

Совершенствование подхода к расчету стационарной радиационной защиты в кабинетах компьютерной томографии

П.С. Дружинина¹, Л.А. Чипига^{1,2,3}, В.Ю. Голиков¹, А.В. Водоватов^{1,4}, С.Ю. Бажин¹,
Е.Н. Шлеенкова¹, Г.В. Беркович³, И.В. Солдатов⁵, З.А. Лантух⁵, К.В. Толкачев⁵

- ¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
- ² Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
- ³ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
- ⁴ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
- ⁵ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

В работе проведена оценка приемлемости существующего в настоящее время подхода к расчету радиационной защиты в кабинетах компьютерной томографии и сформулированы предложения по его совершенствованию. В качестве основного параметра предлагается использовать значение произведения дозы на длину сканирования. Были оценены типичные значения рабочей нагрузки томографов в терминах произведения дозы на длину сканирования, характерные для проведения исследований в Российской Федерации. С помощью термомюлюминесцентных детекторов была проведена экспериментальная оценка относительного распределения поглощенной дозы рентгеновского излучения в воздухе в кабинете компьютерной томографии. Результаты эксперимента показали, что распределение рассеянного рентгеновского излучения в центральной плоскости не изотропно. За счет ослабления излучения конструкцией гентри наблюдаются «теневые» зоны, где снижение поглощенной дозы в воздухе достигает 10–13 раз по сравнению с ее уровнем в направлении движения стола. По результатам измерений распределения поглощенной дозы в воздухе были рассчитаны относительные значения коэффициентов направленности рассеянного излучения. Рабочая нагрузка была определена для 7 томографов (1 в Санкт-Петербурге и 6 в Москве). Для каждого аппарата было оценено среднее за неделю число исследований головы и туловища и значения произведения дозы на длину сканирования при сканировании этих зон с учетом числа многофазных исследований. Полученные значения рабочей нагрузки оказались на 1–2 порядка величины выше используемых в настоящее время при расчете радиационной защиты. На основании результатов исследования и литературных данных в работе предложен новый подход к расчету радиационной защиты в КТ-кабинетах, основанный на измеряемом в ходе исследования значении произведения дозы на длину сканирования и позволяющий учесть специфику работы аппарата.

Ключевые слова: компьютерная томография, расчет радиационной защиты, коэффициент направленности рассеянного излучения, рабочая нагрузка.

Введение

Развитие лучевой диагностики в Российской Федерации в первую очередь определяется значительным увеличением числа медицинских исследований

с применением компьютерных томографов (КТ) [1]. Размещение КТ требует разработки проекта кабинета с учетом действующих полей рентгеновского излучения и обоснованием выбора необходимых средств

Дружинина Полина Сергеевна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

защиты для соблюдения требований радиационной безопасности¹.

При КТ-исследовании рентгеновская трубка вращается на 360° вокруг тела пациента. При этом прямой пучок рентгеновского излучения существенно ослабляется конструктивными элементами сканера [2], детекторами и гентри. Поле излучения в процедурной практически полностью обусловлено рассеянным от пациента излучением. Поэтому при разработке проекта помещения необходимо рассчитывать защиту от рассеянного излучения. Напряжение на аноде трубки 120–140 кВ обуславливает высокий уровень комптоновского рассеянного излучения. Пространственное распределение дозы рассеянного излучения четко определено и воспроизводимо, поскольку положение гентри фиксировано и рентгеновская трубка движется по одной и той же траектории для каждого сканирования. Интенсивность рассеянного излучения определяется формой и размером пучка рентгеновского излучения, а также объемом облучаемой ткани. При исследовании туловища наблюдается большая интенсивность рассеянного излучения, чем при сканировании головы, поскольку облучается больший объем ткани и применяется большой фильтр-бабочка, формирующий широкий пучок.

Расчет стационарной защиты помещений осуществляется исходя из пределов доз для разных категорий облучаемых лиц² и их потенциального времени пребывания в контакте с источником (коэффициента занятости помещения).

Действующая в Российской Федерации в настоящее время методология расчета стационарной защиты рентгеновских кабинетов, изложенная в СанПиН 2.6.1.1192-03³, устарела и не отражает реальных условий и значений физико-технических параметров проведения медицинских исследований [3]. Так, например, в отношении КТ до сих пор при расчете защиты используется значение рабочей нагрузки 400 (мА·мин)/нед., что на 1–2 порядка меньше реальных значений в настоящее время. Как было указано выше, поле излучения в КТ-кабинете определяется рассеянным компонентом излучения, однако в СанПиН 2.6.1.1192-03 (п.4.1.3) для рентгеновских аппаратов с подвижным источником излучения рекомендуется использовать коэффициент направленности $N=0,1$, определенный в том же пункте правил только для прямого излучения источника, а для рассеянного излучения ре-

комендуется использовать значение $N=0,05$. В отношении же последнего значения в работе [3] было показано, что оно на порядок величины превосходит современные оценки фракции рассеянного рентгеновского излучения.

