

Проблемы расчета радиационной защиты и методики радиационного контроля при разработке проектов размещения ускорителей

Владимиров Л.В.¹, Рыжов С.А.², Заширинский Д.М.³, Сидоров О.С.⁴

¹ Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава России, Москва, Россия

² Управление Роспотребнадзора по городу Москве, Москва, Россия

³ ЛРК ИЛЦ ООО "КАНОН", Москва, Россия

⁴ ИЛЦ ООО "КАНОН", Москва Россия

Problems of Calculation of Radiation Protection and Radiation Control Procedures in the Development Projects Installation the Linak

Vladimirov L.V.¹, Ryzhov S.A.², Zashirinsky D.M.³, Sidorov O.S.⁴

¹ Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow, Russia

² Department of the Rospotrebnadzor in the city of Moscow, Moscow, Russia

³ LRC TLC "KANON Ltd.", Moscow, Russia

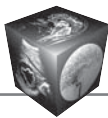
⁴ TLC "KANON Ltd.", Moscow, Russia

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к возрастанию роли лучевой терапии в комплексном лечении онкологических больных. С учетом сегодняшней изношенности оборудования и необходимости модернизации в России ежегодно должно устанавливаться не менее 50 ускорителей. Методика расчета защиты, изложенная в действующих нормативных документах, не учитывает ряд важных условий, которые могут существенно влиять на параметры необходимой защиты. В настоящей статье предложен новый подход к расчету радиационной защиты и стандартизации параметров ускорителя, используемых для расчета. Предложено понятие стандартизованной недельной рабочей нагрузки в изоцентре, предложены значения коэффициентов направленности, сменности и занятости. При проведении дозиметрического контроля предложено перейти от измерения мощности дозы к измерению дозы в точке за фракцию. Указанные меры позволят упростить методику расчета радиационной защиты от ускорителей, что приведет к исключению злоупотреблений со стороны проектных и надзорных организаций при разработке и рассмотрении проектов. Введение в качестве дозиметрического критерия измерение дозы в точке позволит избежать существенных ошибок как при проведении измерений, так и при их интерпретации.

Ключевые слова: расчет защиты, ускоритель, радиационная безопасность, доза в точке, рабочая нагрузка, коэффициент направленности, сменности, занятости.

The tendency to increase the role of radiation therapy in complex treatment of cancer patients is observed in the world nowadays. Taking into account today's wear of the equipment and the needs of its modernization, not less than 50 accelerators have to be installed in Russia annually. The method of calculation of the protection set forth in the current regulations, does not take into account a number of important conditions that can significantly affect the parameters of necessary protection. This article suggests a new approach to the calculation of radiation protection and standardization of accelerator parameters used for the calculation. The concept of a standardized weekly workload at the isocenter is proposed as well as the values of the directivity factor, the shift index, the occupancy rate. When carrying out dosimetric control, it is required to move from the dose rate measurement to the measurement of the dose at the point for the fraction. These measures will allow to simplify the calculation of radiation protection from accelerator that would eliminate abuses by design and oversight organizations when developing and reviewing projects. If the measurement of the dose at the point is introduced as a dosimetric criteria, it will allow to avoid significant errors, as in the measurements and in their interpretation.

Key words: the calculation of protection, accelerator, radiation safety, the dose at the point, the workload, the directivity factor, the shift index, the occupancy rate..



По оценкам Всемирной организации здравоохранения, глобальная смертность от новообразований в ближайшие 20 лет возрастет на 45%, при этом ожидается увеличение числа новых случаев заболевания раком с 14,1 млн в 2012 г. до 15,5 млн случаев к 2030 г. [1]. За последние 10 лет в Российской Федерации показатель общей заболеваемости злокачественными новообразованиями увеличился на 17,9% и в 2013 г. составил 374,2 на 100 000 населения. При этом около четверти заболевших приходится на трудоспособный возраст. В структуре онкологической заболеваемости лидирует рак молочной железы у женщин и рак предстательной железы у мужчин. В число 10 основных локализаций также входят: колоректальный рак, рак кожи, рак легкого, желудка, тела матки, почки, поджелудочной железы, злокачественные лимфомы [2–4].

