

ОДНОКАБИННЫЕ КОМПЛЕКСЫ В ЦЕНТРАХ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

*Г.И. Кленов¹, В.П. Ларионов², В.И. Максимов³, Г.Л. Мамаев²,
В.С. Хорошков¹, А.Н. Черных¹*

¹ *Институт теоретической и экспериментальной физики им. Алиханова, Москва*

² *Московский радиотехнический институт РАН, Москва*

³ *Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова,
Санкт-Петербург*

Описана новая общемировая тенденция в оснащении центров протонной лучевой терапии: поставки на рынок и сооружение малогабаритных комплексов протонной лучевой терапии в составе – один ускоритель и одна установка гантри.

Ключевые слова: *протонная лучевая терапия, малогабаритные комплексы, гантри*

С 1990 г. после длительного периода экспериментальных физико-технических и клинических исследований (1954–1990 гг.) протонная лучевая терапия (ПЛТ) начинает быстро внедряться в практическое здравоохранение в развитых странах. Главным новационным техническим решением, определившим высокий темп сооружения с 1990 г. клинических центров ПЛТ, явилось создание системы многопольного протонного облучения пациента в положении лежа – системы гантри. Применение до 1990 г. в десяти экспериментальных центрах ПЛТ лишь горизонтальных мононаправленных пучков ускоренных протонов, отказ от уже повсеместно применяемой с середины прошлого века в конвенциональной ЛТ ротации источников квантового и электронного излучения показали за 36-летний экспериментальный период свою несостоятельность. Оказалось, что на горизонтальных пучках удается успешно облучать протонами лишь пациентов со злокачественными новообразованиями глаза и орбиты и с внутричерепными опухолями и патологиями, т.е. 2–3 % от всей структуры онкологической заболеваемости. Сегодня при использова-

нии гантри, по разным оценкам, ПЛТ показана 10–15 % онкологических больных, и этот показатель постоянно растет.

Вплоть до 2013 г. в мире сооружались лишь многокабинные клинические центры ПЛТ – один ускоритель (циклотрон или синхротрон) на 3–5 установок, причем всегда предусматривается 2–4 установки гантри. Устойчивая тенденция сооружения только многокабинных центров ПЛТ определяется экономическими соображениями – стоимость сравнительно высоких капитальных и эксплуатационных затрат и в конечном итоге стоимость лечения удавалось заметно снизить, поскольку в этом случае затраты на ускорительную часть нормируются на число процедурных кабин или на большой поток пациентов – до 1000 и более в год. В то же время определилось достаточно неприятное обстоятельство: многокабинные центры ПЛТ на большие годовые потоки пациентов оказались востребованы лишь крупными онкологическими клиниками. Обширная ниша использования ПЛТ малыми и средними клиниками и радиологическими отделениями оставалась незаполненной, хотя отчетливый

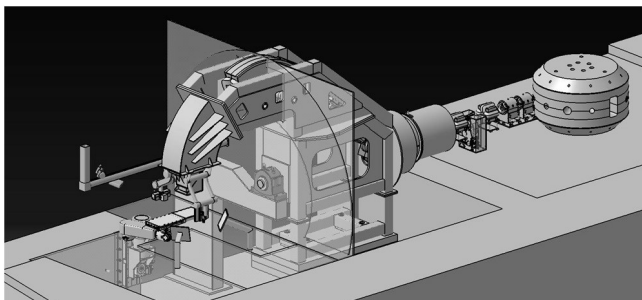


Рис. 1. Однокабинный комплекс Proteus one компании IBA. Справа – циклотрон на энергию протонов 250 МэВ; слева – гантри с углом поворота $\pm 135^\circ$ и дека для размещения пациента. Габариты установки: длина 30 м, ширина 13,5 м, высота 10 м

запрос на малые комплексы ПЛТ (один ускоритель – одна установка гантри) сформировался уже в середине 1990-х годов.

Как всегда, спрос определил предложения, и к концу первого десятилетия XXI века появились новые технологические решения, позволившие с 2013 г. “открыть рынок” однокабинных комплексов ПЛТ. К началу 2019 г. в мире работало 87 клинических центров ПЛТ, в том числе 17 – однокабинных [1]. На рынке однокабинных комплексов ПЛТ пока присутствуют две зарубежные компании – Ion Beam Application (рис. 1) [2] и Mevion Medical Systems (рис. 2) [3], хотя анонсируется ряд аналогичных проектов, например [4]. В обоих представленных на рисунках комплексах в качестве ускорителя используется циклотрон с фиксированной максимальной энергией выводимого пучка. Для торможения пучка до энергии, предусмотренной дозно-анатомическим планом облучения, используется так называемый “деградатор” (тормозитель). Обоим комплексам присущи два основных недостатка: высокий нейтронный фон и ограниченный угол поворота гантри – ± 110 – 135° . Риск нейтронного облучения пациента особенно велик для комплекса Mevion medical systems, поскольку основной источник нейтронов – деградатор энергии недопустимо приближен к пациенту. Этому комплексу присущ еще один недостаток: отсутствие анализатора, монохроматизирующего энергетический спектр пучка после деградатора. Поэтому энергетический спектр пучка достаточно широк, что снижает отношение дозы в пике кривой Брэгга к дозе на входе в тело пациента до 2 (обычно ~ 4) и увеличивает дистальную “полутень” в распределениях дозы почти до 6 мм (обычно падение дозы на дистальных