В международной практике для расчета защиты в кабинетах КТ в качестве параметра рекомендуется использовать значение произведения дозы на длину сканирования (dose length product – DLP) [4]. Тогда значение поглощенной дозы в воздухе рассеянного компонента поля излучения в кабинете до защиты будет определяться произведением DLP и коэффициента рассеяния, определяемого экспериментально для КТ различных типов. Под коэффициентом рассеяния понимается значение поглощенной дозы в воздухе на расстоянии 1 м от изотцентра гентри, нормированное на единичное значение DLP. В работе Wallace et al. [5] были определены коэффициенты рассеяния вдоль оси движения стола при анодном напряжении рентгеновской трубки 120 кВ: 0,36 и 0,14 (мкГр·м²)/(мГр·см) при сканировании туловища и головы соответственно.

Цель исследования – оценка приемлемости используемого в настоящее время подхода к расчету радиационной защиты в кабинетах КТ и формулировка предложений по его совершенствованию с учетом параметров проведения КТ-исследований в отечественной практике.

Задачи исследования

1. Подтвердить опубликованные результаты в отношении распределения поглощенной дозы в воздухе в кабинете КТ [5] собственными результатами измерений.
2. Определить значения рабочей нагрузки томографов в терминах DLP (произведение DLP на число исследований, проводимых за неделю на томографе), характерные для проведения КТ-исследований в Российской Федерации.

Материалы и методы

Распределение поглощенной дозы в воздухе в кабинете КТ

Экспериментальная оценка относительного распределения поглощенной дозы рентгеновского излучения в воздухе в кабинете КТ была выполнена на базе ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России на томографе Ingenuity CT, Philips, 128 срезов (Ingenuity 128).

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 (ред. от 16.09.2013) «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» (вместе с «СП 2.6.1.2612-10. ОСПОРБ-99/2010. Санитарные правила и нормативы...») (Зарегистрировано в Минюсте России 11.08.2010 № 18115) [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated April 26, 2010 N 40 (as amended on September 16, 2013) "On approval of SP 2.6.1.2612-10 "Basic sanitary rules for ensuring radiation safety (OSPORB-99/2010)" (together with "SP 2.6.1.2612-10. OSPORB-99/2010. Sanitary rules and standards..." (Approved with the Ministry of Justice of Russia on August 11, 2010 N 18115) (In Russ.)]

² Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47) [Sanitary rules and standards SanPiN 2.6.1.2523-09 "Radiation Safety Standards NRB-99/2009" (Approved by the Chief State sanitary doctor of the Russian Federation 7.07.2009 N47 (In Russ.)];

³ СанПиН 2.6.1.1192-03. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. Санитарные правила и нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 14.02.2003) [SanPiN 2.6.1193-03 "Hygienic requirements on the contents and use of the X-ray rooms, X-ray units and conduction of the X-ray examinations. Sanitary rules and norms". Approved by the Chief State sanitary doctor of the Russian Federation 14.02.2003. (In Russ.)].

Измерения распределения поглощенной дозы в воздухе в КТ-кабинете выполнялись в период с 25 февраля по 18 марта 2023 г. с помощью термолюминесцентных детекторов (ТЛД) типа ДТГ-4 (LiF: Mg, Ti) [6]. В кабинете были размещены 23 ТЛД в горизонтальной центральной плоскости на высоте 100 см от пола (рис. 1а). Центральная плоскость делила пространство кабинета на верхнюю и нижнюю полусферы. В свою очередь, центральная плоскость разделена гентри на две полуплоскости: переднюю и заднюю. В сферической системе координат центральная плоскость соответствует полярному углу $\theta = 90^\circ$ (рис. 1б). Для передней полуплоскости азимутальный угол φ соответствует значениям в диапазоне 0–90° и 270–360°, а для задней полуплоскости – 90–270°.

Дополнительно также с помощью ТЛД проводились измерения фонового значения дозы в воздухе. Детекторы для измерения фонового значения дозы в воздухе находились в пультовой исследуемого КТ-кабинета весь период проведения эксперимента (25 февраля – 18 марта 2023 г.). Считывание показаний детекторов осуществлялось на установке «Доза-ТЛД» (Россия) [7]. Все детекторы были калиброваны в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» с использованием эталонного источника ^{137}Cs . Погрешность измерения поглощенной дозы в воздухе в поле действующего рентгеновского излучения оценивалась не более чем 30%.

