

сивностью в заданном диапазоне энергий с заданным допуском на изменение энергий, как показано на рисунке 3.

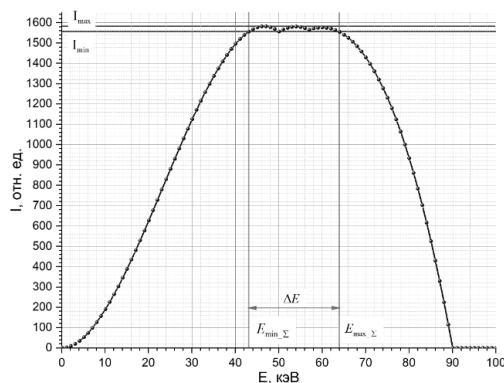


Рисунок 3 – График зависимости интенсивности широкополосного источника с равномерной интенсивностью от энергии фотонов

Отношение минимальной I_{min} интенсивности к максимальной I_{max} в заданном диапазоне спектра определяет значение допуска на изменение интенсивности в спектре $\beta = I_{min} / I_{max}$, лежащего в диапазоне (0;1). В соответствии со значением β определяется количество источников в заданном диапазоне спектра. Значение $\beta = 1$ соответствует идеальному случаю равномерной интенсивности широкополосного источника и бесконечному количеству источников.

Полученные соотношения позволяют рассчитать широкополосный источник, состоящий из N отдельных источников, с заданным значением допуска на изменение интенсивности β в заданном диапазоне энергий $E_{min_Σ}$ и $E_{max_Σ}$. Расчет спектра ведется от максимальной энергии к минимальной. Алгоритм расчета содержит

несколько итерационных этапов: на первом этапе определяется максимальная энергия первого источника из соотношения $E_{max_1} = E_{01} / y_1$; на втором этапе определяется максимальное значение интенсивности первого источника из соотношения $I_{max} = (2/3) E_{01}$; на третьем этапе определяются минимальная энергия первого источника из соотношения $E_{min_1} = E_{01} / y_2$.

Данные этапы позволяют определить ширину спектра первого источника и максимальное значение интенсивности. Затем на следующей итерации максимальная энергия второго источника рассчитывается с поправкой ξ на предыдущие итерации: $E_{max_2} = E_{min_1} + \xi$ и процесс расчета по этапам 1–3 повторяется. Расчет ведется до достижения необходимой энергии $E_{min_Σ}$.

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

Литература

1. Balukho, I. N. Broadband X-ray source / I. N. Balukho; scientific supervisor N. N. Kolchevsky // I Международный молодежный научно-культурный форум студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых: сб. материалов, Гомель, 5–7 марта 2024 г. / под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 36.
2. Балухо, И. Н. Широкополосный источник рентгеновского излучения / И. Н. Балухо, Ю. И. Дудчик, Н. Н. Кольчевский // Современная рентгеновская оптика–2024: тр. школы молодых ученых, Нижний Новгород, сент. 2024 г. – Нижний Новгород, 2024. – С. 67.
3. Балухо, И. Н. Широкополосный источник рентгеновского излучения / И. Н. Балухо, Ю. И. Дудчик, Н. Н. Кольчевский // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 4. Фізіка. Матэматыка. – 2025. – № 1. – С. 48–55.

УДК 548.73, 004.771, 621.386

ДЕТЕКТОР РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С УДАЛЕННЫМ ДОСТУПОМ ПО СЕТИ ИНТЕРНЕТ К СРЕДСТВАМ УПРАВЛЕНИЯ 2-D РЕНТГЕНОВСКОЙ КАМЕРОЙ Балухо И. Н., Дудчик Ю. И., Кольчевский Н. Н.

НИИ ПФП им. А. Н. Севченко Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

Аннотация. Разработана система удаленного доступа по сети Интернет к детектору рентгеновского излучения Photonic Science. Разработанная система состоит из комбинации программ удаленного рабочего стола и разработанных кликер-программ. Программа-кликер «XRay_Click-Snap» предоставляет удаленному пользователю ограниченный доступ к функционалу рентгеновского детектора: режимам экспозиции, биннинга и предпросмотра.

