

**XXV межвузовская молодежная научная школа-конференция имени Б.С. Ишханова:  
Концентрированные потоки энергии в космической технике,  
электронике, экологии и медицине.  
Секция «Медицинская физика и радиационная биология»**

**Разработка графической оболочки системы планирования ионной лучевой терапии**

Е. В. Парменова\* О. П. Ющенко†

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий  
имени А.А. Логанова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
Россия, 142281, Протвино, Московская область, Площадь науки, 1  
(Поступила в редакцию 07.04.2025; подписана в печать 14.04.2025)*

Представлено описание разрабатываемой графической оболочки системы планирования строящегося центра ионной лучевой терапии на базе действующего Ускорительного комплекса У-70 НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ в г. Протвино. Графический интерфейс реализуется на основе Qt. Его функционал определен с учётом модульной базы планирующей системы ионной лучевой терапии. Текущая версия оболочки связана с реализацией работы модуля, отвечающего за обработку медицинских файлов в формате DICOM.

PACS: 87.55.D-; 87.55.tg; 87.57.-s; 87.57.Ce

УДК: 004.514; 615.849.12.

Ключевые слова: ионная лучевая терапия, система планирования, графическая оболочка, Qt.

## ВВЕДЕНИЕ

В строящемся центре ионной лучевой терапии на базе действующего Ускорительного комплекса У-70 НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ в г. Протвино планируется реализация облучения пациентов ионами углерода [1]. Для первого в России центра углеродной терапии разрабатывается система планирования, которая строится на модульном принципе. Каждый модуль обеспечивает определённые функции для построения плана облучения. Запуск программ, обеспечение связи между ними и общий контроль за организованной работой модульной планирующей системы будет производиться посредством графической оболочки. Графическая оболочка должна, помимо стандартных методов работы с DICOM файлами, обеспечивать удобный графический интерфейс для управления большим количеством процессов системы планирования: определение параметров, запуск, контроль прохождения, сбор и анализ результатов. Для данной оболочки должна быть предусмотрена возможность добавлять новые модули как в саму графическую систему, так и в процедуры планирования. Кроме того, графическая система должна обладать определёнными дополнительными свойствами. В частности, она должна работать под ОС Linux, иметь открытый код и свободную лицензию для использования. В качестве функциональных требований мы выделяем возможности экспорта разнообразной информации из DICOM файлов в определяемых пользователем форматах, цифровой обработки 2D-

и 3D-изображений, сегментации и управления внешними специфическими процессами.

Необходимость в подобной гибкости делает практически невозможным использование уже существующих для медицинских целей систем графической визуализации, поскольку они так или иначе уже имеют фиксированную структуру и предопределённый функционал. Наиболее близким по требованиям является известный пакет 3D Slicer [2]. Однако и он предоставляет ограниченную лицензию и недостаточный для наших целей функционал. Таким образом, для разрабатываемой системы планирования требуется собственный графический интерфейс.

## 1. ФУНКЦИИ ГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Необходимый функционал графической оболочки напрямую связан с модульной структурой системы планирования ионной лучевой терапии. Модули разрабатываются с учетом специфики облучения углеродом: общей организации процесса планирования и особенностей формирования дозового поля непосредственно для углеродной терапии [3]. Планирующая система должна обеспечивать весь цикл процедур, начиная с обработки поступающей диагностической информации до составления и верификации плана облучения. Это включает в себя, в частности, возможность работы с медицинскими DICOM-файлами [?] и извлечение из этих файлов необходимой информации, а также работу с планарными и 3D-изображениями для выбора правильной ориентации пациента и оценки качества результирующего дозового поля. Специальные модули требуются для подготовки данных для алгоритмов Монте-Карло, запуска этих алгоритмов и об-