Наряду с хирургическим лечением и химиотерапией одним из наиболее эффективных методов лечения новообразований является лучевая терапия. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к возрастанию роли лучевой терапии в комплексном лечении онкологических больных, следовательно, потребность в оборудовании для лучевой терапии будет увеличиваться. Согласно данным Организации экономического сотрудничества и развития, средний показатель обеспеченности аппаратами для лучевой терапии в Европе

находится в диапазоне от 3,77 в Люксембурге до 16,71 на миллион населения в Швейцарии [5]. На указанном фоне наблюдается отказ от аппаратов для радионуклидной терапии в пользу терапии пучками электронов и фотонов высоких энергий. В настоящее время оснащенность линейными ускорителями в развитых странах составляет 5,2 шт. на миллион населения, в Российской Федерации оснащенность составляет 0,35 шт. на миллион населения, что в 15 раз ниже оснащенности развитых стран (табл. 1) [6]. Ежегодно в развитых и некоторых развивающихся странах количество аппаратов для лучевой терапии увеличивается на 10%.

По мнению ряда экспертов, в течение 10–15 лет в Российской Федерации произойдет изменение структуры расходов на здравоохранение и постепенное приближение к структуре расходов развитых стран. В общей структуре расходов на здравоохранение увеличатся расходы на медицинские изделия с 4% в 2010 г. до порядка 8,5–9,0% к 2020 г. [6]. Осуществленные программы модернизации здравоохранения практически не включали переоснащение службы лучевой терапии, в связи с чем к настоящему времени потребность Российской Федерации в медицинских ускорителях составляет не менее 500 аппаратов. Таким образом, с учетом сегодняшней изношенности оборудования и необходимости модернизации парка медицинских ускорителей ежегодно

Таблица 1. Обеспеченность диагностическим оборудованием в России и в Мире по данным Министерства промышленности и торговли РФ

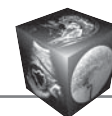
Вид медицинского изделия	Оснащение в развитых странах, шт. на 1 млн человек	Оснащение в России, шт. на 1 млн человек	Отставание России
Ультразвуковой сканер	230	78	В 3 раза
Компьютерный томограф	20	7	В 2,8 раза
Магнитно-резонансный томограф	10	3	В 3,2 раза
Ангиограф	23	1	В 23 раза
Линейный ускоритель	5,2	0,35	В 15 раз
ПЭТ-, ПЭТ/КТ-сканер	1,2	0,08	В 15 раз
ОФЭКТ-, ОФЭКТ/КТ-сканер	6,2	1	В 6 раз

Для корреспонденции: Владимиров Лев Владимирович – 125284 Москва, Россия, 2-й Боткинский пр., д. 7, Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава России. Тел.: 8-495-945-84-91. E-mail: aleks36@inbox.ru

Владимиров Лев Владимирович – доктор техн. наук, профессор кафедры радиационной гигиены Российской медицинской академии последипломного образования МЗ РФ; **Рызов Сергей Анатольевич** – главный специалист-эксперт Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Москве; **Защиринский Денис Михайлович** – канд. физ.-мат. наук, начальник лаборатории радиационного контроля испытательного лабораторного центра ООО “КАНОН”; **Сидоров Олег Сергеевич** – канд. мед. наук, начальник испытательного лабораторного центра ООО “КАНОН”.

Contact: Vladimirov Lev Vladimirovich – 125284 Moscow, Russia. 2nd Botkinsky pr., 7, Russian Medical Academy of Postgraduate Education. Phone: +7-495-945-84-91. E-mail: aleks36@inbox.ru

Vladimirov Lev Vladimirovich – doct. of tekhn. sci., Professor of the Department of Radiation Hygiene of Russian Medical Academy of Postgraduate Education of the Ministry of Health of Russia; **Ryzhov Sergej Anatolevich** – Chief Expert Department of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare in the city of Moscow; **Zaschirinsky Denis Mikhaylovich** – cand. phys.-math. sci., Head of Laboratory of Radiation Control Research Laboratory Center of “KANON”; **Sidorov Oleg Sergeevich** – cand. med. nauk, Head of Testing Laboratory Centre Ltd. “KANON”.



