

Лаборатория рентгеновской оптики с удаленным доступом

И. Н. Балухо, Ю. И. Дудчик, Н. Н. Кольчевский

*Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь
e-mail: kolchevsky@bsu.by*

В работе рассмотрено проектирование лаборатории рентгеновской оптики, обеспечивающей удаленный доступ обучающихся к экспериментальной базе лаборатории рентгеновской оптики. Разработана структурная схема взаимодействия с удаленным доступом учебной лаборатории и лаборатории рентгеновской оптики. Предложен поэтапный алгоритм проведения лабораторных работ с удаленным доступом. Получена система для безопасного практического обучения студентов без прямого доступа к рентгеновскому оборудованию.

Ключевые слова: лаборатория рентгеновской оптики, рентгеновское излучение, удаленный доступ.

Remote X-ray optics laboratory

I. N. Balukho, Yu. I. Dudchik, N. N. Kolchevsky

*A. N. Sevchenko Institute of Applied Physics Problems of Belarusian State University, Minsk, Belarus,
e-mail: kolchevsky@bsu.by*

Considered the design of an X-ray optics laboratory that provides remote access for students to the experimental base of the X-ray optics laboratory. Developed a structural diagram of interaction with remote access to the training laboratory and the X-ray optics laboratory. Proposed a step-by-step algorithm for conducting laboratory work with remote access. Obtained a system for safe practical training of students without direct access to X-ray equipment.

Keywords: X-ray optics laboratory, remote access, X-rays.

Введение

Внедрение в лаборатории университетов современного исследовательского и научно-учебного оборудования повысит уровень научных исследований и качество подготовки специалистов для наукоемких отраслей промышленности. Рентгеновские методы исследования являются важным инструментом в медицине, науке и промышленности, однако его применение сопряжено с риском воздействия ионизирующего излучения на человека.

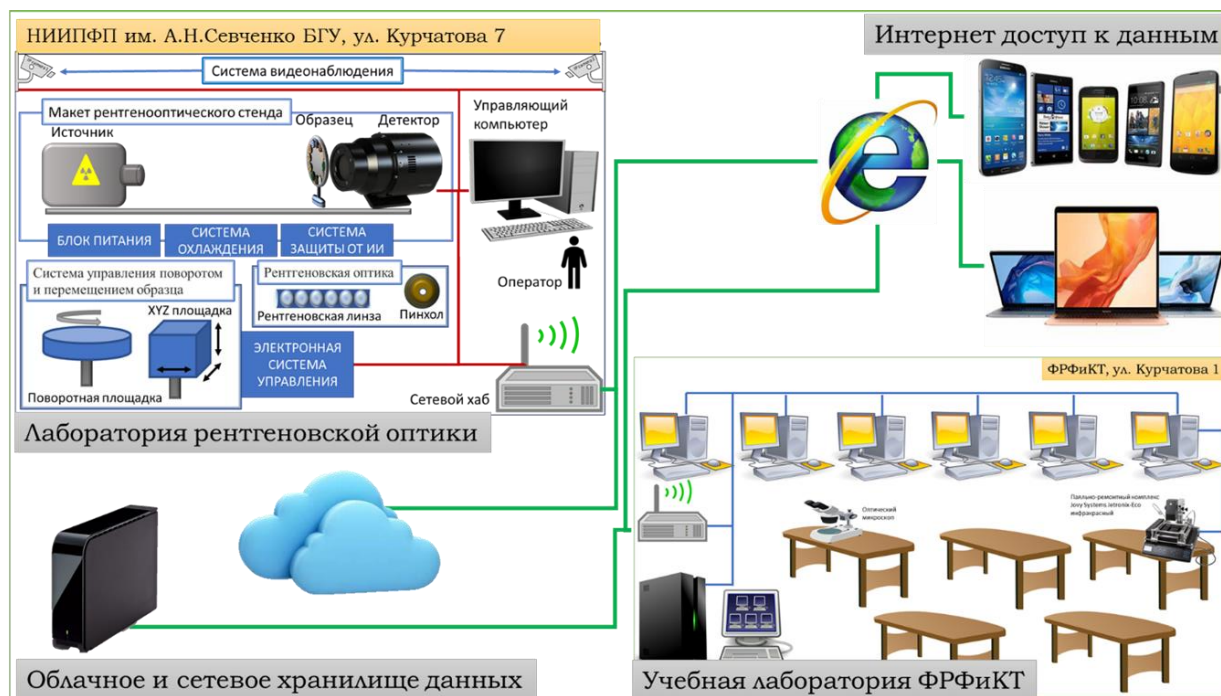
Рентгеновское излучение – ионизирующее излучение, характеризующееся значительной энергией фотонов (от 1 до 200 кэВ), способных вызывать ионизацию атомов и молекул вещества. При взаимодействии с живыми тканями приводит к разрушению химических связей и нарушению клеточных процессов. Даже при сравнительно малых дозах регулярное воздействие рентгеновского излучения может вызывать мутагенные и канцерогенные эффекты, что требует строгого контроля дозовых нагрузок и соблюдения норм радиационной безопасности. Поэтому работа с рентгеновским оборудованием должна осуществляться только

