

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА КЛИНИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ ПОСЛЕДНЕГО ПОКОЛЕНИЯ

И.М. Лебедеико, К.П. Галанцев, С.В. Гарин

*Национальный медицинский исследовательский центр онкологии
им. Н.Н. Блохина” МЗ РФ, Москва*

Рассмотрены проблемы эксплуатации и ремонта клинических линейных ускорителей электронов компании Varian пятого поколения. Описаны элементы ускорителей, которые несут основную технологическую и эксплуатационную нагрузку во время лечения пациентов. При выходе из строя любого из этих элементов прекращается работа всего ускорителя. Персоналу по обслуживанию ускорителей приходится искать других дилеров от производителя. В условиях жесткого снижения финансирования остро встал вопрос о поиске российских аналогов запчастей. Возможно ли замещение конструктивных элементов МЛК ускорителей отечественными комплектующими деталями?

Ключевые слова: *клинические ускорители электронов, лучевая терапия, эксплуатация, ремонт*

Оснащение всех крупных радиологических центров России линейными ускорителями электронов (ЛУЭ) пятого поколения, то есть имеющими возможность проведения облучения по технологиям, связанным с планированием по программам оптимизации, которые реализуются с помощью многолепестковых (многопластинчатых) коллиматоров (МЛК), является большим достижением отечественного здравоохранения. В закупку ЛУЭ вкладываются огромные деньги. Однако только закупка ЛУЭ не обеспечивает длительной эксплуатации аппаратов. Как указывалось в работах [1, 2, 4, 5], при закупке аппарата необходимо предусмотреть значительные финансовые вложения на износ различных его составляющих. В отечественной литературе отсутствуют рекомендации по сервисному обслуживанию ускорителей. Имеющиеся рекомендации по гарантии качества (ГК) [3, 6–9] требуют качественно-

го контроля работы ЛУЭ, но нигде не говорится о сопутствующем техническом сопровождении этих процедур. Отдельная проблема – это подготовка специалистов для грамотного обслуживания аппаратов, поскольку в стране не существует курсов переподготовки инженеров разных специальностей для обслуживания конкретных аппаратов.

Целью работы является на основе многолетнего опыта работы с ЛУЭ разных поколений ознакомить читателей с проблемами эксплуатации и ремонта клинических ускорителей электронов с технологией модуляции интенсивности в условиях России, а также перспективой возможного импортозамещения.

НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина располагает мощной технологической базой для обеспечения населения высокотехнологичной лучевой терапией (ЛТ). Для облучения больных применяются шесть ЛУЭ моделей Clinac

2300CD (2 шт), Clinac iX (2 шт), Clinac 600C и Clinac 6EX с интегрированным МЛК “Милле-ниум” MLC 120, с количеством пластин 120, размером пластины в изоцентре 5 мм; рентгеновской системой, системой портальной визуализации, системой синхронизации по дыханию с нагрудным маркером. Номинальная энергия фотонного излучения 6, 18 МэВ, электронов 4–20 МэВ.

Ускорители позволяют реализовать 3D конформную лучевую терапию (3D КЛТ), облучение с модуляцией интенсивности мощности дозы в статическом режиме (технология IMRT) и в подвижном режиме (технология Rapid Arc), а также облучение с синхронизацией по естественному дыханию, посредством использования нагрудного маркера и цифровой инфракрасной системы видеонаблюдения. Конформное статическое облучение с использованием МЛК осуществляется с нескольких направлений. При этом движение пластин МЛК во время процедуры облучения осуществляется преимущественно в режиме “движущегося окна” (sliding window), то есть синхронизировано и одновременно изменяется скорость движения лепестков. При методике Rapid Arc облучение осуществляется в ротационном режиме, начиная с любого направления, секторами. Движение пластин МЛК при этом также осуществляется преимущественно в режиме “движущегося окна”. При этом в процессе облучения изменяется скорость движения пластин МЛК, скорость движения головки ускорителя и мощность дозы.

Главным компонентом ускорителей, испытывающим максимальную нагрузку при лечении больных при перечисленных технологиях, является МЛК и все его составляющие. Исходя из общего количества сеансов облучения в месяц и количества больных в год, которое составляет 2500–3000 пациентов, подсчитано количество направлений (полей) в месяц, с которых реализуются технологии IMRT и Rapid Arc. Для всех ускорителей это число составило суммарно 33 тыс. Среднее количество движений пластин в месяц на всех ускорителях при таком количестве направлений и больных по данным системы планирования Eclipse составляет 39,6 млн.