в России должно устанавливаться не менее 50 ускорителей.

На этом фоне становится все более актуальной проблема расчета радиационной защиты и методики радиационного контроля при разработке проектов размещения установок лучевой терапии. Действующие санитарные правила [7] не освещают всех проблемных вопросов, с которыми приходится сталкиваться как на стадии проектирования, так и при дальнейшей эксплуатации медицинских ускорителей. Существующая методика расчета защиты от действия ионизирующего излучения не учитывает ряд важных условий: наличие рассеяния от различных мишеней (пациент, элементы конструкции ускорителя и вспомогательное оборудование); образование фотонейтронов на головке ускорителя и ограждающих конструкциях и др. Все эти эффекты могут существенно влиять на параметры необходимой защиты.

Кроме того в нормативных документах отсутствуют справочные данные по толщине защиты для энергий выше 6 МэВ; не учитывается возможность использования для защиты многих видов строительных материалов, не указана методика расчета комбинированной защиты. Отсутствуют сведения о стандартизованной недельной рабочей нагрузке в изоцентре за одну смену работы установки. Существующая методика расчета защиты тоже вызывает много вопросов и содержит ряд недостатков, которые могут повлиять на радиационную безопасность персонала и населения [8]. Как правило, при проектировании забывают о необходимости разработки инструкции радиационного контроля [9]. Вышеперечисленные факты затрудняют правильное определение необходимой толщины защиты и последующую оценку радиационной безопасности на объекте, что может приводить к случаям превышения основных дозовых пределов для персонала при эксплуатации медицинских ускорителей. До настоящего времени остается не решенным вопрос регламентации и приборного обеспечения дозиметрических измерений импульсных полей [9].

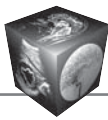
В ходе профессиональной деятельности авторам часто приходится проводить дозиметрический контроль, проектирование и экспертную оценку проектной документации. Обобщив материалы последних 10 лет работы, сопоставив данные технической документации и расчеты защиты большинства медицинских ускорителей, размещенных на территории города Москвы, мы пришли к выводу, что наиболее объективно отразить суть происходящих физических процессов и реальную радиационную обстановку вокруг процедурной кабинета для лучевой терапии возможно

с помощью стандартизованного показателя рабочей нагрузки (W_0). В указанном понимании стандартизованная рабочая нагрузка вводит в нормативные документы баланс между физическими возможностями оборудования и потребностями лечебно-профилактического учреждения, предотвращая злоупотребления проектными организациями, лечебно-профилактических учреждений и надзорных органов при оценке необходимой защиты.

В настоящее время рабочая нагрузка ускорителя рассчитывается индивидуально с учетом количества пациентов, получающих сеанс лечения в смену, количества рабочих дней в неделю и средней величины дозы, отпускаемой пациенту за одну процедуру. При обобщении имеющихся сведений по режиму работы отделений лучевой терапии, используемых в проектной документации для расчета защиты, можно сделать вывод, что, как правило, на ускорителе планируют принимать до 25 пациентов в смену при 5-дневной рабочей неделе из расчета 50 недель в год, расчетная величина дозы, отпускаемой пациенту за одну фракцию, 4 Гр [10], максимальная мощность дозы при максимальной энергии фотонного излучения в изоцентре 6 Гр/мин [11, 12]. При использовании указанных данных стандартизованная недельная рабочая нагрузка (W_0) в изоцентре составляет 500 Гр в одну смену, при работе аппарата в две смены 1000 Гр.

Существующей нормативной документацией [7] для определения толщины ограждающих конструкций (стен и перекрытий) рассчитывается необходимая кратность ослабления излучения как отношение средней за смену мощности дозы к проектной мощности дозы с учетом коэффициентов направленности, сменности и занятости. Указанный подход вносит существенную сумятицу в последующий дозиметрический контроль, при проведении которого в качестве нормативного значения нередко используется проектная мощность дозы.