При обработке результатов измерений из полученных показаний был вычтен фон, и значения были пересчитаны к расстоянию 1 м от изогентри гентри по закону обратных квадратов. На основании полученных значений поглощенных доз в воздухе были рассчитаны значения относительных коэффициентов направленности рассеянного излучения, определяемых согласно формуле (1):

$$k_{\text{расц}}(\theta = 90^\circ, \varphi) = \frac{D(\theta = 90^\circ, \varphi)}{D(\theta = 90^\circ, \varphi = 0^\circ)} \quad (1)$$

где: $D(\theta = 90^\circ, \varphi)$ – значение поглощенной дозы в воздухе в центральной плоскости ($\theta = 90^\circ$), определяемое под углом φ ; $D(\theta = 90^\circ, \varphi = 0^\circ)$ – значение поглощенной дозы в воздухе в передней части центральной плоскости на оси X.

Рабочая нагрузка

Для томографа Ingenuity 128 рабочая нагрузка определялась за период проведения измерений с 25 февраля по 18 марта 2023 г. Томограф работал 6 дней в неделю по 2 смены. Для каждого КТ-исследования из DICOM файлов была собрана информация в отношении следующих параметров:

- DLP за фазу КТ-исследования;
- CTDI_{vol} за фазу КТ-исследования;
- среднее значение экспозиции (мАс) за исследование.

Дополнительно были собраны данные о нагрузке на КТ-аппараты, установленные в г. Москве и работающие в разном графике:

- 2 аппарата, которые работают 5 дней в неделю по 2 смены (амбулаторные поликлиники);
- 4 аппарата, которые работают 7 дней в неделю по 4 смены (стационары).

Данные о дозовых параметрах всех проводимых исследований собирали в период с 1 по 30 ноября 2023 г.

Суммарное значение рабочей нагрузки за исследованный период времени определяли как сумму параметра (DLP или мАс) за все сканирования, проведенные на аппарате за это время. Значение недельной рабочей

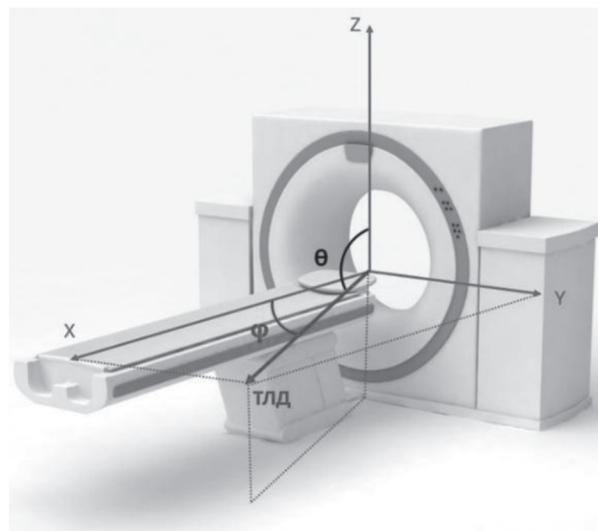
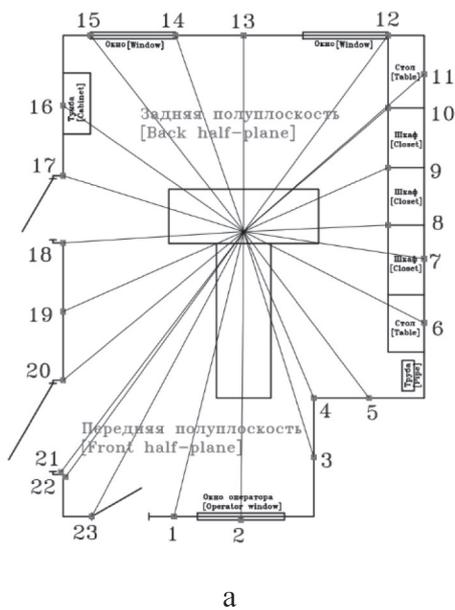


Рис. 1. Схема расположения ТЛД в КТ-кабинете в центральной плоскости (а) и сферическая система координат относительно томографа (б)
 [Fig. 1. a) The location of the TLD in the CT room in the central plane; b) Spherical coordinate system relative to the tomograph]

нагрузки определяли делением рабочей нагрузки за исследуемый период на число исследованных дней за этот период и умножением на число рабочих дней в неделю в зависимости от сменности работы аппарата.

Обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение

Коэффициенты направленности рассеянного излучения

Значения коэффициентов направленности рассеянного излучения рассчитывались по формуле (1). Нормировочное недельное значение определено как значение поглощенной дозы за исследуемый период (3 недели), деленное на число недель $D(\theta = 90^\circ, \varphi = 0^\circ) = 7,2$ мГр. Полученное распределение коэффициентов направленности рассеянного излучения представлено на рисунке 2. В диапазонах углов 0–180° и 180–360° наблюдалась осевая симметрия распределения доз относительно оси X.