Главными элементами МЛК ускорителя являются моторы МЛК, гайки МЛК, винты, подпружиненные шарики, мембранные потенциометры (рис. 1–3). В процессе эксплуатации ускорителей при выходе из строя любого эле-



Рис. 1. Моторы МЛК при демонтаже и полной разборке



Рис. 2. Лепестки, моторы, гайки, направляющие пружины и стержни МЛК при демонтаже и полной разборке

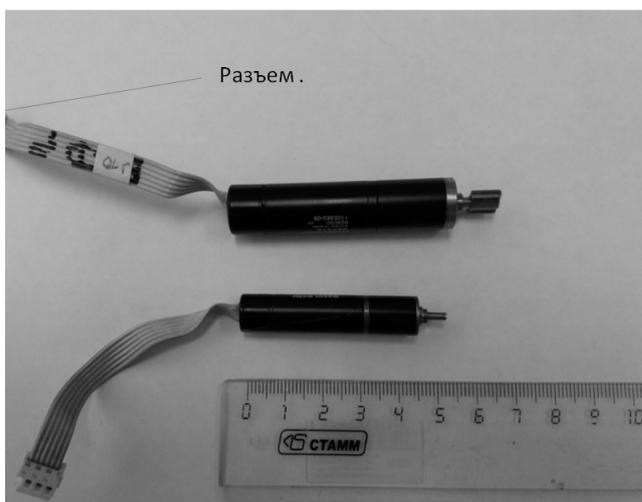


Рис. 3. Моторы для широких и узких пластин МЛК при демонтаже и полной разборке

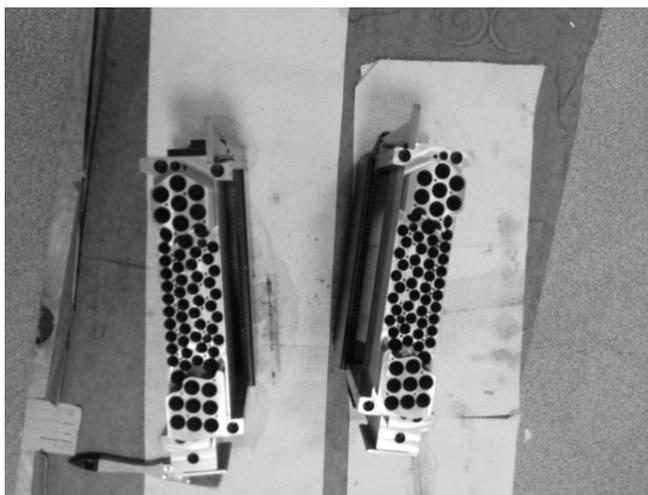


Рис. 4. Каретки лепестков и приводов МЛК при демонтаже и полной разборке. Большие отверстия предназначены для моторов широких пластин

мента: мотора, гайки, винта, подпружиненного шарика или потенциометра прекращается работа всего ускорителя. Для приобретения новых элементов МЛК, учитывая трудное финансовое положение института, персоналу по обслуживанию ускорителей приходится рассматривать другие возможности для закупок запчастей. Посмотрим поэтапно, как это осуществляется.

Моторы. Мотор состоит из трех составляющих: мотора планетарного редуктора, мотора, датчика Холла. На рис. 1 изображены моторы при демонтаже и полной разборке многолепесткового коллиматора во время ремонтных работ. На рис. 2 изображены пластины, моторы, гайки, направляющие пружины и стержни МЛК при демонтаже и полной разборке. На рис. 3 изображены моторы для широких и узких пластин МЛК при демонтаже и полной разборке. На рис. 4 изображены каретки пластин и приводов (моторов) МЛК при демонтаже и полной разборке. Большие отверстия предназначены для моторов широких пластин. Основной функцией моторов является перемещение лепестков МЛК во время процедуры лечения, которое составляет 275 тыс. движений на каждом ЛУЭ в день при всех указанных технологиях. Существует два типа моторов – для широких (full) и тонких (half) пластин МЛК. В среднем за месяц осуществляется замена двух моторов для широких и 5–6 моторов для тонких пластин. Производятся моторы компанией Maxon Motors в Швейцарии (Varian), стоимость одного мотора составляет \$1000.

Усилиями нашей группы найден отечественный дилер в С.-Петербурге, который те же двигатели МЛК продает по \$500. При этом никаких нарушений с точки зрения приобретения “родных” запасных частей, в данном случае моторов, не происходит. Моторы приобретаются у того же производителя, где приобретает Varian, минуя посредничество самой компании. Напомним также, что по окончании гарантийного срока обслуживания компании–производители мало интересуются проблемами обслуживания ускорителей на местах, что заставляет каждую клинику искать способы поддержания ускорителей в рабочем состоянии собственными силами и возможностями.

Кроме этого, для ремонта плат управления работой МЛК на работу принят специалист, который осуществляет ремонт вышедших из строя элементов платы, а не заменяет платы полностью.

