

doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-4-506-514

УДК 007:681.51

## Система поддержки принятия решений при проведении технологического процесса протонной лучевой терапии

Владимир Олегович Карпунин<sup>1</sup>, Дмитрий Георгиевич Орлов<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup> Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, 123182, Российская Федерация

<sup>1</sup> [karpunin@itep.ru](mailto:karpunin@itep.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7301-3775>

<sup>2</sup> [orlov\\_d@mail.ru](mailto:orlov_d@mail.ru)✉, <https://orcid.org/0000-0001-7088-2246>

### Аннотация

**Предмет исследования.** Предложен способ автоматизации технологического процесса лечения пациентов методом протонной лучевой терапии при реализации персоналом протоколов его проведения. Способ реализован на базе системы поддержки принятия решений. Технологический процесс строго регламентируется и включает в себя непосредственно терапию (облучение пациента), а также ряд этапов: подготовительных и следующих за процессом облучения. Актуальность работы обусловлена тем, что в центрах протонной лучевой терапии применяются только отдельные информационные системы: радиологические, медицинские, либо комбинирующие их функции онкологические системы. Перечисленные системы обеспечивают информационную поддержку отдельных этапов технологического процесса, но системы, регулирующие все этапы технологического процесса, на текущий момент не существует. Представленная система должна обеспечить соблюдение оператором регламента проведения работ на отдельных этапах и полную поддержку проведения технологического процесса.

**Метод.** Система поддержки определяет график проведения различных этапов, их очередность и возможность параллельного проведения, определяет условия разрешения начала этапа. Подсистемы центра протонной лучевой терапии обеспечиваются протоколами проведения этапов. Система построена по технологии «клиент-сервер» и интерактивно отражает в протоколе данные, необходимые оператору для проведения этапа, а также фиксирует результаты пройденного этапа. Сервер включает программное обеспечение, реализующее логику работы системы, а также базу данных. На каждом автоматизированном рабочем месте оператора, обеспечивающем проведение конкретного этапа, дополнительно устанавливается программное обеспечение клиента системы.

**Основные результаты.** Изложен подход к созданию системы поддержки принятия решений персоналом центра протонной лучевой терапии для корректного проведения как самих этапов технологического процесса, так и их последовательности. Система включена в состав проекта исследовательского онкофтальмологического комплекса протонной лучевой терапии в Петербургском институте ядерной физики Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». **Практическая значимость.** Передача необходимой информации другим системам центра протонной лучевой терапии производится через радиологическую (или медицинскую) информационную систему с использованием стандартных протоколов. Это позволяет адаптировать предложенное решение для работы в составе автоматизированной системы управления технологическим процессом любого центра лучевой терапии (не только протонной).

### Ключевые слова

автоматизация лечебного процесса, система поддержки принятия решений, протонная лучевая терапии, протоколы лечения пациентов, технологический процесс

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ от 02.07.2020 г. № 1059).

**Ссылка для цитирования:** Карпунин В.О., Орлов Д.Г. Система поддержки принятия решений при проведении технологического процесса протонной лучевой терапии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 4. С. 506–514. doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-4-506-514

## Decision support system for the proton therapy implementation

Vladimir O. Karpunin<sup>1</sup>, Dmitry G. Orlov<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup> National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, 123182, Russian Federation

<sup>1</sup> karpunin@itep.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7301-3775>

<sup>2</sup> orlov\_d@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-7088-2246>

### Abstract

The authors propose the method that is intended for automating patient treatment technological process in a proton therapy center and based on a decision support system. The developed information system provides the implementation of the proton therapy protocols. The technological process of the proton therapy is strictly regulated. It includes not only the process of therapy itself (irradiation of the patient), but also the preliminary stages of treatment, as well as the stages following the irradiation process. Proton therapy centers use information systems, such as radiological and hospital information systems (oncology information systems), that provide information support for separate stages. At the moment, there is no system that controls the entire technological process in a proton therapy center. The proposed system ensures that the operator complies with the protocol of the treatment's stage and supports the entire technological process of the proton therapy. The system sets the schedule of stages, order and possibility of their parallel implementation, determines the conditions for allowing the start of the stage, provides the subsystems with the protocol of the stage and necessary data of protocol to manage the stage by the operator, and also records the results of the completed stage. The system is built on the “client-server” technology. The server has a software part (that implements the concept the server) and a database. For each operator workstation that manages the stage, the client software of the system is additionally installed. The paper describes an approach to creating a decision support system for the personnel of a proton therapy center. Such a system provides the correct implementation and sequence of the proton therapy stages. The system has been included in the project of the Research Proton Therapy Center for Ophthalmic Oncology at Saint Petersburg Nuclear Physics Institute of National Research Center “Kurchatov Institute”. The necessary information is transmitted from the system to the proton therapy center equipment via radiological and hospital information systems using standard protocols. It allows the solution to serve as a part of any automated control system of a radiation therapy center (not only for proton therapy).

### Keywords

automation of medical process, decision support system, proton therapy, patient treatment protocol, technological process

### Acknowledgements

The work was supported by the NRC “Kurchatov Institute” (project No. 1059).