Ключевые слова: детектор рентгеновского излучения, удаленный доступ, дистанционное управление, рентгеновское излучение.

X-RAY DETECTOR WITH REMOTE INTERNET ACCESS TO 2-D X-RAY CAMERA CONTROL SYSTEM Balukho I. N., Dudchik Y. I., Kolchevsky N. N.

A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems BSU, Minsk, Belarus

Abstract. Developed a system for remote internet access to the X-ray detector Photonic Science. The developed system consists of remote desktop programs and specially developed clicker programs. Clicker program “XRay_Click-Snap” provides users with limited access to X-ray detector functions: exposure modes, binning, and preview.

Keywords: X-ray detector, remote access, remote control, X-ray.

Адрес для переписки: Кольчевский Н. Н., ул. Курчатова 7 – 403, 220045, Минск, Республика Беларусь
e-mail: kolchevsky@bsu.by

Создание современного научно-учебного лабораторного комплекса, интегрирующего передовые методы рентгеновской диагностики, является актуальной задачей в области подготовки специалистов по технической физике, материаловедению и методам неразрушающего контроля. Разрабатываемый комплекс объединяет источник рентгеновского излучения, цифровой рентгеновский детектор с возможностью удаленного управления, компьютеризированные системы для управления положением образца и элементов рентгеновской оптики.

Комплекс будет функционировать в инфраструктуре НИИ прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ (в специализированной лаборатории рентгеновской оптики) и в удаленной учебной лаборатории факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, оснащенной компьютерными рабочими местами для выполнения лабораторных работ в режиме онлайн. Такой подход обеспечивает не только очное, но и дистанционное обучение с использованием реального научного оборудования.

В качестве детектора в составе комплекса будет использоваться уникальная рентгеновская камера Photonic Science (модель X-RAY FDI-VHR 1:2), как показано на рисунке 1. Камера состоит из блока детектирования, блока питания, водяного насоса для охлаждения блока детектирования, компьютера с платой видеозахвата и программного обеспечения для захвата и обработки изображения. Блок детектирования содержит ПЗС-матрицу, к которой присоединена волоконно-оптическая шайба с нанесенным сцинтиллятором. Размер рабочей области рентгеновской камеры составляет $18 \times 12 \text{ мм}^2$, число пикселей равно 4008×2670 . Размер одного пикселя на входе камеры равен 4,5 мкм. Толщина сцинтиллятора оптимизирована для фотонов с энергией в диапазоне от 5 кэВ до 35 кэВ. Пространственное разрешение камеры зависит от размера пикселя камеры и от толщины слоя сцинтиллятора.



Рисунок 1 – Фотография рентгеновской камеры Photonic Science

В состав детектора входит управляющий компьютер под управлением Windows XP с установленным программным обеспечением (рисунок 5) для реализации функций управления режимами рентгеновской съемки, хранения и анализа экспериментальных данных. Важнейшими функциями, доступ к которым необходимо дать по сети Интернет, являются: функция предпросмотра рентгеновского изображения, функция биннинга и функции настройки экспозиции, функции передачи экспериментальных данных в учебную лабораторию с использованием технологий облачного или сетевого хранилища.

Удаленный доступ по сети Интернет к средствам управления 2-D рентгеновской камерой будет реализован в виде разработанного программного обеспечения, запускаемого на управляющем компьютере и обеспечивающего доступ к ограниченному набору функций управления детектором и реализующую процесс передачи экспериментальных изображений в облачное или сетевое хранилище. Удаленный доступ к компьютеру будет реализован с использованием типового программного обеспечения, например, AnyDesk, позволяющая реализовать следующие функции: удаленный доступ между вычислительными системами с различными операционными системами (Windows, Linux, macOS, iOS, Android), передача и менеджер файлов, автообнаружение способа подключения к интернету, обмен текстовыми сообщениями в виде чата, ведение протокола сеанса, двухфакторная аутентификация. Удаленное подключение основано на передаче данных между двумя устройствами – хостом (управляющий компьютер рентгеновского детектора, к которому подключаются студенты) и клиентом (компьютер в учебной лаборатории, с которого производится подключение и выполняются работы по управлению рентгеновским детектором). Программа, установленная на оба компьютера, позволяет клиентскому устройству отображать экран хоста и управлять им с помощью клавиатуры и мыши.

