии 1.7.

Элементы видеокадра, приведенного на рис. 5, разрабатывались в соответствии с функциональным назначением:

1. Сверху расположена панель переключения видеокадров, предназначенных для управления системами и узлами установки VITA (ЭЛВ, Ионный Источник, Магн. Элем. и т.д.).

2. Панель графиков, расположенная слева, служит для отображения данных во времени. Справа от каждой панели графика содержится список каналов с отображением значения параметра и цвета графика.

3. Панель ввода данных, расположенная справа, разделена на секции управления: ионный источник, ускоритель, напуск аргона и магнитная система.

4. Нижняя панель слева состоит из четырёх круговых стрелочных диаграмм. Они предназначены для отображения отклонения пучка на охлаждаемых диафрагмах. Если пучок начинает попадать на охлаждаемую диафрагму, то на соответствующей диаграмме начинает отклоняться стрелка. Значения температур расположены по краям круга. Справа снизу у каждой стрелочной диаграммы выводится измеряемая мощность. После четырех охлаждаемых диафрагм отображено цветовое распределение температуры на мишени.

5. Справа внизу расположена шкала прогресса облучения – флюенс (интеграл тока по времени).

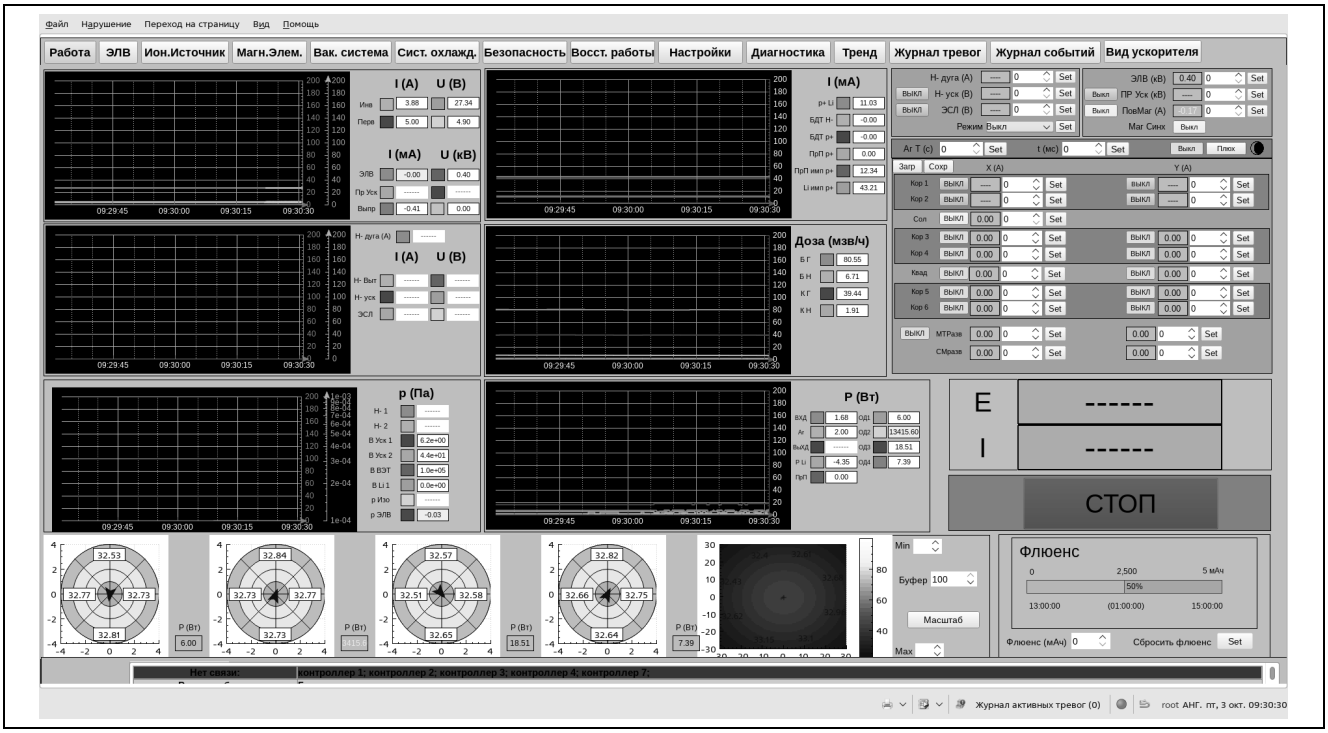


Рис. 5. Основной видеокадр с вкладкой «Работа» АРМ КПТС СКУ установки VITA
Fig. 5. Main video frame with "Operation" tab of I&C SHC AWS of VITA installation

Заключение

В работе показано, как в сжатый период времени (менее двух лет) была разработана конструкторская документация, изготовлено и испытано оборудование КПТС СКУ установки VITA. В июне 2025 г. оборудование установили в Национальном медицинском исследовательском центре онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России (Москва), где в настоящее время оно в составе установки VITA проходит подготовку к клиническим испытаниям.