\* Ekaterina.Parmenova@ihep.ru

† Oleg.Yushchenko@ihep.ru

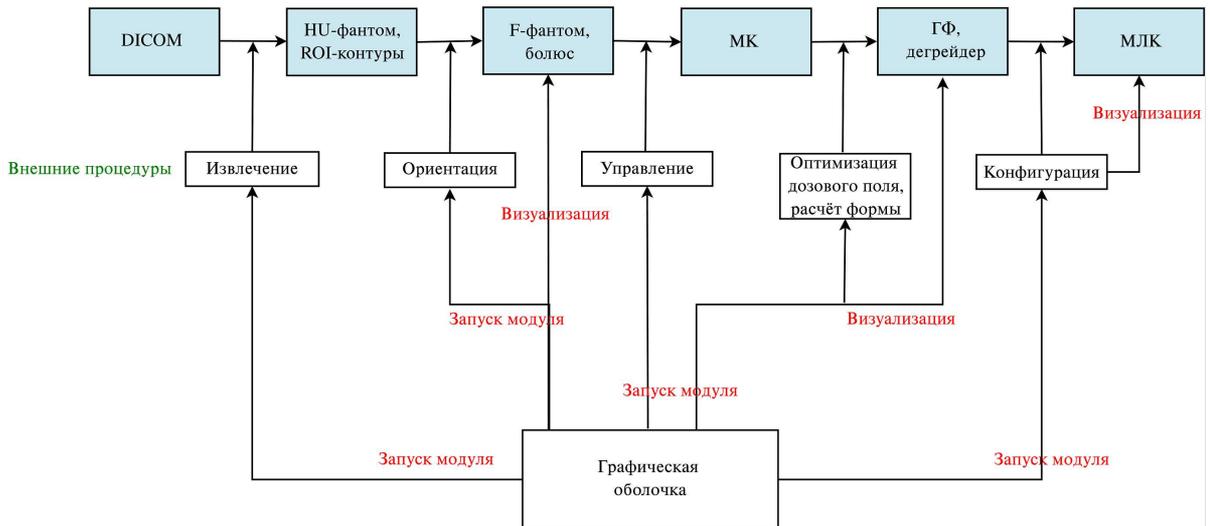


Рис. 1. Модульная база разрабатываемой системы



Рис. 2. Общий вид разрабатываемой графической оболочки

работки результатов их работы, запуска процедур формирования однородного дозового поля. Пользователь (медицинский физик или врач) должен иметь возможность визуально оценивать форму болюса и конфигурацию коллиматоров, а также получать информацию, характеризующую качество дозового поля (гистограммы доза-объём, изодозовые кривые и прочие данные о распределениях дозы, запрашиваемые врачом) для оценки корректности получаемых результатов.

На рис. 1 схематично представлена модульная база разрабатываемой графической оболочки. Верхние блоки на схеме представляют собой модули планирующей системы. Средние блоки отображают последовательные необходимые преобразования, а сами функции

графической оболочки на том или ином этапе с пояснениями смысла производимых процедур подписаны на стрелочках. Видно, что по большей части интерфейс должен обеспечивать запуск модулей и визуализацию результатов на тех или иных этапах работы системы планирования.

## 2. ТЕКУЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГРАФИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Графическая оболочка реализуется на основе Qt [?]. На данный момент реализованы процедуры, отвечающие за обработку медицинских файлов в формате



Рис. 3. *a* — исходный срез КТ, *б* — срез КТ с уменьшенным динамическим диапазоном, *в* — срез КТ с применением оператора Превитта

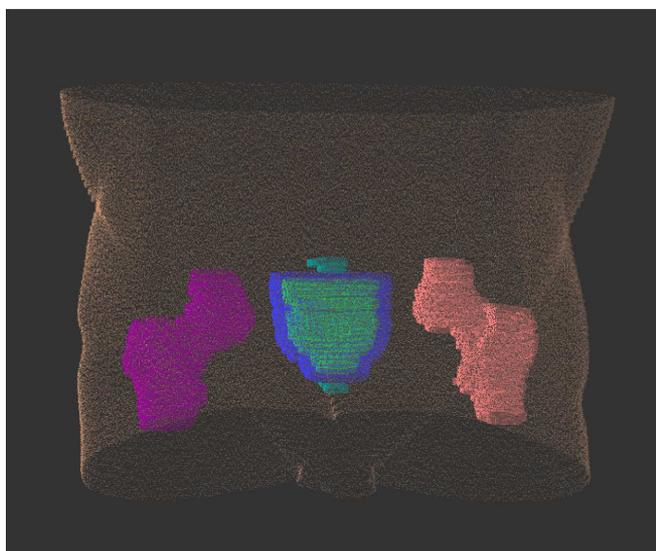


Рис. 4. Общий вид разрабатываемой графической оболочки

DICOM, визуализацию КТ изображений в 2D- и 3D-представлениях, обработку этих изображений, подготовку и запуск модуля формирования данных для процедур Монте-Карло. Текущий вид графической оболочки представлен на рис. 2. Имеется возможность загружать данные КТ-сканирования пациента в разных проекциях и отображать на сканах любые комбинации ROI, выделенных врачом. Для каждого изображения можно рассматривать все имеющиеся срезы КТ и регулировать динамический диапазон (данное действие осуществляется при помощи нижней шкалы интерфейса). При этом количество изображений, размещённых на экране, произвольно, оно ограничивается исключительно объемом оперативной памяти компьютера. Размеры отдельного изображения легко регулируются. Кроме того, возможно выделять и приближать

отдельные фрагменты среза. Размер выделяемой области также произволен.