подготовленным персоналом, прошедшим обучение, аттестацию и допущенным к эксплуатации в соответствии с нормативами радиационной безопасности.

Целью работы является проектирование лаборатории рентгеновской оптики, обеспечивающей удаленный доступ обучающихся к экспериментальной базе лаборатории рентгеновской оптики.

Лаборатория рентгеновской оптики с удаленным доступом

Для организации удаленного доступа обучающихся разработана структурная схема взаимодействия учебной лаборатории и лаборатории рентгеновской оптики, как показано на рисунке. Экспериментальная база лаборатории рентгеновской оптики состоит из источника рентгеновских лучей, детектора рентгеновского излучения оснащенной системой защиты от ионизирующих излучений. Рентгеновское оборудование территориально располагается в НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ в специально оборудованном для работы с рентгеновским излучением помещении лаборатории рентгеновской оптики и доступ обучающихся в помещения лаборатории запрещен. Современные компьютеризированные методы позволяют дать удаленный доступ обучающимся к рентгеновскому оборудованию или создать цифрового двойника лаборатории рентгеновской оптики. Обучающиеся, находясь в удаленной учебной лаборатории, оснащенной компьютерами, смогут выполнять исследовательские и лабораторные работ по рентгеновским методам исследования, например, в рамках курсов «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов», «Физика твердого тела», «Волноводные системы для управления электромагнитными излучениями и частицами», как показано на рисунке.



Структурная схема лаборатории рентгеновской оптики с удаленным доступом

Рентгеновская лаборатория будет обеспечивать удаленный доступ по сети Интернет к средствам управления 2-D рентгеновской камерой, удаленный доступ к компьютеризованной системе управления положением исследуемого образца, удаленный доступ к системе видеонаблюдения. Доступ к управлению рентгеновской камерой и системой контроля положением образца, а также к результатам экспериментальных исследований, будет осуществляться дистанционно из учебной лаборатории факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ. Результаты, полученные на оборудовании, будут передаваться в облачное и сетевое хранилище данных. Экспериментальные данные, размещенные в хранилище данных, будут доступны по сети интернет для использования в лабораторных работах.

Алгоритм проведения лабораторных работ со стороны лаборатории рентгеновской оптики содержит ряд этапов, обеспечивающих полный цикл рентгеновского эксперимента – от подготовки системы и образцов до получения и анализа экспериментальных данных.

- Этап 1 Инициализация и диагностика системы, состоящая из запуска и проверки работоспособности основных узлов рентгеновского оборудования (рентгеновский источник, детектор, система охлаждения, управляющий компьютер, система видеонаблюдения).
- Этап 2 Запуск программного обеспечения, состоящий из запуска ПО для управления детектором, запуск управляющих программ, обеспечивающих удаленное управление образцом, контроль интернет соединения с удаленным пользователем.
- Этап 3. Настройка оборудования для эксперимента, состоящее в установке рабочих токов и напряжений рентгеновского источника, установка исследуемого образца, настройка параметров работы детектора, настройка режима доступа удаленного пользователя к экспериментальной установке.
- Этап 4. Настройка режима работы удаленным пользователем, состоящее в проверке удаленного доступа к управляющим параметрам системы, проверке видеонаблюдения, настройка удаленным пользователем режимов эксперимента (образец, положение, экспозиция).
- Этап 5 Запуск эксперимента и управление экспериментом, состоящее в контроле процесса эксперимента (пуск, стоп, автоматическая съёмка), коррекция положения образца.
- Этап 6 Сохранение и отправка экспериментальных данных в локальное хранилище, в облачное хранилище, на сервер учебной лаборатории.
- Этап 7 Анализ экспериментальных данных, состоящий в первичной обработке данных. Анализ и интерпретация, полученных данных на предмет повторного исследования после коррекции условий эксперимента.
- Этап 8 Завершение экспериментальных исследований, состоящее в сохранении результатов, передача данных в локальное и облачное хранилище. Генерация отчета и сохранение его в рентгеновской лаборатории.
- Этап 9. Завершение работы лабораторного оборудования, состоящее в разрыве интернет-соединения с удаленным пользователем, остановке управляющего программного обеспечения, отключения системы видеонаблюдения, отключе-