В соответствии с НРБ-99/2010 [13] основным критерием обеспечения радиационной безопасности является не превышение предела дозы для персонала и населения. Таким образом, переход от предела дозы к проектной мощности дозы и обратно является нецелесообразным и лишним математическим действием. При расчете необходимой кратности ослабления перекрытий следует оценивать отношение рабочей нагрузки к пределу дозы с учетом указанных коэффициентов и расстояния до стен. Исходя из вышеизложенного, для определения кратности ослабления прямого пучка тормозного излучения необходимо пользоваться следующим выражением:



$$k = \frac{W_0 \cdot T \cdot K \cdot P \cdot 2 \cdot 50 \cdot 1000}{\text{ПД} \cdot r^2}, \text{ или}$$

$$k = \frac{W_0}{\text{ПД} \cdot r^2} \cdot T \cdot K \cdot P \cdot 1 \cdot 10^5,$$

где

W_0 – стандартизованная недельная рабочая нагрузка на расстоянии 1 м от мишени ускорителя ($\text{Гр} \cdot \text{м}^2/\text{нед}$);

K – коэффициент занятости помещения (отн. ед.);

T – коэффициент сменности (отн. ед.);

P – коэффициент направленности (отн. ед.);

2 – коэффициент запаса для проектной документации;

50 – количество рабочих недель в году (нед);

1000 – переводной коэффициент из Гр в мЗв ;

ПД – предел дозы за год для разных категорий облучаемых лиц (мЗв);

r – расстояние от мишени ускорителя до расчетной точки (м).

При этом крайне важным является установление коэффициентов направленности, сменности и занятости в качестве конкретных нормативных величин. Мы предлагаем использовать следующие коэффициенты (табл. 2). При этом коэффициент занятости отражает количество времени, в течение которого за стеной присутствуют люди, коэффициент сменности учитывает отличия в продолжительности рабочего дня у различных категорий персонала, при односменной работе ускорителя коэффициент сменности должен равняться единице. Коэффициент направленности отражает количество времени, при котором излучение направлено в сторону смежного помещения.

В связи с существенными сложностями в измерениях мощности дозы импульсного измерения при проведении дозиметрического контроля также целесообразным является переходить от изме-

рения мощности дозы к измерению дозы в точке за фракцию.

Эта величина рассчитывается для всех смежных помещений по следующей формуле:

$$\text{ПД}^* = \frac{1000 \cdot \text{ПД}}{N_0 \cdot t_0 \cdot t \cdot K \cdot T},$$

где

ПД^* – максимальная доза на одну фракцию в точке контроля (мкЗв);

ПД – предел дозы за год для разных категорий облучаемых лиц (мЗв);

N_0 – число пациентов в смену;

t_0 – число рабочих дней в неделю;

t – число рабочих недель в году;

K – коэффициент занятости помещения (отн. ед.);

T – коэффициент сменности (отн. ед.).

Исходя из указанных ранее стандартизованных условий:

$$\text{ПД}^* = \frac{1000 \cdot \text{ПД}}{25 \cdot 5 \cdot 50 \cdot K \cdot T} = \frac{\text{ПД}}{K \cdot T} \cdot 0,16.$$

Для удобства проведения оперативного радиационного контроля персоналом дозиметрической службы медицинского учреждения и для специалистов контрольно-надзорных органов удобнее использовать величину предела дозы за время одной фракции, чтобы в режиме реального времени сделать вывод о радиационной обстановке в смежных с процедурной медицинского ускорителя помещениях. Значения предельно допустимых доз ПД^* за одну фракцию для различных помещений и групп населения и персонала представлены в последнем столбце табл. 3.