**For citation:** Karpunin V.O., Orlov D.G. Decision support system for the proton therapy implementation. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 506–514 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-4-506-514

### Введение

Протонная лучевая терапия (ПЛТ) — метод лечения пациентов с новообразованиями в организме, использующий в качестве ионизирующего излучения пучки ускоренных протонов. В отличие от классических методов конвенциональной терапии (пучки электронов и гамма-излучения) протоны позволяют достигнуть более высокой степени конформности облучения: основная доза доставляется до новообразования при минимальном облучении здоровых тканей и критических структур организма. При любых клинических ситуациях интегральная поглощенная доза на здоровые органы и ткани тела всегда значительно ниже, чем при гамма- и электронном облучениях. Сегодня общепризнано, что ПЛТ — наиболее эффективный метод дистанционной лучевой терапии, которая показана 20–30 % пациентов лучевых отделений. На февраль 2021 года количество работающих в мире клинических центров протонной лучевой терапии (центров ПЛТ) достигло 99 с потоками пациентов порядка 800 в год, и число таких центров быстро растет [1, 2].

Технологический процесс (ТП) ПЛТ строго регламентируется. При этом проведение всех операций осуществляется специалистами, работающими в центре ПЛТ. В настоящее время создано множество средств, позволяющих автоматизировать отдельные процессы

на этапах ТП ПЛТ. Эти средства (программные и аппаратные) позволяют обеспечить эффективное взаимодействие персонала с оборудованием, необходимым для проведения каждого из этапов.

Для взаимодействия персонала с радиологическим оборудованием, ведения амбулаторной карты и истории болезни пациента в центрах лучевой терапии могут использоваться радиологические или медицинские информационные системы (РИС/МИС) [3–5] общего назначения. Такие системы широко представлены<sup>1</sup> на российском рынке [6].

Но информационные системы (ИС) для лучевой терапии имеют свои особенности, и использование систем общего назначения при внедрении в центрах ПЛТ требуют доработки. Специализация и интеграция МИС/РИС привела к выделению онкологических ИС на зарубежном рынке<sup>2</sup>. В настоящее время ведущими мировыми производителями в области оборудования и программного обеспечения (ПО) для лучевой терапии

<sup>1</sup> «Медицинские информационные технологии» (МИТ). 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.armit.ru/catalog/> (дата обращения: 03.03.2021).

<sup>2</sup> Oncology Information Systems Need to Integrate. 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itnonline.com/article/oncology-information-systems-need-integrate> (дата обращения: 03.03.2021).

разработаны онкологические ИС для радиологических отделений, в том числе и для Центров ПЛТ, комбинирующие в себе функции МИС/РИС. Они используются в центре лучевой терапии<sup>1,2,3,4</sup> для обеспечения документооборота, ведения электронной карты пациентов, взаимодействия персонала с топометрическим оборудованием и системами планирования облучения, а также для интеграции оборудования лучевой терапии (самых производителей) в общую систему клиники, но данные ИС не являются встраиваемыми в общую автоматизированную систему управления ТП Центра ПЛТ. Эффективность применения специализированных онкологических ИС доказано опытом их использования [7].

Качество контроля следования протоколам и аккуратность выполнения этапов продолжает зависеть от уровня подготовки персонала. В настоящей работе предложен способ автоматизации ТП ПЛТ на базе системы поддержки принятия решений, которая создается для помощи специалистам центра ПЛТ в организации эффективного проведения этапов.

### Технологический процесс протонной лучевой терапии

Реализация технологии лучевой терапии, а особенно, протонной — это сложный процесс, требующий вовлечения значительных аппаратных, программных и информационных ресурсов на каждом из этапов лучевого лечения пациентов [1, 8–10]:

- регистрация пациента и разработка графика (календаря) прохождения пациентом этапов лучевого лечения;
- изготовление индивидуальных средств иммобилизации пациента: маска, пеналы, заполняемые быстротвердеющей пеной, вакуумируемые матрасы и др.;
- проведение топометрии иммобилизованного пациента: мультимодальная топометрия с использованием всех доступных средств — рентген, рентгеновский компьютерный томограф, магнитно-резонансный томограф, аппарат для ультразвукового исследования и др. В результате получают трехмерные изображения синтопии (взаиморасположения) опухоли (визуализированной мишени), органов и структур в области интереса. Под областью интереса понимается в этом случае объем тела,

<sup>1</sup> Global Oncology Information Systems Market Research Report. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/oncology-information-systems-market-7080> ограниченный доступ к полной версии материала (дата обращения: 03.03.2021).

<sup>2</sup> MOSAIQ Radiation Oncology. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elekta.com/software-solutions/care-management/mosaiq-radiation-oncology/> (дата обращения: 03.03.2021).

<sup>3</sup> ARIA Oncology Information System. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.varian.com/products/software/information-systems/aria-oncology-information-system> (дата обращения: 03.03.2021).

<sup>4</sup> RayCare Oncology Information System. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.raysearchlabs.com/raycare/> (дата обращения: 03.03.2021).