Гайки МЛК закупаются в компании Varian (США) (рис. 2). Гайки интенсивно используются в режимах IMRT, Rapid Arc, ЛТ с контролем по дыханию. За 6 последних лет у всех ускорителей (120 пластин) заменены гайки. Максимальная стоимость одной гайки, которая выходит из строя через три месяца, составляет 3 тыс. руб. Общая стоимость этой детали для всех 6 ускорителей за 6 лет эксплуатации составила 2,48 млн. руб.

Мембранные потенциометры. Мембранные потенциометры закрепляются на каждой каретке (рис. 4). Потенциометры выполняют функцию считывания и контроля истинного положения пластин МЛК. Эта информация необходима и очень важна для лечения пациента. Эта информация является также юридическим свидетельством качества работы персонала при утреннем тестировании МЛК. Деталь заказывается в компании Varian.

Система охлаждения МЛК. Система охлаждения МЛК ускорителей Varian несовершенна и требует существенной доработки. По этой причине выявлены случаи, когда МЛК не проходит теста при закрытой чехлом головке ускорителя. Предположительно, не хватает отвода тепла и притока холодного воздуха. Для улучшения теплоотвода необходимо прорезать отверстия в головке ускорителя на уровне размещения МЛК.

Соединительные кабели между гантри и стойкой ускорителя обеспечивают, в том числе, связь для подстройки мощности дозы. При реализации режима RapidArc во время лечения

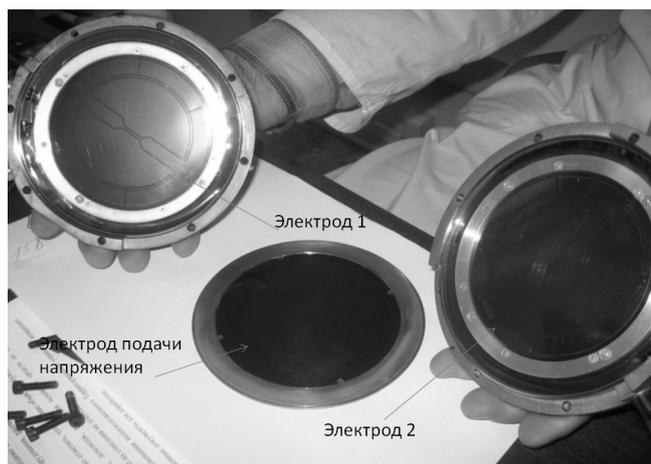


Рис. 5. Мониторные ионизационные камеры ускорителя (в разобранном виде)

происходит интенсивное скручивание и раскручивание кабеля. Причина кроется в очень плотной заводской упаковке кабеля. В России найден и закупается намного более устойчивый к скручиванию соединительный кабель другого зарубежного производителя. Указанные кабели силами группы технического обеспечения распаиваются на штатные разъемы.

Мониторные ионизационные камеры. На рис. 5 изображены электроды мониторинговой ионизационной камеры. Основной функцией мониторинговой ионизационной камеры является контроль отпуска дозы во время лечения пациента. Камеры закупаются у компании Varian. За последние 6 лет вышли из строя и заменены 3 пролетные мониторинговые камеры на ускорителях модели Clinac iX.

Магнетрон. За последние 6 лет магнетрон вышел из строя лишь на одном ускорителе, а именно Clinac 600C. Закупаются у компании E2V AEP Clinac (Великобритания) российским дилером «Логиотек».

Тиратрон. Функция тиратрона заключается в формировании импульсов электромагнитного поля. Средний срок службы тиратрона типа Main Thyatron CX114OLE составляет 9 месяцев. За последние 6 лет на ускорителях заменено 15 тиратронов. Производственная база по их изготовлению располагается в Великобритании. Стоимость одного тиратрона составляет \$7000. Нами найден завод в Рязани по производству керамических тиратронов, которые могут оказаться надежнее. Завод предлагает тиратроны за те же деньги. Мы предложили прислать их нам на испытания.

Система охлаждения ЛУЭ. В системе охлаждения забиваются и требуют промывки внутренние контуры теплообменника, крошится резина под воздействием излучения и химических добавок в воде. Выходят из строя трехходовые краны, поддерживающие количество воды, необходимое для поддержания нужной температуры во внешнем контуре.

Помпы для создания вакуума работают исправно даже при незапланированных отключениях напряжения. Выходит из строя только блок питания ионных помп.

Рентгеновское устройство контроля за положением больного на терапевтическом столе OBI – “on board imaging”. В устройстве не продумана система укладки рентгеновского кабеля. Требуется периодическая заливка масла в систему охлаждения.