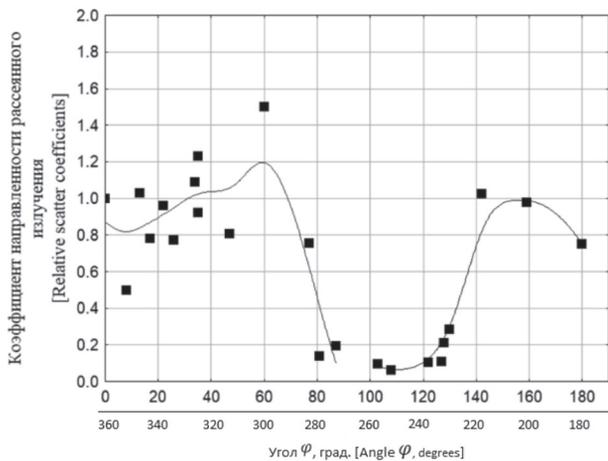


Рис. 2. Значения коэффициентов направленности рассеянного излучения $k_{напр}$ в центральной плоскости
[Fig. 2. Values of the relative scatter coefficients k_{direct} in the central plane]

Результаты показывают, что распределение излучения от томографа относительно центральной оси X не изотропно. За счет ослабления излучения конструкцией гентри наблюдается снижение доз до 10–13 раз:

- при углах 80–90° и 270–280° в передней центральной полуплоскости;
- при углах 90–120° и 240–270° в задней центральной полуплоскости.

Особенности в распределении доз в передней и задней полуплоскостях объясняются смещением оси вращения трубки в переднюю часть гентри.

Ранее в работах Martin et al., Wallace et al. [2, 5] было показано, что уровень поглощенной дозы в воздухе в направлении гентри в 10 раз ниже, чем в направлении движения стола. Таким образом, наши выводы в отношении распределения дозы рассеянного излучения в кабинете КТ совпадают с опубликованными ранее литературными данными. Учет эффекта наличия «теневых» зон имеет практическое значение при проектировании защиты, например, позволяет оптимально спланировать расположение дверей и смотровых окон в кабинет, слабыми местами которых являются границы проемов и стыки защитных элементов.

Рабочая нагрузка

Результаты оценки нагрузки КТ-аппарата Ingenuity 128, работающего 6 дней в неделю по 2 смены, представлены в таблице 1. Аналогичные результаты для КТ-аппаратов в г. Москве представлены в таблицах 2 и 3.

Полученные данные показывают, что при потоке 70 пациентов в неделю рабочая нагрузка томографа больше 15 000 (мА·мин)/нед. (см. табл. 1). При увеличении загруженности томографа до 180–380 пациентов в неделю рабочая нагрузка будет еще выше, как видно из недельных значений DLP, приведенных в таблицах 2 и 3. Значения рабочих нагрузок зависят также от структуры проводимых исследований. Проведение многофазных КТ-исследований существенно повышает рабочую нагрузку томографа. Таким образом, рекомендуемое для расчета защиты в СанПиН 2.6.1.1192-03 значение рабочей нагрузки (400 (мА·мин)/нед) занижено в 40–100 раз.

Недельная рабочая нагрузка томографа Ingenuity 128

Таблица 1

Weekly workload for the Ingenuity 128 scanner

[Table 1

Дозиметрический фантом [Dosimetric phantom]	Количество фаз [Number of phases]	Среднее число фаз (для многофазных исследований) [Average number of phases (for multiphase studies)]	Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	Рабочая нагрузка, (мА·мин)/нед [Workload, (mA·min)/week]
Голова (16 см) [Head (16 cm)]	Однофазные [Single-phase]	–	7	2 787	375
	Многофазные [Multiphase]	2	2	3 788	530
	Сумма [Total]		9	6 575	905
Туловище (32 см) [Body (32 cm)]	Однофазные [Single-phase]	–	34	14 740	4 350
	Многофазные [Multiphase]	3	26	37 585	10 350
	Сумма [Total]		60	52 325	14 700

Таблица 2
[Table 2]

Недельная рабочая нагрузка КТ-аппаратов в г. Москве, работающих 5 дней в неделю по 2 смены (амбулаторные поликлиники)
Weekly workload of CT scanners in Moscow, operating 5 days a week, 2 shifts (outpatient clinics)

Дозиметрический фантом [Dosimetric phantom]	Количество фаз [Number of phases]	КТ №1 [CT №1]		КТ №2 [CT №2]		Среднее [Average]	
		Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]
Голова (16 см) [Head (16 cm)]	Однофазные [Single-phase]	73	47 347	80	131 988	77	89 667
	Многофазные [Multiphase]	19	52 419	–	–	19	52 419
	Сумма [Total]	92	99 766	80	131 988	96	142 086
Тулловище (32 см) [Body (32 cm)]	Однофазные [Single-phase]	48	16 773	42	15 300	45	16 036
	Многофазные [Multiphase]	95	162 178	–	–	95	162 178
	Сумма [Total]	143	178 951	42	15 300	140	178 214

Таблица 3
[Table 3]