- который заведомо подвергнется облучению и/или который возможно попадет в зону облучения;
- дозно-анатомическое планирование облучения пациента: выполняется планирование облучения с учетом всех доступных топометрических данных, результатом которого являются данные для изготовления или выбора средств формирования дозового распределения, рассчитанные итоговые дозовые распределения, включая распределения для верификации, а также данные для совмещения дозового распределения с мишенью-опухолью;
- симуляция позиционирования: производится укладка/усадка пациента на лучевой установке (или на симуляторе), осуществляются предусмотренные планом позиционирование и перемещение пациента с целью оценки качества изготовления индивидуальных средств иммобилизации, комфорта пациента, выяснения реализуемости плана облучения;
- коррекция дозно-анатомического плана облучения (при необходимости — в случае неудачи симуляции);
- изготовление средств формирования индивидуальных дозовых распределений в соответствии с данными этапа планирования;
- верификация дозовых распределений дозно-анатомического плана облучения;
- калибровка приборов, контролирующих величину дозы облучения;
- позиционирование и облучение пациента: производится позиционирование пациента, а при необходимости и мишени, в соответствии с планом облучения, проверка корректности позиционирования и, если позиционирование мишени отличается от утвержденного в плане облучения не больше, чем на заданную величину погрешности, то производится отпуск утвержденной величины дозы.

Отметим, что современные онкологические информационные системы, упомянутые ранее, не являются встраиваемыми в общую автоматизированную систему управления ТП Центра ПЛТ.

### Описание системы

**Назначение.** Предложена информационная система, предназначенная для поддержки принятия решений пользователя в целях корректного проведения как отдельных этапов, так и всего ТП ПЛТ (тут и далее ИС). Для этого ИС задает график проведения этапов, очередность и возможность их параллельного проведения, определяет условия разрешения начала этапа, обеспечивает подсистемы протоколом проведения этапа, отражает в протоколе данные, необходимые оператору (специалист из состава персонала центра ПЛТ, ответственный за прохождение данного этапа) для проведения этапа, а также фиксирует результаты пройденного этапа.

**База знаний.** База знаний представляет собой заранее разработанные методические рекомендации по проведению ТП ПЛТ, включенные непосредственно в саму ИС, как технология диспетчеризации этапов ПЛТ: протоколы, регламенты и др.

Прохождение каждого этапа описано в пошаговом протоколе ИС, задающем прохождение этапа, как последовательность действий (алгоритм). Каждый этап ТП может быть пройден только полностью. При нештатном прерывании протокола этапа на каком-то из шагов этап может быть начат только с начала, и только после полной проверки готовности к его повторному проведению.

ТП ПЛТ реализует в себе медицинские технологии, которые в итоге оказывают непосредственное воздействие на пациента. По этой причине особое внимание уделяется этапам, которые проходят при непосредственном участии пациента: симуляция позиционирования, позиционирование и облучение пациента. Данные этапы должны не столько уложиться во временной

регламент, отведенный для их проведения на лучевой установке, но в большей мере быть ориентированы на эффективное и безопасное проведение процедуры в наиболее комфортных для пациента и эргономичных для оператора условиях.

**Структура.** ИС, структурная схема которой приведена на рис. 1, построена по технологии «клиент-сервер» [11].

Кроме программы, реализующей логику работы сервера, сервер включает также базу данных.

База данных предназначена для хранения данных реального времени (получаемых при выполнении этапов ТП), нормативно-справочной информации, базы знаний в формате, необходимом для работы ИС. В базе данных хранятся расписание прохождения пациентами ПЛТ и протоколы проведения этапов.