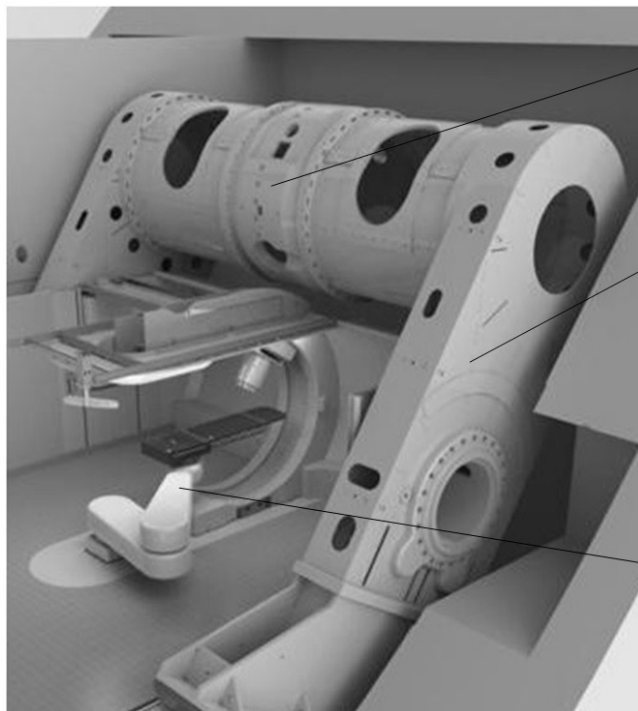


Рис. 2. Однокабинный комплекс компании Mavion Medical Systems. 1 – циклотрон на энергию протонов 250 МэВ, 2 – качающаяся на $\pm 110^\circ$ П-образная рама, 3 – дека для размещения пациента

границах протонных дозовых распределений от 80 % до 20 % происходит на дистанции 1,5–2 мм).

Из изложенного следует, что попытки удешевить стоимость лечения в однокабинных комплексах, приблизить эту стоимость к стоимости лечения в многокабинных комплексах, уменьшить габариты комплексов пока, к сожалению, приводят к ухудшению клинически важных характеристик лучевых установок. Технических решений, сохраняющих одновременно стоимость лечения, устоявшуюся в многокабинных центрах ПЛТ, и оптимальные характеристики классических гантри пока не предложено.

Авторы данной публикации предложили и запатентовали [5] новое техническое решение, лишенное указанных недостатков (рис. 3). В качестве ускорителя предложен синхротрон, что снимает необходимость использования основного источника нейтронного фона – тормозителя пучка. Предусмотренная дозно-анатомическим планом облучения энергия протонов не требует дополнительного регулирования (торможения), т.к. определяется моментом вывода протонов из синхротрона по достижению

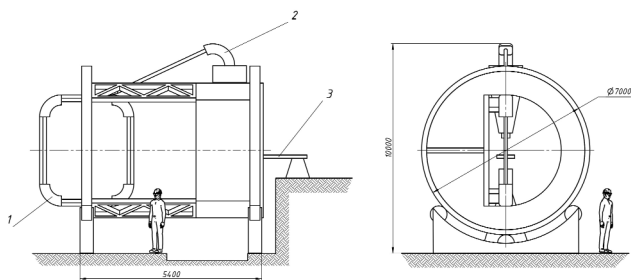


Рис. 3. Проект однокабинного комплекса НИЦ “Курчатовский институт” – ИТЭФ. 1 – синхротрон на энергию протонов 70–250 МэВ, 2 – поворотный магнит, 3 – дека для размещения пациента

ими нужной энергии. Таким образом, нейтронный фон и нейтронное облучение пациента минимизировано. Совместный поворот синхротрона и поворотного магнита вокруг оси X-X, лежащей в медианной плоскости синхротрона, обеспечивает полную ($\pm 180^\circ$) ротацию пучка вокруг лежащего пациента. Работы над проектом продолжают.

Выводы

На общемировом рынке средств ПЛТ отчетливо определилась тенденция поставок и сооружения однокабинных клинических комплексов ПЛТ;

- ✓ научный физико-технический и клинический опыт и необходимый промышленный потенциал для решения этой задачи в России имеется;

- ✓ реализация представленного российского проекта позволит занять заметную нишу на новом открывшемся сегменте рынка средств ПЛТ;
- ✓ по мере развития в России сети региональных онкологических больниц и диспансеров с относительно небольшими радиологическими отделениями однокабинные комплексы ПЛТ несомненно будут востребованными отечественным здравоохранением.

Список литературы

1. Список действующих центров: сайт – URL: <https://www.ptcog.ch/index.php/facilities-in-operation> (дата обращения: 27.12.2019).
2. Решения для протонной лучевой терапии компании IBA: сайт – URL: <https://iba-worldwide.com/proton-therapy/proton-therapy-solutions/proteus-one> (дата обращения: 27.12.2019).
3. Компания Mavion: сайт – URL: <https://www.mevion.com/> (дата обращения: 27.12.2019).
4. Решения для протонной лучевой терапии компании Varian: сайт – URL: <https://www.varian.com/products/proton-therapy> (дата обращения: 27.12.2019).
5. Хорошков В.С., Кленов Г.И., Ларионов В.П., Мамаев Г.Л., Черных А.Н. Компактный однокабинный комплекс протонной лучевой терапии. Патент на изобретение RU 2697232, дата публикации 13.08.2019.

SINGLE CABIN PROTON RADIATION THERAPY COMPLEXES

G.I. Klenov¹, V.P. Larionov², В.И. Максимов³, G.L. Mamaev², V.S. Khoroshkov¹, A.N. Chernykh¹

¹ Institute of Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russia

² Moscow Radio Engineering Institute, Moscow, Russia

³ Petersburg Institute of Nuclear Physics, St.Petersburg, Russia

The article describes a new global trend in equipping healthcare with proton radiation therapy: deliveries to the market and the construction of small-sized complexes PRT consisting of one accelerator and one gantry treatment unit.

Key words: *proton radiation therapy, small-sized complexes, gantry*

E-mail: khoroshkov@itep.ru