Недельная рабочая нагрузка КТ-аппаратов в г. Москве, работающих 7 дней в неделю по 4 смены (стационары)
Weekly workload of CT scanners in Moscow, operating 7 days a week for 4 shifts (hospitals)

Дозиметрический фантом [Dosimetric phantom]	Количество фаз [Number of phases]	КТ №1 [CT №1]		КТ №2 [CT №2]		КТ №3 [CT №3]		КТ №4 [CT №4]		Среднее [Average]	
		Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	Число исследований, шт [Number of examinations]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]
Голова (16 см) [Head (16 cm)]	Однофазные [Single-phase]	51	37 040	214	376 755	128	252 539	32	462	106	166 699
	Многофазные [Multiphase]	1	1 126	27	108 682	7	21 991	6	23 885	10	38 921
	Сумма [Total]	52	38 166	241	485 437	135	274 530	38	24 347	116	205 620
Тулловище (32 см) [Body (32 cm)]	Однофазные [Single-phase]	148	66 168	373	123 675	173	66 486	144	52 863	209	77 298
	Многофазные [Multiphase]	46	89 072	55	48 599	64	55 939	71	64 300	59	64 477
	Сумма [Total]	194	155 240	428	172 274	237	122 425	215	117 163	268	141 775

Совершенствование методики

Современные зарубежные методики расчета защиты в кабинетах с КТ основаны на определении рассеянного компонента поля рентгеновского излучения внутри кабинета с использованием репрезентативных значений коэффициентов рассеяния, нормированных на измеряемое в ходе КТ-исследования значение DLP и оценку значений рабочей нагрузки томографа в терминах параметра DLP [2, 5]. Для проектирования стационарной защиты необходимо знать проектные значения DLP отдельно для сканирования головы и туловища из-за различия в коэффициентах рассеяния при сканировании этих частей тела пациента.

На основании собранных данных о рабочих нагрузках томографов (см. табл. 1–3) были оценены значения количества исследований в неделю головы и туловища (односменная работа в течение 6 дней) и значения недельных рабочих нагрузок в терминах DLP при сканировании этих частей тела. Также на основании выборки, представленной в настоящей работе, было оценено соотношение однофазных и многофазных исследований – 16% и 33% при сканировании головы и туловища соответственно. При этом среднее число фаз в многофазных исследованиях составляло 2,5 и 3,4 при сканировании головы и туловища соответственно. В таблице 4 представлены значения DLP для смеси однофазных и многофазных исследований, характерной для исследованной в работе выборки, и аналогичные данные из литературы [4]. Последние представлены в 2 видах: для однофазных исследований и для смеси однофазных и многофазных исследований, доля последних в которой считается равной 40%. Видно, что значения DLP из NCRP-147 хорошо согласуются с данными, полученными в настоящей работе.

В качестве альтернативы можно использовать значения DLP для разных видов исследований, соответствующие российским национальным референтным диагностическим уровням (РДУ)⁴ [9]. Значения РДУ (все тело – 1000 мГр·см, ОГК – 500 мГр·см, ОБП – 800 мГр·см, Таз – 900 мГр·см, Голова – 1200 мГр·см) определены как 75-й перцентиль значений DLP от разных видов исследований за одну фазу, проводимых на разных КТ-аппаратах в стране. Для многофазных КТ-исследований необходимо соответствующее значение РДУ умножить на среднее число фаз в исследовании.

Для определения поглощенной дозы в воздухе на основании значений DLP могут использоваться коэффициенты рассеяния, которые определены в технической документации томографа отдельно для 16 см дозиметрического фантома и 32 см дозиметрического фантома для зон с наибольшей долей рассеянного излучения (вдоль оси движения стола), что будет обеспечивать необходимую консервативность. При отсутствии таких данных могут использоваться усредненные значения, независимо от типа томографа [2, 5]:

$S_{КТ, голова} = 0,14$ (мкГр·м²)/(мГр·см) при сканировании зоны головы;

$S_{КТ, тул} = 0,36$ (мкГр·м²)/(мГр·см) при сканировании зоны туловища.

Таблица 4

Значения DLP и количества исследований в неделю (односменная работа в течение 6 дней)

Table 4

Values DLP and number of examinations per week (single shift work for 6 days)]

Область исследования [Scan area]	Настоящая работа [Current study]		NCRP-147 [4] [NCRP-147 [4]]
	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	N, шт/нед.	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]
Голова [Head]			
Однофазное [Single-phase]	1190	36	1200
Многофазное [Multiphase]	2890	7	
Смешанное [Mixed]	1470 (84%+16%)	43	1680 (60%+40%)
Туловище [Body]			
Однофазное [Single-phase]	380	50	550
Многофазное [Multiphase]	1290	25	
Смешанное [Mixed]	680 (67%+33%)	75	770 (60%+40%)