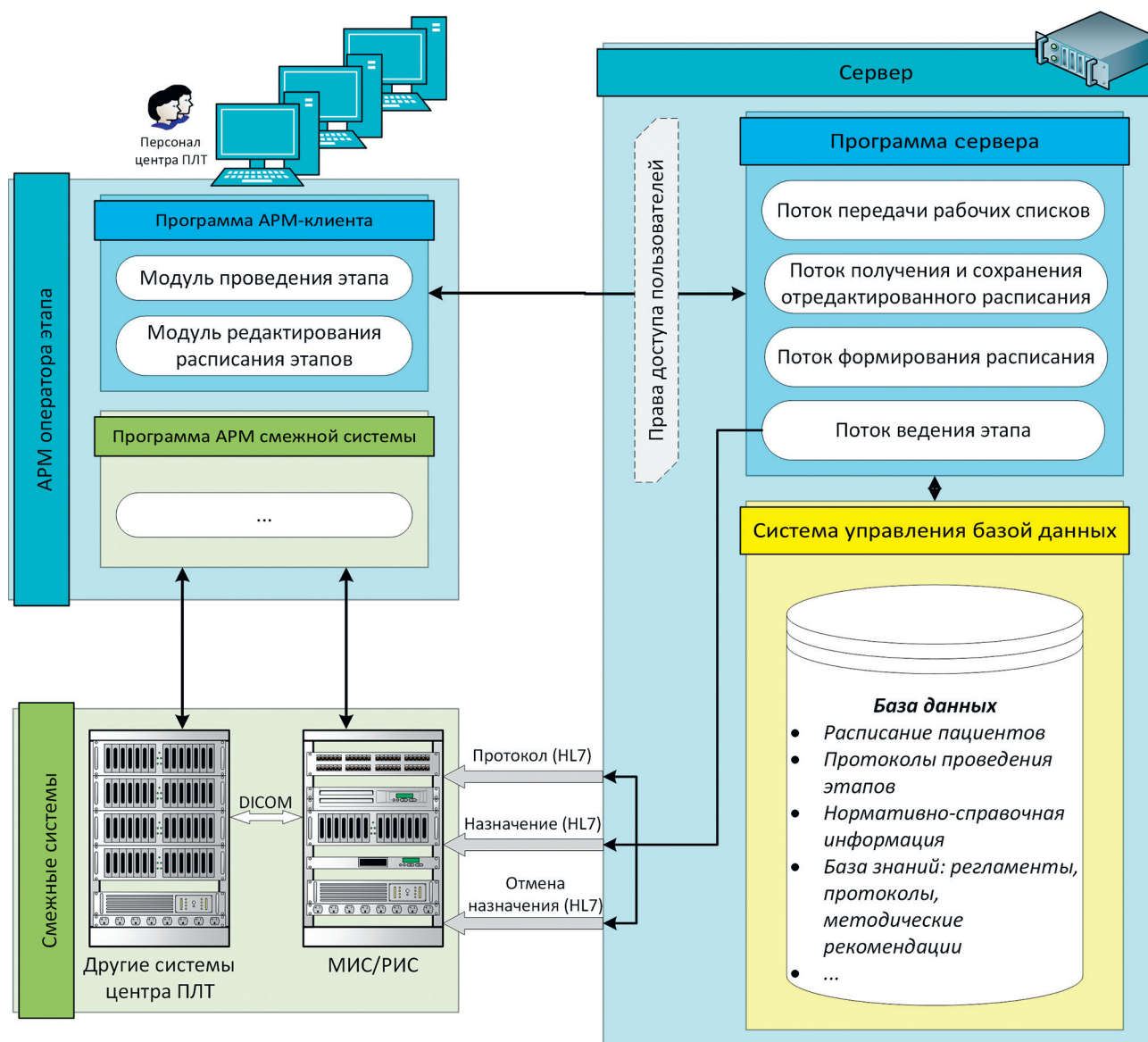


Рис. 1. Структурная схема информационной системы поддержки принятия решений при реализации технологического процесса протонной лучевой терапии.

DICOM, HL7 — международные протоколы передачи медицинских данных

Fig. 1. A block diagram of the decision support system for the proton therapy implementation. DICOM, HL7 are international protocols for electronic interchange of medical data

На каждое автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, обеспечивающее проведение этапа, дополнительно устанавливается ПО АРМ-клиента ИС.

Серверное ПО реализует следующие функции:

- определяет после прохождения пациентом первого этапа расписание проведения следующих этапов с учетом возможности параллельного их проведения;
- передает на АРМ-клиенты расписание проведения этапов для пациента;
- принимает отредактированное расписание от АРМ-клиентов и сохраняет его в базе данных;
- обеспечивает параллельное взаимодействие с АРМ-клиентами ИС в синхронном (при диспетчеризации конкретного этапа) и асинхронном (при составлении расписания или диспетчеризации разных этапов) многопоточных режимах;
- хранение статуса/режима этапа:
  - 1) режим этапа отражает состояние оборудования для его проведения: штатное или профилактическое;
  - 2) статус этапа (для каждого пациента) может быть: назначен на прохождение этапа, подготовлен к прохождению этапа (подготовлены все средства и данные для его прохождения), этап пройден (успешно);
- обеспечивает передачу назначений на этапы (или их отмену) в систему, отвечающую за формирование рабочих списков пациентов на конкретный этап ПЛТ (РИС/МИС), в соответствии с состоянием прохождения этапов пациентом;
- определяет условия разрешения начала этапа, используя информацию об успешности прохождения этого этапа предыдущим пациентом, полученную от оператора на АРМ-клиенте. В случае установления невозможности прохождения этапа (пациент назначен, но не подготовлен; этап не может быть пройден, так как оборудование для прохождения этапа находится в профилактическом или аварийном режиме), а также после устранения невозможности прохождения этапа, выдает эту информацию на АРМ-клиент;
- получение заключения оператора о прохождении этапа, составленного на АРМ-клиенте, и передача его в МИС/РИС.

Для выполнения этих функций в ПО сервера запускаются отдельные параллельные программные потоки обработки запросов АРМ-клиентов:

- поток ведения (для каждого) этапа, обеспечивающий:
  - 1) отслеживание изменения статуса прохождения ТП пациентом, пошаговое формирование и передачу шагов прохождения этапа на АРМ в соответствии с протоколом этапа, передачу в МИС/РИС назначения на этап, передачу в МИС/РИС отмены назначения на конкретный этап ТП, прием заключения оператора о прохождении этапа и передачу его в МИС/РИС;
  - 2) запуск потока ведения этапа, включающего в себя запуск потока формирования расписания, который обеспечивает автоматическое составление расписания, исходя из временного регламента проведения каждого этапа ПЛТ, а также с учетом уже существующего расписания;

- поток передачи рабочих списков, обеспечивающий формирование по запросу АРМ-клиентов и передачу им рабочих списков;

- поток получения и сохранения отредактированного расписания от АРМ-клиента, обеспечивающий: прием отредактированного расписания от АРМ-клиентов и сохранение его в базе данных.

Блок-схема верхнего уровня работы программы сервера ИС (в соответствии с ГОСТ<sup>1</sup>) представлена на рис. 2.

ПО АРМ-клиента включает два модуля:

- проведение этапа ТП ПЛТ: пошаговое получение протокола проведения этапа;
- редактирование расписания этапов: отображение и редактирование расписания проведения этапов ТП ПЛТ для выбранного пациента.

Схема работы программы АРМ-клиента ИС представлена на рис. 3.

#### **Исходные данные и информационные потоки.**

При поступлении пациента в центр ПЛТ в ИС на сервере формируется первичное расписание пациентов на все этапы ПЛТ.