ния управляющего компьютера. Выключение рентгеновского источника, детектора, система охлаждения. Размещение образцов в хранилище, возврат перемещателей в исходное положение. Очистка элементов системы и оборудования.

Работа удаленной рентгеновской лаборатории требует дополнительной подготовки лаборантов и операторов. Дополнительное оборудование для обеспечения удаленного доступа потребует систематического технического обслуживания.

Заключение

Рентгеновское излучение является незаменимым инструментом в медицине, науке и промышленности, однако применение рентгеновского излучения сопряжено с риском негативного воздействия ионизирующего излучения на человека. Поэтому запрещена работа с рентгеновским оборудованием для обучающихся не прошедшими полный и длительный цикл обучения, аттестации и допуска к эксплуатации в соответствии с нормативами радиационной безопасности. Современные компьютеризированные средства позволяют создать цифрового двойника лаборатории рентгеновской оптики, предоставляющей удаленный доступ к оборудованию из учебной лаборатории, оснащенной компьютерами и позволяющей удаленно проводить экспериментальные исследования.

Работа частично поддержана Министерством образования Республики Беларусь в рамках задания 3.12 ГПНИ "Механика, металлургия, диагностика в машиностроении", подпрограмма "Техническая диагностика".

Библиографические ссылки

1. *Балухо И. Н.* Комплекс для моделирования элементов рентгеновской оптики / И. Н. Балухо, Ю. И. Дудчик, Н. Н. Кольчевский // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики, аэрокосмических технологий и физики конденсированного состояния : материалы VIII Международ. науч.-практ. конференции, 22–23 мая 2025 г. Минск / М-во образования Респ. Беларусь, НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А. Н. Севченко» Белорус. гос. ун-та; редкол.: П. В. Кучинский (гл. ред.) [и др.]. – Минск: «СтройМедиаПроект», 2025. С. 147–148
2. Рентгеновская микротомография с лабораторным источником излучения / Ю. И. Дудчик [и др.] // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики, аэрокосмических технологий и физики конденсированного состояния: материалы VIII Международ. науч.-практ. конференции, 22–23 мая 2025 г. Минск / М-во образования Респ. Беларусь, НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А. Н. Севченко» Белорус. гос. ун-та; редкол.: П. В. Кучинский (гл. ред.) [и др.]. – Минск: «СтройМедиаПроект», 2025. С. 206–209
3. *Дудчик Ю. И.* Получение изображений объектов в рентгеновских лучах с использованием пинхол-камеры и оптики Кумахова / Ю. И. Дудчик, И. Н. Балухо, Н. Н. Кольчевский // Приборостроение-2024 : Материалы 17-й Международной научно-технической конференции, 26–29 ноября 2024 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: А. И. Свистун (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2024. С. 48–49.
4. Рентгеновская микроскопия с квазимонохроматическим флуоресцентным источником излучения / Ю.И. Дудчик [и др.] // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики, аэрокосмических технологий и физики конденсированного состояния : материалы VIII Международ. науч.-практ. конференции, 22–23 мая 2025 г. Минск / М-во образования Респ. Беларусь, НИУ «Ин-т приклад. физ. проблем им. А.Н. Севченко» Белорус. гос. ун-та; редкол.: П. В. Кучинский (гл. ред.) [и др.]. – Минск: «СтройМедиаПроект», 2025. С. 74–78.
5. Рентгеновский лабораторный комплекс / В. С. Нижников [и др.], // Магистерский вестник: сборник научных работ / редкол.: М. Г. Жилинский [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2025. С. 193–196.