Таким образом, при расчете необходимой кратности ослабления поглощенной дозы рентгеновского излучения в воздухе ($K_{осл}$) защитным барьером можно использовать следующее выражение:

$$K_{осл} = \frac{[(S_{КТ, тул} \cdot DLP_{тул} \cdot N_{тул}^{нед} \cdot 50) + (S_{КТ, гол} \cdot DLP_{гол} \cdot N_{гол}^{нед} \cdot 50)]}{r^2} \cdot \frac{T \cdot n}{ПД} \quad (2)$$

$S_{КТ, тул}$, $S_{КТ, голова}$ (мкГр·м²)/(мГр·см) – значения коэффициентов рассеяния при сканировании туловища и головы соответственно;

$DLP_{тул}$, $DLP_{гол}$, мГр·см – значения DLP за исследование при сканировании зон туловища и головы соответственно;

$N_{тул}$ и $N_{гол}$ – недельное число исследований туловища и головы соответственно (для одной смены работы кабинета КТ);

50 – количество недель в году;

$ПД^5$, мкЗв – значение предела эффективной дозы для рассматриваемой группы облучаемых лиц;

⁴ МУК 2.6.7.3652-20. Методы контроля в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты. Методические указания. 2020. 40 с. [МУК 2.6.7.3652-20. Control methods in CT diagnostics to optimize radiation protection. Methodical instructions. 2020. 40 p. (In Russ.)]

⁵ В области средних энергий спектра 70–100 кэВ, характерных для рентгеновского излучения с напряжением на трубке томографа 120–140 кВ, прошедшего через защитный барьер, отношение кермы в воздухе к эффективной дозе для передне-задней (AP) и ротационной (ROT) геометрий облучения составляет ~0,7 Зв/Гр и ~1 Зв/Гр соответственно. Учитывая, что для фотонного излучения $w_R=1$, можно говорить о том, что использование численных значений ПД в терминах эффективной дозы будет обеспечивать консервативную оценку коэффициента ослабления.

T – коэффициент занятости помещения при одно-сменной работе томографа;

n – коэффициент сменности, увеличивающий коэффициент занятости помещения для некоторых групп облучаемых лиц из-за многосменной работы томографа;

r, m – расстояние от изоцентра томографа до точки расчета.

Дополнительно при проектировании относительного расположения в кабинете томографа с гентри и элементов конструкций с ослабленными защитными свойствами можно использовать информацию о наличии «теневых» зон за счет ослабления излучения гентри. Предпочтительно планировать расположение воздуховодов/дверей в зонах с наименьшим коэффициентом направленности.

Рассчитаем в качестве примера в соответствии с этим новым подходом необходимые коэффициенты ослабления для защиты помещения смежного по горизонтали с КТ-кабинетом, где постоянно в течение рабочего дня находятся следующие категории облучаемых лиц:

– лица из населения ($ПД = 1$ мЗв/год, $T=1, n=1$), например, медицинские работники, не отнесенные к какой-либо группе персонала;

– персонал группы А ($ПД = 20$ мЗв/год, $T=1, n=1$).

КТ-исследования проводятся на томографе с напряжением на трубке 120 кВ, недельными значениями $DLP_{тул} = 680$ мГр·см и $DLP_{гол} = 1470$ мГр·см и количеством исследований $N_{тул} = 50$ и $N_{гол} = 35$. Расстояние от изоцентра томографа до точки расчета примем равным 3 м. Тогда необходимые значения коэффициентов ослабления для двух вышеуказанных категорий облучаемых лиц, рассчитанные по формуле (2), будут следующими: 5,0 для персонала категории А и 100 для лиц из населения. Аналогичные значения коэффициентов ослабления для этих категорий облучаемых лиц, рассчитанные согласно СанПиН 2.6.1.1192-03 с параметрами: $R(120кВ)=13$ мГр·м²/(мА·мин); $W=400$ (мА·мин)/нед.; $N=0,05$, будут следующими – 74 для персонала категории А и 3200 для лиц из населения. А если учесть реальные рабочие нагрузки КТ, приведенные в настоящей работе, то используя, например, $W=20000$ (мА·мин)/нед., получим значения коэффициентов ослабления 3700 и 160 000 для персонала категории А и для лиц из населения соответственно. В таблице 5 приведены значения

толщин барьеров из бетона, соответствующих этим ситуациям облучения.

Заключение

Действующий подход к расчету радиационной защиты не учитывает современные условия работы КТ-кабинетов (число, структуру и параметры сканирований). До сих пор используемое при расчете стационарной защиты значение рабочей нагрузки томографа 400 (мА·мин)/нед. на 1–2 порядка меньше реальных значений в настоящее время. Помимо этого, существующий в настоящее время подход по расчету стационарной защиты не в полной мере учитывает поле рассеянного излучения в кабинете КТ.