В процессе выполнения ПО сервера получает следующие данные:

- информацию о выбранном пациенте;
- статус прохождения текущего шага протокола;
- заключение оператора — по завершении протокола проведения этапа;
- отредактированное расписание для пациента;
- режим работы этапа.

Из программы сервера передаются данные:

- рабочие списки пациентов, назначенных для проведения заданного этапа на текущий день;
- шаги протокола проведения заданного этапа для выбранного пациента;
- рабочие списки пациентов;
- расписание для пациента;
- назначение/отмена назначения, заключение оператора о проведении этапа в МИС/РИС;
- режим выполнения этапа.

В программу АРМ-клиента передаются:

- для модуля проведения этапа — списки пациентов, назначенных для проведения заданного этапа на текущий день, шаги протокола проведения заданного этапа для выбранного пациента;
- для модуля редактирования расписания — рабочие списки сервера;
- для отображения расписания — рабочие списки сервера.

Из программы АРМ-клиента передаются:

- от модуля проведения этапа — информация о выбранном пациенте и статус прохождения текущего шага протокола, по завершении протокола — заключение оператора;
- от модуля редактирования расписания — рабочие списки сервера.

<sup>1</sup> ГОСТ 19.701 ЕСПД (ИСО 5807-85). Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. Введ. 01.01.92. М.: Издательство стандартов, 1990. 24 с.

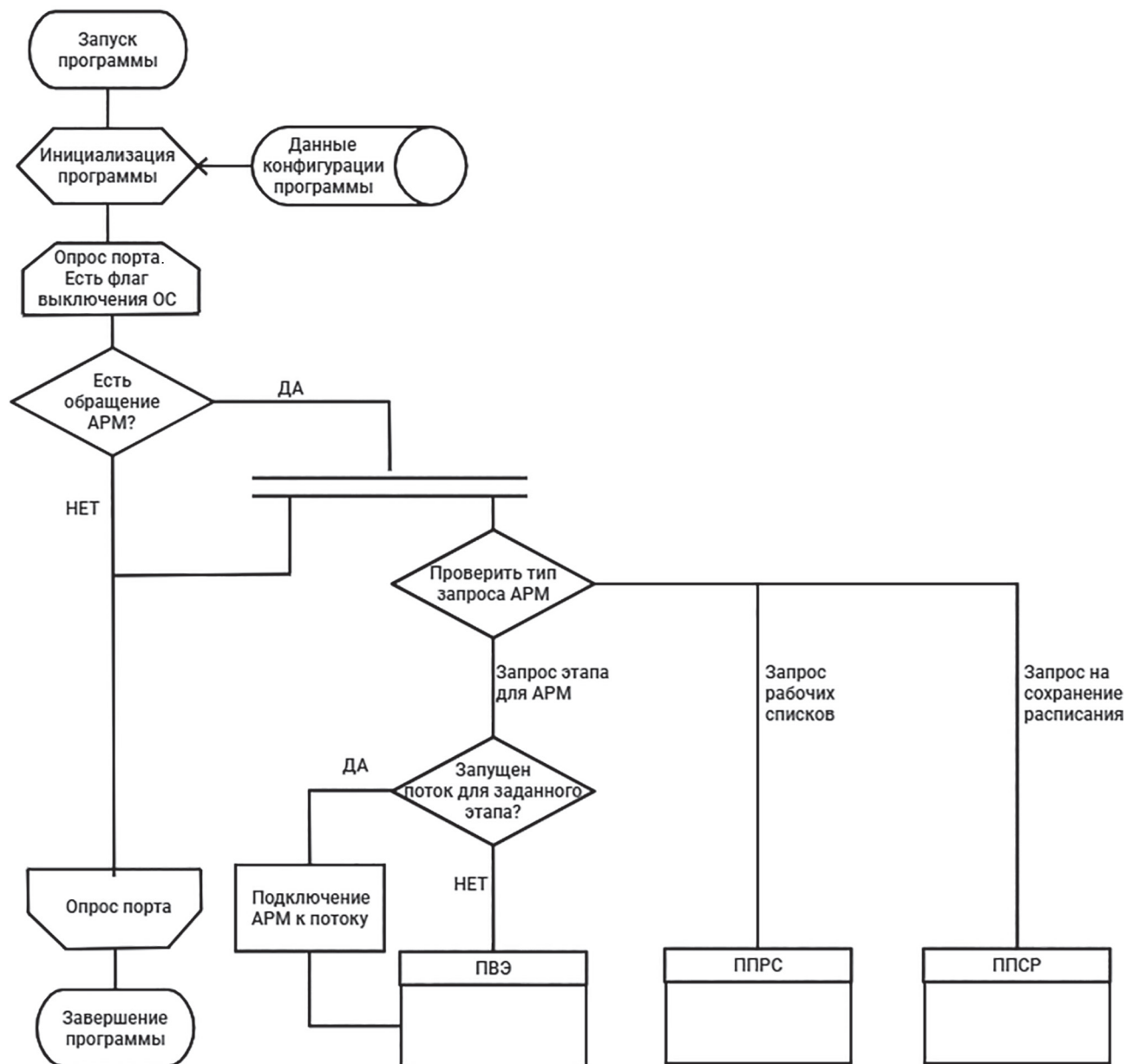


Рис. 2. Схема работы программы сервера информационной системы поддержки принятия решений при реализации технологического процесса протонной лучевой терапии.