Исходя из вышеизложенного, считаем необходимым внести соответствующие изменения в существующую нормативную документацию, а именно: ввести понятие стандартизованная недельная рабочая нагрузка в изоцентре (W_0) и установить

Таблица 2. Значения коэффициентов занятости, сменности и направленности

Коэффициент	Помещение, территория	Значение
K коэффициент занятости помещения	Помещения с постоянными рабочими местами	1
	Помещения без постоянных рабочих мест	0,5
	Помещения эпизодического пребывания	0,25
T коэффициент сменности	Помещения для персонала группы А	1
	Помещения для персонала группы Б	1,2
	Помещения для населения	2
P коэффициент направленности	Верхнее перекрытие	0,3
	Нижнее перекрытие	0,5
	Смежные по горизонтали помещения с возможным направлением прямого пучка	0,3
	Смежные по горизонтали помещения вне прямого пучка	0,05

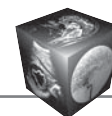


Таблица 3. Значения проектной и допустимой мощности дозы, а также допустимой дозы за фракцию

Помещение, территория	ПД, мЗв/год	P _г , мкЗв/ч	ДМДизм, мкЗв/ч	ПД*, мкЗв/ за фракцию
Помещения постоянного пребывания персонала группы А	20	6	288	3,2
Помещения временного пребывания персонала группы А	20	12	576	6,4
Помещения постоянного пребывания персонала группы Б.	5	1,2	60	0,6
Помещения без постоянных рабочих мест (холл, гардероб, лестничная площадка, коридор, туалет, кладовая и др.)	5	5	240	2,7
Помещения эпизодического пребывания персонала группы Б	5	20	1000	11,1
Палаты стационара.	1	0,6	28,8	0,3
Помещения, в которых имеются постоянные рабочие места лиц, не отнесенных к персоналу	1	0,25	12	0,1
Территория, прилегающая к наружным стенам здания ускорителя	1	1,2	60	0,7

Примечание. ДМД – рассчитанная суммарная допустимая мощность дозы при недельной рабочей нагрузке за одну смену 500 Гр/нед.; ПД* – максимальная доза на одну фракцию в точке контроля.

в размере 500 Гр в одну смену, при работе ускорителя в две смены 1000 Гр.

Внести изменения в расчет защиты от действия ионизирующего излучения, ввести в нормативные документы значения коэффициентов направленности, сменности и занятости.

При проведении дозиметрического контроля перейти от измерения мощности дозы к измерению дозы в точке за фракцию.

Указанные меры позволяют упростить методику расчета защиты от ускорителей, что приведет к исключению злоупотреблений со стороны проектных и надзорных организаций при разработке и рассмотрении проектов. Введение в качестве дозиметрического критерия измерение дозы в точке позволит избежать существенных ошибок как при проведении измерений, так и при их интерпретации.

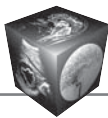
Список литературы

1. Ferlay J., Soerjomataram I., Ervik M. et al. GLOBOCAN 2012 v1.0, Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC CancerBase No. 11 [Internet]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 2013. Available from: <http://globocan.iarc.fr>, (дата обращения: 24.12.2014 г.).
2. Постановление Правительства Москвы от 4 октября 2011 года № 461-ПП Государственная программа города Москвы на период с 2012 по 2020 годы. Развитие здравоохранения города Москвы (Столичное здравоохранение).
3. Статистика злокачественных новообразований в России и странах СНГ в 2012 г.; Под ред. М.И. Давыдова, Е.М. Аксель. М.: Издательская группа РОНЦ, 2014. 226 с.
4. Состояние онкологической помощи населению России в 2013 году; Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена Минздрава России, 2014. 235 с.
5. OECD (2012), Health at a Glance: Europe 2012; 154 pp. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264183896-en> (дата обращения: 09.03.2015 г.)

6. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 31 января 2013 г. № 118 "Об утверждении Стратегии развития медицинской промышленности Российской Федерации на период до 2020 года".
7. СанПиН 2.6.1.2573-10. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ. Санитарные правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 50 с.
8. Белогрудов А.А., Владимиров Л.В. Особенности расчета радиационной защиты медицинских линейных ускорителей электронов с энергией выше 10 МэВ. Медицинская техника. 2013; 5: 33–36.
9. Владимиров Л.В., Защиринский Д.М., Сидоров О.С. Методика контроля радиологической защиты при эксплуатации модификаций ускорителей электронов с учетом наведенной активности. Медицинская техника. 2014; 5: 26–29.
10. Ильин М.А., Сотников В.М., Панышин Г.А., и др. Лучевая терапия средними фракциями периферического немелкоклеточного рака легкого с увеличением эквивалентной суммарной очаговой дозы. Вестник РНЦРП МЗ РФ. 2011; 11: http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v11/papers/iliyn_v11.htm (дата обращения: 01.03.2015 г.)
11. Clinac 2100C/D, 2300C/D, 21EX, iX, Novalis Tx, Trilogy & Silhouette Edition Radiation Leakage Data. Varian Medical Systems. 2010. 12 p.
12. Designers' Desk Reference High Energy Clinac Edition. Varian Medical Systems. 2010; 10 (4): 140.
13. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. Санитарно правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

References

1. Ferlay J., Soerjomataram I., Ervik M. et al. GLOBOCAN 2012 v1.0, Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC CancerBase No. 11 [Internet]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 2013. Available from: <http://globocan.iarc.fr>, (дата обращения: 24.12.2014 г.).
2. Resolution of the Government of Moscow 04 October 2011 № 461-PP State Program of Moscow in the period



- from 2012 to 2020. Development of Moscow Health (Capital Health). (In Russian)
3. Statistics malignancies in Russia and the CIS in 2012 y. Eds M.I. Davydov, E.M. Axel. M.: Izdatel'skaja gruppa RONC, 2014. 226 p. (In Russian)
 4. The state of cancer care to the population of Russia in 2013. Eds A.D. Caprino, V.V. Starinskiy, G.V. Petrova. M.: MNIOI im. P.A. Gercena Minzdrava, 2014. 235 p. (In Russian)
 5. OECD (2012), Health at a Glance: Europe 2012; 154 pp. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264183896-en> (дата обращения: 09.03.2015 г.)
 6. The Order of the Ministry of industry and trade of the Russian Federation of 31 January 2013, No. 118 "On approval of the Strategy of development of the medical industry of the Russian Federation for the period till 2020". (In Russian)
 7. SanPiN 2.6.1.2573-10. Hygienic requirements for the placement and operation of electron accelerators with energies up to 100 MeV. Sanitary rules and regulations. Moscow: Federal center of hygiene and epidemiology, 2010. 50 p. (In Russian)
 8. Belogrudov A.A., Vladimirov L.V. Calculation of X-Ray Protection for Medical Linear Electron Accelerators with Energy Higher than 10 MeV. Meditsinskaya tekhnika. 2013; 5: 33–36. (In Russian)
 9. Vladimirov L.V., Zashchirinskiy D.M., Sidorov O.S. Methods of Radiological Protection Control for Electron Accelerators with Regard for Activity Mode. Meditsinskaya tekhnika. 2014; 5: 26–29. (In Russian)
 10. Ilin M.A., Sotnikov V.M., Panshin G.A., et al. Radiotherapy middle fraction of peripheral lung cancer with increasing total focal dose equivalent. Vestnik RNCRR MZ RF. 2011; 11: http://vestnik.rncrr.ru/vestnik/v11/papers/iliyn_v11.htm (дата обращения: 01.03.2015 г.) (In Russian)
 11. Clinac 2100C/D, 2300C/D, 21EX, iX, Novalis Tx, Trilogy & Silhouette Edition Radiation Leakage Data. Varian Medical Systems. 2010. 12 p.
 12. Designers' Desk Reference High Energy Clinac Edition. Varian Medical Systems. 2010; 10 (4): 140.
 13. SanPiN 2.6.1.2523-09. Radiation safety standards. NRB-99/2009. Sanitary rules and regulations. Moscow: Federal center of hygiene and epidemiology, 2009. 100 p. (In Russian)