На основании результатов исследования и анализа литературы в работе предложен новый подход к расчету радиационной защиты в кабинетах с КТ, основанный на характеристиках поля рассеянного излучения и рабочей нагрузки томографа, выражаемой в терминах DLP. Такой подход позволит гармонизировать отечественную методологию расчета стационарной радиационной защиты в КТ-кабинетах с общепризнанной в мировой практике. Показано, что использование нового подхода позволяет оптимизировать расходы, существенно сократив толщину необходимой стационарной защиты при сохранении необходимых условий радиационной безопасности.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Дружинина П.С. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, обработка данных, написание статьи, оформление окончательного варианта статьи для публикации в журнале.

Чипига Л.А. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, осуществление общего научного руководства исследованием, обработка данных, написание статьи, оформление окончательного варианта статьи для публикации в журнале.

Голиков В.Ю. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, обработка данных, написание статьи, оформление окончательного варианта статьи для публикации в журнале.

Водоватов А.В. – обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы, редакция промежуточного варианта статьи.

Таблица 5

[Table 5

Группа облучаемых лиц [Group of exposed persons]	Предлагаемый подход [Suggested approach]		СанПиН 2.6.1.1192-03 [SanPiN 2.6.1.1192-03]			
	Кратность ослабления [Attenuation ratio]	Толщина бетона, мм [Concrete thickness, mm]	W=400 (мА·мин)/нед [W=400 (mA·min)/week]		W=2·10 ⁴ (мА·мин)/нед [W=2·10 ⁴ (mA·min)/week]	
			Кратность ослабления [Attenuation ratio]	Толщина бетона, мм [Concrete thickness, mm]	Кратность ослабления [Attenuation ratio]	Толщина бетона, мм [Concrete thickness, mm]
Персонал группы А [Group A]	5	34	74	100	3700	200
Население [Population]	100	108	3200	200	160000	300

Бажин С.Ю. – обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы, редактирование текста статьи.

Шлеенкова Е.Н. – обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы, редактирование текста статьи.

Беркович Г.В. – организация проведения эксперимента, обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы.

Солдатов И.В. – предоставление необходимой информации для исследования по рабочей нагрузке КТ-аппаратов, редакция промежуточного варианта статьи.

Лантух З.А. – предоставление необходимой информации для исследования по рабочей нагрузке КТ-аппаратов, редакция промежуточного варианта статьи.

Толкачев К.В. – предоставление необходимой информации для исследования по рабочей нагрузке КТ-аппаратов, редакция промежуточного варианта статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Дружинина П.С., Романович И.К., Водоватов А.В. и др. Тенденции развития компьютерной томографии в Российской Федерации в 2011–2021 гг. // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 101-117. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-101-117>.
2. Martin C.J. Radiation shielding for diagnostic radiology // Radiation Protection Dosimetry. 2015. Vol. 165, No 1-4. P. 376-81. doi: 10.1093/rpd/ncv040. Epub 2015 Mar 25. PMID: 25813477.
3. Голиков В.Ю. Критический анализ существующего подхода к расчету стационарной защиты в рентгеновских кабинетах // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 13–21. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-13-21
4. NCRP. Report No. 147. Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. 2004. 194 p.
5. Wallace H., Martin C.J., Sutton D.G. et al. Establishment of scatter factors for use in shielding calculations and risk assessment for computed tomography facilities // Journal of Radiological Protection. 2012. Vol. 32, No 1. P. 39-50. doi: 10.1088/0952-4746/32/1/39. Epub 2012 Feb 10. PMID: 22327169.
6. Шлеенкова Е.Н. Экспериментальное исследование характеристик индивидуальных термолюминесцентных дозиметров для измерения эквивалентных доз в коже и хрусталике глаза // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, №4. С. 143–156.
7. Research and production enterprise “DOZA”. Dosimetric thermo-luminescent complex “DOZA-TLD”. Operating manual FVKM.412118.010RE. – 49 p. URL: https://atom-snab.kz/wp-content/uploads/2020/07/tld_new.pdf (Дата обращения: 20.03.2024).
8. Harris C.R., Millman K.J., van der Walt S.J. et al. Array programming with NumPy // Nature. 2020. Vol. 585. P. 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>.
9. Дружинина П.С., Чипига Л.А., Рыжов С.А. и др. Современные подходы к обеспечению качества диагностики в компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 17-33. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-17-33>.
10. Sutton D.G., Martin C.J., Williams J.R., Peet D.J. Radiation Shielding for Diagnostic Radiology. British Institute of Radiology, 2012. 139 p.
11. Sutton D.G., Martin C.J., Peet D., Williams J.R. The characterization and transmission of scattered radiation resulting from x-ray beams filtered with zero to 0.99 mm copper // Journal of Radiological Protection. 2012. Vol. 32, No 2. P. 117-29. doi: 10.1088/0952-4746/32/2/117. Epub 2012 May 3. PMID: 22555158.
12. Martin C.J., Sutton D.G., Magee J. et al. Derivation of factors for estimating the scatter of diagnostic x-rays from walls and ceiling slabs // Journal of Radiological Protection. 2012. Vol. 32, No 4. P. 373-96 p. doi: 10.1088/0952-4746/32/4/373. Epub 2012 Sep 24. PMID: 23006642.
13. Martin C.J., Sutton D.G. Practical Radiation Protection in Healthcare. Second edition, 2015. 536 p.
14. Cole J.A., Platten D.J. A comparison of shielding calculation methods for multi-slice computed tomography (CT) systems // Journal of Radiological Protection. 2008. Vol. 28, No 4. P. 511-23. doi: 10.1088/0952-4746/28/4/005. Epub 2008 Nov 24. PMID: 19029585.
15. Ciraj-Bjelac O., Arandjic D., Kosutic D. Comparison of different methods for shielding design in computed tomography // Radiation Protection Dosimetry. 2011. Vol. 147, No 1-2. P. 133-6. doi: 10.1093/rpd/ncr287. Epub 2011 Jul 9. PMID: 21743070.
16. Hiroshi W., Takuma U., Yoshinori Sh., Takurou H. Verification study to improve the Japanese-DLP calculation method for shielding in the X-ray CT room // Japanese Journal of Health Physics. 2022. Vol. 57, No 2. P. 87–92.
17. Verdun F.R., Aroua A., Trueb P.R., Bochud F.O. Use of DLP for establishing the shielding of multidetector computed tomography rooms. 2010. 8 p. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/006/41006643.pdf.