ПВЭ — поток ведения этапов, ППРС — поток передачи рабочих списков, ППСР — поток получения и сохранения расписания, ОС — операционная система

Fig. 2. Scheme of the server program operation.

ПВЭ — stage management thread, ППРС — worklist transfer thread, ППСР — thread of getting and saving the schedule, ОС — operating system

При этом программа АРМ-клиента все данные, необходимые для работы, получает непосредственно от сервера.

### Подготовка и проведение этапов технологического процесса

На сервере после проведения первого этапа формируется (назначается) расписание для текущего пациента. При дальнейшем успешном прохождении этапов пациентом в соответствии с последовательностью проведения ТП статус очередного (очередных — при

возможном по регламенту ТП параллельном независимом исполнении этапов) для прохождения этапа в расписании пациента будет изменен на «подготовлен». А при (успешном) проведении этапа его статусу будет присвоено значение «завершен».

Если проведение подготовленного этапа было прервано, или этап к назначенному времени проведения не был подготовлен, то происходит автоматическое переназначение расписания на этот и следующие этапы в соответствии с временным регламентом проведения этапов. При необходимости оператор может произвести редактирование расписания пациента.

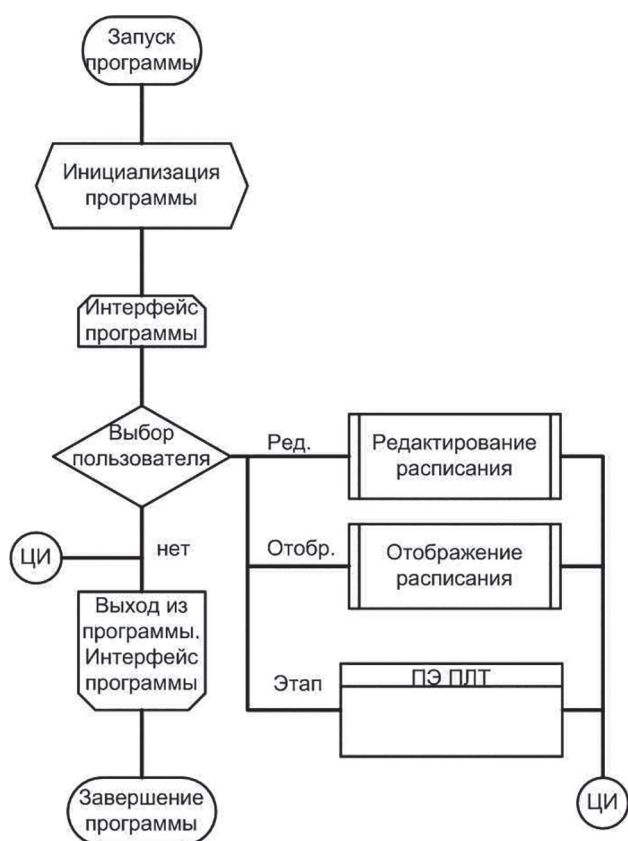


Рис. 3. Схема работы программы АРМ-клиента информационной системы поддержки принятия решений при реализации технологического процесса протонной лучевой терапии.

ЦИ — метка символа-соединителя, связывающего части схемы, ПЭ — процесс прохождения этапа

Fig. 3. Scheme of the client workstation program operation. ЦИ — label of the connector symbol that connects the parts of the diagram, ПЭ — process for passing the stage

При изменении статуса этапа в расписании на «подготовлен» ИС формирует назначение и передается его в МИС/РИС (в рамках протокола HL7<sup>1</sup>) для формирования рабочего списка на этот этап. По данным рабочих списков (в рамках протокола DICOM<sup>2</sup>) оператор на оборудовании, используемом на данном этапе ТП, сможет сначала выбрать пациента из списка назначенных на процедуры сегодня и по данным его идентификатора получить всю необходимую для проведения этапа информацию.

При проведении этапа на АРМ-клиент ИС поступают шаги этапа протокола его проведения в зависимости от принятых решений оператора. После проведения каждого шага оператор сообщает успешность его завершения или решение (если позволено протоколом) о его пропуске или выборе (предложенного) альтернативного шага. Если возникает внештатная ситуация, то

<sup>1</sup> HL7 — Health Level 7 — стандарт обмена, управления и интеграции электронной медицинской информации.

<sup>2</sup> DICOM — медицинский стандарт создания, хранения, передачи и визуализации цифровых медицинских изображений и документов пациентов.

оператор принимает решение и выбирает прерывание проведения этапа, что отразится в режиме этапа в ИС, до устранения неисправности.

Если АРМ, обеспечивающих проведение этапа ТП, больше одного, на каждый из них установлено ПО АРМ-клиента ИС, и выполнение шагов протокола этапа распределяется между ними.

Для примера работы ИС и ее взаимодействия с МИС/РИС, а также персоналом центра ПЛТ рассмотрим технологию проведения двух этапов ТП ПЛТ:

- 1) дозно-анатомическое планирование облучения и утверждение плана;
- 2) позиционирование и облучение пациента.

Первый относительно простой с точки зрения проведения ТП ПЛТ и взаимодействия систем, второй — самый критический и сложный.