Настройка доступа на хост-компьютере будет предоставлять доступ к разработанному программному обеспечению целью которого предоставить доступ к ограниченному числу функций управляющей программы детектора, что важно для безопасности выполнения работ. Для повышения безопасности дистанционного доступа будет использоваться двухфакторную аутентификацию, которая обеспечит дополнительный уровень защиты при подключении. Все данные передаются в зашифрованном виде, что исключает утечку информации.



Рисунок 2 – Структурная схема удаленного доступа к средствам управления 2-D рентгеновской камерой

Для дистанционного управления детектором для доступа к режимам экспозиции, биннинга, предпросмотра разработана программа-кликер «XRay_Click-Snap». Программа-кликер разработана для предоставления удаленному пользователю ограниченного доступа к функционалу рентгеновского детектора. Программа кликер настраивает активную область программы детектора и последовательность нажатий (кликов). Программа-кликер «XRay_Click-Snap» разработана в среде программирования RadStudio 10.3, программа совместима со всеми версиями Windows, может быть запущена как система кликеров – при выборе разных областей нажатия и времени срабатывания. Программа содержит в

себе следующие элементы: кнопки запуска и остановки процесса, поля ввода количество кликов и время задержки в секундах, кнопку выбора области клика. Таким образом, программа позволяет автоматизировать нажатия с заданной частотой (временем срабатывания) и количеством нажатий (кликов) в рабочей программе цифрового рентгеновского детектора.

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

Литература

1. Balukho, I. N. Broadband X-ray source / I. N. Balukho; scientific supervisor N. N. Kolchevsky // I Международный молодежный научно-культурный форум студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых: сб. материалов, Гомель, 5–7 марта 2024 г. / под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 36.
2. Балухо, И. Н. Широкополосный источник рентгеновского излучения / И. Н. Балухо, Ю. И. Дудчик, Н. Н. Кольчевский // Современная рентгеновская оптика–2024: тр. школы молодых ученых, Нижний Новгород, сент. 2024 г. – Нижний Новгород, 2024. – С. 67.
3. Балухо, И. Н. Широкополосный источник рентгеновского излучения / И. Н. Балухо, Ю. И. Дудчик, Н. Н. Кольчевский // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сэрыя 4. Фізіка. Матэматыка. – 2025. – № 1. – С. 48–55.

УДК 535.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СПЕКТР КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ

Бобученко Д. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассмотрены как начальные условия возбуждения, некоторые свойства материала струны, а также длина струны и сила натяжения струны влияют на спектр колебаний струны.

Ключевые слова: колебания струны, собственная частота колебаний, начальные и краевые условия, сила натяжения, координата точки приложения воздействия.

STUDY OF THE INFLUENCE OF PHYSICAL PARAMETERS ON THE STRING VIBRATION SPECTRUM

Babuchenka D. S.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The initial excitation conditions, some properties of the string material, as well as the string length and the string tension force, are considered as influencing the spectrum of string vibrations.

Keywords: string vibrations, natural frequency of vibrations, initial and boundary conditions, tension force, coordinate of the point of application of the force.

*Адрес для переписки: Бобученко Д. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: dbobuchenko@gmail.com*

Колебания струны являются одним из фундаментальных явлений в физике и акустике, лежащих в основе звучания многих музыкальных инструментов. Понимание того, как физические параметры струны и начальные условия возбуждения влияют на ее колебания, имеет решающее значение для глубокого анализа

тембра и воспринимаемой громкости генерируемого звука. Данная работа посвящена детальному исследованию этих зависимостей, охватывая такие факторы, как длина струны, сила натяжения, упругие свойства материала и характер возбуждения, чтобы раскрыть их комплексное влияние на спектральный состав и амплитуду