Помимо непосредственного изменения динамического диапазона (рис. 3, *б*), для работы с медицинскими изображениями в рамках разрабатываемой графической оболочки предусмотрено применение различных методов цифровой обработки. Например, на рис. 3, *в* показан результат применения оператора Превитта [?] для выделения границ структур на изображении. Разрабатываемая графическая система содержит достаточно много фильтров, помогающих пользователю выделить разнообразные структуры и получить самую разную информацию о рассматриваемом результате сканирования пациента. При этом методы цифровой обработки могут образовывать цепочки преобразований произвольной длины в любой последовательности.

3D-представление данных КТ (рис. 4) позволяет отображать любые комбинации ROI, произвольно ориентировать изображение, задавать плоскости сегментации для анализа возможного фракционного облучения и облучения с различных направлений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для модульной системы планирования углеродной лучевой терапии разрабатывается графическая оболочка. Она реализуется на базе Qt. На данный момент определён функционал графического интерфейса и организована работа с модулями, связанными с обработкой файлов в формате DICOM и подготовкой процедур Монте-Карло. В рамках этого модуля предусмотрена работа как с планарными срезами КТ, так и с 3D-изображением. В дальнейшем графическую оболочку в том или ином виде дополняют остальные модули планирующей системы. В частности, будут реализованы управление процедурами Физического Моду-

ля системы планирования (расчет формы болюса, запуск и контроль прохождения заданий Монте–Карло, расчет формы гребенчатого фильтра) и доступ к результатам работы системы планирования (визуализация и верификация форм болюса и гребенчатого фильтра, расчет характеристик результирующего дозового

поля, формирование плана облучения). Также предполагается интеграция с PACS-системой по принципу клиент-сервер. Кроме того, при необходимости будет дополняться и изменяться уже существующая версия программы.

- 
- [1] *Pikalov V.A., Alexeev A.G., Antipov Y.M.* et al. // Proc. RuPAC'2021. 124 (2021).  
[2] 3D Slicer image computing platform. | 3D Slicer. <https://www.slicer.org>  
[3] *H.Tsujii* et al. Carbon Ion Radiotherapy. Principles, Practices and Treatment Planning. Springer Science & Business Media, 2013.  
[4] DICOM. <https://www.dicomstandard.org>  
[5] The Qt Project : Электронный ресурс // <https://contribute.qt-project.org>  
[6] *Prewitt, J.M.S.* // Picture processing and Psychopictorics. Academic Press, 1970.

## Development of a graphical shell for the ion beam therapy planning system

**E. V. Parmenova<sup>a</sup>, O. P. Yushchenko<sup>b</sup>**

*Logunov Institute of High-Energy Physics, National Research Centre «Kurchatov Institute»  
Protvino 142281, Russia*

*E-mail: <sup>a</sup>Ekaterina.Parmenova@ihep.ru, <sup>b</sup>Oleg.Yushchenko@ihep.ru*

A description of the graphical shell is presented. It was developed for the planning system of the projected ion radiation therapy center on the basis of the operating Accelerator complex U-70 of the NRC “Kurchatov Institute” - IHEP in Protvino. The graphical interface is implemented in Qt. Its functionality is based on the modular base of the ion beam therapy planning system. The current version of the shell is related to the implementation of the module for working with DICOM files.

PACS: 87.55.D-, 87.55.tg, 87.57.-s, 87.57.Ce.

*Keywords:* ion beam therapy, planning system, graphical shell, Qt.

*Received 07 April 2025.*

### Сведения об авторах

1. Парменова Екатерина Владимировна — инженер-исследователь; e-mail: Ekaterina.Parmenova@ihep.ru.
2. Ющенко Олег Петрович — доктор физ.-мат. наук, гл. науч. сотрудник; e-mail: Oleg.Yushchenko@ihep.ru.