**Дозно-анатомическое планирование облучения и утверждение плана.** Проведение этапа обеспечивает одна система — дозно-анатомического планирования, на АРМ которой установлено ПО АРМ-клиента ИС.

При выполнении этапа на АРМ-клиенте оператор получает список пациентов, подготовленных для создания дозно-анатомического плана облучения. При выборе пациента загружается первый шаг протокола исполняемого этапа. На данном этапе он будет единственным — провести дозно-анатомическое планирование. Этап для пациента должен быть произведен в назначенный день, но проведение этого этапа не будет привязано ко времени.

В системе дозно-анатомического планирования оператор получает от МИС/РИС список пациентов, выбирает того же пациента и получает доступ к данным для проведения планирования.

После завершения планирования оператор отражает эту информацию выбором на АРМ-клиенте ИС. Если после планирования план был утвержден, то сервер отражает успешное проведение текущего этапа ТП для пациента и переводит состояние этапа симуляции позиционирования в «подготовлен к проведению» в расписании сервера. Это, в свою очередь, приводит к назначению пациента в соответствии с существующим расписанием в рабочий список этапа симуляции позиционирования МИС/РИС.

**Позиционирование и облучение пациента.** На данном этапе задействовано как минимум две системы, обеспечивающие его проведение. Одна используется в процедурном помещении при формировании дозового распределения и позиционировании пациента, вторая — при непосредственном облучении пациента. Позиционирование пациента может производиться с использованием методов, основанных на использовании ионизирующего излучения, приводящих к дополнительной дозовой нагрузке на оператора. В этом случае может быть выделена дополнительная система, для работы с источником ионизирующего излучения. На каждом АРМ систем центра ПЛТ, обеспечивающих проведение этапа, установлено ПО АРМ-клиента ИС.

Перед началом этапа оператор производит подключение АРМ-клиента к серверу ИС, выбор пациента и загрузку своего шага протокола.

На первой стадии производится управление позиционированием пациента посредством специализированного АРМ системы позиционирования из состава центра ПЛТ. На АРМ-клиент ИС, установленный на этот АРМ, поступают шаги протокола по позиционированию пациента.

При необходимости получения дополнительных топометрических данных с использованием устройств рентгеновского позиционирования или конусно-лучевого компьютерного томографа, подтверждающих корректность позиционирования, управление и следующие шаги протокола этапа временно передаются на АРМ соответствующей системы. Если необходимо несколько последовательных итераций позиционирования пациента, то такой переход: от одной системы к другой и обратно, — может быть произведен несколько раз. При подтверждении успешного позиционирования пациента управление передается на систему, с которой будет произведен отпуск дозы.

### Заключение

В работе изложен подход к созданию информационной системы поддержки принятия решений персоналом центра протонной лучевой терапии для корректного проведения последовательности этапов технологического процесса.

Предложенная система позволяет соблюдать оператору регламент проведения работ на этапе и поддерживать проведение технологического процесса протонной лучевой терапии пациента. Оператору достаточно следовать шагу протокола, который отражает текущую задачу. В зависимости от результата прохождения шага этапа информационная система определит следующее действие для оператора или предоставит возможность остановить выполнение этапа. В информационной системе определяется возможность прохождения выбранных этапов и формируется, опираясь на временной регламент проведения работ, расписание параллельного проведения протонной лучевой терапии пациентов, которое может быть автоматически скорректировано при нештатной ситуации или отредактировано оператором при необходимости.

Система взаимодействует с оператором через клиентское программное обеспечение, установленное на автоматизированное рабочее место, которое обеспечивает проведение текущего этапа. Передача назначенных рабочих списков на оборудование производится через радиологическую (или медицинскую) информационную систему с использованием стандартных протоколов. Это позволяет использовать систему в составе автоматизированной системы управления технологическим процессом любого центра лучевой терапии (не только протонной).

### Литература

1. Кленов Г.И., Хорошков В.С. Адронная лучевая терапия: история, статус, перспективы // Успехи физических наук. 2016. Т. 186. № 8. С. 891–911. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.06.037823>
2. Particle Therapy Co-Operative Group: Facilities in Operation. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ptcog.ch/index.php/facilities-in-operation> (дата обращения: 03.03.2021).
3. Ваганова Е.В. Медицинские информационные системы как объект оценки: факторы и тенденции развития // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2017. № 37. С. 113–130. <https://doi.org/10.17223/19988648/37/9>
4. Цифровые технологии в отделении лучевой диагностики / под ред. Г.Г. Кармазановского и А.И. Лейченко. М.: Видар-М, 2007. 200 с.
5. Lingamallu K., Nayakvadi S. Role of HIS and RIS in improving quality of patient care // International Journal of Collaborative Research on Internal Medicine & Public Health. 2017. V. 9. N 7. P. 725–734.
6. Киреев В.С., Агамов Н.А. Сравнительный обзор медицинских информационных систем, представленных на российском рынке // Теория. Практика. Инновации. 2017. № 7(19). С. 184–193.
7. Miriyala R., Thakur P., Singh A.O., Gupta A., Yadav B.S., Kumar N., Rattan R., Ghoshal S. Workflow management in radiation oncology: The impact on a high volume department // British Journal of Health Care Management. 2018. V. 24. N 6. P. 302–307. <https://doi.org/10.12968/bjhc.2018.24.6.302>
8. DeLuca P.M., Jr., Wambersie A., Whitmore G. Prescribing, Recording, and Reporting Proton-Beam Therapy (ICRU report, 78) // Journal of the ICRU. 2007. V. 7. N 2. P. 1–210. <https://doi.org/10.1093/jicru/ndm021>
9. Бородин Ю.И., Вальский В.В., Ерохин И.Н., Канчели И.Н., Ломанов М.Ф., Люлевич В.И., Орлов Д.Г., Саакян С.В., Хорошков В.С., Черных А.Н. Инновационные разработки технических средств для протонной терапии внутриглазных новообразований. Часть I // Российский офтальмологический журнал. 2015. Т. 8. № 2. С. 14–20.
10. Бородин Ю.И., Вальский В.В., Ерохин И.Н., Канчели И.Н., Ломанов М.Ф., Люлевич В.И., Орлов Д.Г., Саакян С.В., Хорошков В.С., Черных А.Н. Инновационные разработки технических