Список источников

1. *Таскаев С.Ю.* Ускорительный источник нейтронов VITA. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2024. 248 с.
2. *Кошкарев А.М., Щудло И.М., Таскаев С.Ю.* Разработка и внедрение системы автоматизации ионного источника D-Pace для ускорителя VITA // Сибирский физический журнал. 2024. Т. 19. № 1. С. 54–60. DOI 10.25205/2541-9447-2024-19-1-54-60
3. Пат. 2653840, РФ, МПК H05H 3/06 Ускоритель-тандем с вакуумной изоляцией / *Таскаев С.Ю., Сорокин И.Н.* // Бюллетень. 2018. № 14.
4. *Домаров Е.В., Иванов А.А., Куксанов Н.К., Салимов Р.А., Сорокин И.Н., Таскаев С.Ю., Черепков В.Г.* Высоковольтный секционированный выпрямитель для компактного ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 1. С. 77–81.
5. *Кошкарев А.М.* Разработка и внедрение системы автоматизации ускорительного источника нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии. Выпускная квалификационная работа магистра. Новосибирский государственный университет. 2022. 97 с.

Информация об авторах

Алексей Михайлович Кошкарев – аспирант, мл. науч. сотрудник
SPIN-код: не представлен
Владимир Анатольевич Насташенко – вед. специалист
SPIN-код: не представлен
Сергей Петрович Харченко – зам. начальника научно-исследовательского отделения
SPIN-код: не представлен
Иван Михайлович Щудло – науч. сотрудник
SPIN-код: не представлен
Сергей Юрьевич Таскаев – д.ф.-м.н., профессор, гл. науч. сотрудник
SPIN-код: 7717-9560

Поступила в редакцию 02.07.2026
Одобрена после рецензирования 10.07.2026
Принята к публикации 27.07.2026

Original article

VITA accelerator neutron source automation

A.M. Koshkarev[1], V.A. Nastashenko[2], S.P. Kharchenko[3], I.M. Schudlo[4], S.Yu. Taskaev[5]

[1, 4, 5] Institute of Nuclear Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science at the G.I. Budker (Novosibirsk, Russia)

[2, 3] FSUE RFNC "All-Russian Research Institute of Experimental Physics" (Sarov, Russia)

[1] A.M.Koshkarev@inp.nsk.su, [2] nastashenko@niiis.nnov.ru, [3] sKharchenko@niiis.nnov.ru, [4] cshudlo.i.m@gmail.com, [5] S.Yu.Taskaev@inp.nsk.su

Abstract

VITA Accelerator Neutron Source (VITA Installation) is an installation that comprises many complex electrophysical devices and systems, the coordinated control of which is a difficult task, requiring the application of the most advanced achievements in electronics, computer technology and information technology. To solve this task, you need to create a set of automation tools. Soft-and-Hardware Complex of Instrumentation and Control System (SHC I&C), which implements centralized automated monitoring and control of the VITA installation operating in a medical institution.

Software-and-Hardware complex of automation tools for boron-neutron-capture therapy of oncological diseases in a medical institution has been created, which will allow introducing this treatment into clinical practice in the very near future.

Keywords

Accelerator, automation, monitoring, control

For citation

Koshkarev A.M., Nastashenko V.A., Kharchenko S.P., Schudlo I.M., Taskaev S.Yu. VITA accelerator neutron source automation // Achievements of modern radioelectronics. 2026. V. 80. № 8. P. 144–150. DOI: https://doi.org/10.18127/j20700784-202608-17

REFERENCES

1. *Taskaev S.Yu.* Uskoritel`ny`j istochnik nejtronov VITA. M.: FIZMATLIT. 2024. 248 s. (in Russian).
2. *Koshkarev A.M., Shhudlo I.M., Taskaev S.Yu.* Razrabotka i vnedrenie sistemy` avtomatizacii ionnogo istochnika D-Pace dlya uskoritelya VITA. Sibirskij fizicheskij zhurnal. 2024. T. 19. № 1. S. 54–60. DOI 10.25205/2541-9447-2024-19-1-54-60 (in Russian).
3. Pat. 2653840, RF, MPK N05N 3/06 Uskoritel`-tandem s vakuumnoj izolyaciej / Taskaev S.Yu., Sorokin I.N. Byulleten`. 2018. № 14. (in Russian).
4. *Domarov E.V., Ivanov A.A., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Sorokin I.N., Taskaev S.Yu., Cherepkov V.G.* Vy`sokovol`tny`j sekcionirovanny`j vy`pryamitel` dlya kompaktnogo uskoritelya-tandema s vakuumnoj izolyaciej. Pribory` i texnika e`ksperimenta. 2017. № 1. S. 77–81. (in Russian).
5. *Koshkarev A.M.* Razrabotka i vnedrenie sistemy` avtomatizacii uskoritel`nogo istochnika nejtronov dlya bor-nejtronozaxvatnoj terapii. Vy`pusknaya kvalifikacionnaya rabota magistra. Novosibirskij gosudarstvenny`j universitet. 2022. 97 s. (in Russian).

Information about the authors

Alexey M. Koshkarev – Post-graduate Student, Junior Research Scientist
Vladimir A. Nastashenko – Lead Specialist
Sergey P. Kharchenko – Deputy Head of Research Division
Ivan M. Schudlo – Research Scientist
Sergey Yu. Taskaev – Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor, Chief Research Scientist

The article was submitted 02.07.2026
Approved after reviewing 10.07.2026
Accepted for publication 27.07.2026