Деки столов. После 6 лет эксплуатации все деки столов деформировались в пределах 3 мм, особенно после механических столкновений головок ускорителей и столов.

Резюмируя все вышесказанное, можно заключить следующее.

1. Частота возникновения выхода из строя комплектующих деталей ЛУЭ прямо пропорциональна потоку больных и интенсивности их эксплуатации и для разных клиник может быть разной.
2. Для рыночной стоимости, которая установлена для ускорителей Varian, недостатков слишком много. Компания Varian недостаточно сотрудничает с российскими клиниками и не учитывает наши условия эксплуатации ускорителей. Не ведет статистику сроков службы и времени, необходимого на техническое обслуживание ускорителей.
3. В каждой клинике для обслуживания ЛУЭ такого класса должны быть созданы специальные группы технического обеспечения. Обслуживание сервисными инженерами Varian стоит очень дорого, и, кроме того, наблюдается выраженный дефицит таких специалистов. Поэтому необходимо наладить систему обучения и повышения квалификации специалистов – сервисных инженеров по ремонту и техническому обслуживанию ЛУЭ компаний Varian и Electa.
4. Ущербна система закупки запчастей, которая осуществляется, по схеме поиск неисправности – дефектная ведомость – заявка. Это приводит к значительным простоям оборудования. Необходимо вернуть систему закупки запчастей, которая успешно приме-

нялась в СССР, когда подавалась годовая заявка на запчасти на 10–15 % первоначальной стоимости оборудования. Желательно иметь доступ к базе данных Varian (hot line). Но это уже политико-экономический вопрос, так как есть необслуживаемые компоненты.

5. В настоящее время практически в каждом радиологическом отделении городов России и стран СНГ работают ускорители двух ведущих мировых компаний Varian и Electa, в процессе эксплуатации которых возникают описанные выше проблемы. Существуют все предпосылки для создания завода или лаборатории по обеспечению указанных ускорителей отечественными аналогами запчастей.
6. Замещение конструктивных элементов МЛК ускорителей производства Varian отечественными комплектующими деталями на современном этапе не представляется возможным. Однако в перспективе необходимо решать этот вопрос, для реализации которого потребуются технико-экономическое исследование и обоснование.

Список литературы

1. Костылев В.А. Открытое письмо Президенту РФ о необходимости государственного института медицинской физики // Мед. физика. 2013. № 2(58). С. 5–8.
2. Давыдов М.И., Голанов А.В., Канаев С.В. и соавт. Анализ состояния и концепция модернизации радиационной онкологии и медицинской физики в России // Мед. физика. 2013. № 2(58). С. 8–20.
3. Ставицкий Р.В. Аспекты клинической дозиметрии. – МНПИ. 2000. 388 с.
4. Давыдов М.И., Лебеденко И.М., Журов Ю.В. Основные предпосылки и опыт переоснащения отдела радиационной онкологии в РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН // Мед. физика. 2010. № 4(48). С. 78–81.
5. Лебеденко И.М., Юрьева Т.В., Журов Ю.В., Крылова Т.А. Опыт переоснащения и клиническое внедрение нового радиологического комплекса в отделе радиационной онкологии РОНЦ им. Н.Н.Блохина РАМН // Мед. физика. 2011. № 3(51). С. 14–22.
6. Тарутин И.Г., Титович Е.В.. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии. – Минск. “Беларусская наука”. 2014. 174 с.
7. Тарутин И.Г., Титович Е.В., Гацкевич Г.В. Радиационная защита в лучевой терапии. – Минск. “Беларусская наука”. 2015. 199 с.
8. AAPM TG-142. Klein E.E., Hanley J., Bayouth J. et al. Quality Assurance of Medical Accelerations // Med. Phys. 2009. Vol. 36. № 9. P. 4197–4212.
9. Крылова Т.А., Кодачигова О.В. Проверка качества КТ-изображения бортовой системы визуализации ОВІ. // Мед. физика. 2013. № 2(58). С. 102–108.

OPERATION AND REPAIR PROBLEMS OF CLINICAL ELECTRON ACCELERATORS OF THE LATEST GENERATION

I.M. Lebedenko, K.P. Galantsev, S.V. Garin

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia

The problems of operation of fifth-generation clinical linear electron accelerators are considered. Elements of accelerators that carry the main technological and operational load during the treatment of patients are described. If any of these elements fails, the entire accelerator will stop working. Service personnel for accelerators have to look for other dealers from the manufacturer. In the conditions of a severe decrease in funding, the issue of finding Russian analogs for spare parts was sharply raised. Is it possible to replace the components of MLC accelerators with domestic components?

Key words: *clinical electron accelerators, radiotherapy*

E-mail: imlebedenko@mail.ru