### References


1. Klenov G.I., Khoroshkov V.S. Hadron therapy: History, status, prospects. *Physics-Uspeski*, 2016, vol. 59, no. 8, pp. 807–825. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.06.037823>
2. Particle Therapy Co-Operative Group: Facilities in Operation. 2021. Available at: <https://www.ptcog.ch/index.php/facilities-in-operation> (accessed: 03.03.2021).
3. Vaganova E.V. Hospital information systems as the object of evaluation: factors and development tendencies. *Tomsk State University Journal of Economics*, 2017, no. 37, pp. 113–130. (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988648/37/9>
4. *Application of Digital Technologies at Radiation Department*. Ed. by G.G. Karmazanovskii, A.I. Leichenko. Moscow, Vidar-M Publ., 200 p. (in Russian)
5. Lingamallu K., Nayakvadi S. Role of HIS and RIS in improving quality of patient care. *International Journal of Collaborative Research on Internal Medicine & Public Health*. 2017, vol. 9, no. 7, pp. 725–734.
6. Kireev V.S., Agamov N.A. A Comparative Review of Medical Information Systems on the Russian Market. *Theory. Practice. Innovations*, 2017, no. 7(19), pp. 184–193. (in Russian)
7. Miriyala R., Thakur P., Singh A.O., Gupta A., Yadav B.S., Kumar N., Rattan R., Ghoshal S. Workflow management in radiation oncology: The impact on a high volume department. *British Journal of Health Care Management*, 2018, vol. 24, no. 6, pp. 302–307. <https://doi.org/10.12968/bjhc.2018.24.6.302>
8. DeLuca P.M., Jr., Wambersie A., Whitmore G. Prescribing, Recording, and Reporting Proton-Beam Therapy (ICRU report, 78). *Journal of the ICRU*, 2007, vol. 7, no. 2, pp. 1–210. <https://doi.org/10.1093/jicru/ndm021>
9. Borodin Yu.I., Valsky V.V., Erokhin I.N., Kancheli I.N., Lomanov M.F., Lyulevich V.I., Orlov D.G., Saakyan S.V., Khoroshkov V.S., Chernykh A.N. Technical innovations for proton therapy of intraocular neoplasms. Part I. *Russian Ophthalmological Journal*, 2015, vol. 8, no. 2, pp. 14–20. (in Russian)
10. Borodin Yu.I., Valsky V.V., Erokhin I.N., Kancheli I.N., Lomanov M.F., Lyulevich V.I., Orlov D.G., Saakyan S.V., Khoroshkov V.S., Chernykh A.N. Technical innovations for proton




- средств для протонной терапии внутриглазных новообразований. Часть II // Российский офтальмологический журнал. 2016. Т. 9. № 2. С. 11–17.
11. Радченко Г.И. Распределенные вычислительные системы: учебное пособие. Челябинск: Фотохудожник, 2012. 182 с.


- therapy of intraocular neoplasms. Part II. *Russian Ophthalmological Journal*, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 11–17. (in Russian)
11. Radchenko G.I. *Distributed Computing Systems*. Chelyabinsk, Fotohudozhnik Publ., 2012, 182 p. (in Russian)


#### Авторы

**Карпунин Владимир Олегович** — научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, 123182, Российская Федерация,  14041959000, <https://orcid.org/0000-0001-7301-3775>, [karpunin@itep.ru](mailto:karpunin@itep.ru)

**Орлов Дмитрий Георгиевич** — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, 123182, Российская Федерация,  12646358900, <https://orcid.org/0000-0001-7088-2246>, [orlov\\_d@mail.ru](mailto:orlov_d@mail.ru)

#### Authors

**Vladimir O. Karpunin** — Researcher, National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, 123182, Russian Federation,  14041959000, <https://orcid.org/0000-0001-7301-3775>, [karpunin@itep.ru](mailto:karpunin@itep.ru)

**Dmitry G. Orlov** — PhD, Senior Researcher, National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, 123182, Russian Federation,  12646358900, <https://orcid.org/0000-0001-7088-2246>, [orlov\\_d@mail.ru](mailto:orlov_d@mail.ru)

*Статья поступила в редакцию 27.04.2021*  
*Одобрена после рецензирования 22.06.2021*  
*Принята к печати 25.07.2021*

*Received 27.04.2021*  
*Approved after reviewing 22.06.2021*  
*Accepted 25.07.2021*



Работа доступна по лицензии  
Creative Commons  
«Attribution-NonCommercial»