Поступила: 12.03.2024 г.

Дружинина Полина Сергеевна – младший научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2921-067X>

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9153-3061>

Голиков Владислав Юрьевич – старший научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора

П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-5494-2300>

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

Бажин Степан Юрьевич – заведующий лабораторией радиационного контроля – старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1778-4334>

Шлеенкова Екатерина Николаевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Беркович Глеб Владимирович – заведующий кабинетом компьютерной томографии, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7077-7320>

Солдатов Илья Владимирович – начальник испытательной лаборатории, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4867-0746>

Лантух Зоя Александровна – начальник отдела дозиметрического контроля и медицинской физики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Толкачев Кирилл Владимирович – эксперт отдела дозиметрического контроля и медицинской физики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8871-8700>

Для цитирования: Дружинина П.С., Чипига Л.А., Голиков В.Ю., Водоватов А.В., Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Беркович Г.В., Солдатов И.В., Лантух З.А., Толкачев К.В. Совершенствование подхода к расчету стационарной радиационной защиты в кабинетах компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 64–75. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-64-75

Improving the approach to calculating shielding in computed tomography rooms

Polina S. Druzhinina¹, Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Vladislav Yu. Golikov¹, Aleksandr V. Vodovатов^{1,4}, Stepan Yu. Bazhin¹, Ekaterina N. Shleenkova¹, Gleb V. Berkovich³, Ilya V. Soldatov⁵, Zoya A. Lantukh⁵, Kirill V. Tolkachev⁵

¹Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

²A.Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

³V. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁴Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁵Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

The study assessed the acceptability of the currently existing approach to calculating shielding in computed tomography rooms and formulated proposals for its improvement, taking into account the parameters of research in domestic medical practice. It is proposed to use the dose-length product as the main measured parameter in the new approach to calculating shielding. Typical tomograph workload values of dose-length product, typical for examinations in the Russian Federation, were assessed. Using thermoluminescent detectors, the experimental assessment of the distribution of absorbed dose in the air in a computed tomography room was carried out. The experimental results showed that the distribution of X-ray exposure in the central plane is not isotropic. Due to the attenuation of exposure by the gantry design, "shadow" zones are observed, where the absorbed dose reduction in the air reaches 10-13 times compared to its level in the direction of couch movement. Based on the results of measurements of the distribution of absorbed dose in air, the relative scatter coefficients were calculated. The workload was determined for 7 tomographs (1 in St. Petersburg and 6 in Moscow). For each tomograph, the average weekly number of head and body examinations and the values of dose-length product for these areas were assessed, taking into account the number of multiphase examinations. The obtained workload values turned out to be one or two orders of magnitude higher than those currently used in calculating shielding. Based on the results of the study and literature data, the work proposes a new approach to calculating shielding in computed tomography rooms, based on the value of measured dose-length product during the examination and allowing to take into account the specifics of the operation of the device.

Key words: *computed tomography, shielding calculation, relative scatter coefficients, workload.*

Personal contribution of authors

Druzhinina P.S. – data processing, wrote the manuscript, arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

Chipiga L.A. – developed the design of the survey, provided general scientific management of the project, data processing, wrote the manuscript.

Golikov V.Yu. – defined the goals and objectives, data processing, wrote the manuscript.

Vodovатов A.V. – data processing, discussion and analysis of the results, editing of the article.

Bazhin S.Yu. – data processing, discussion and analysis of the results, editing of the article.

Shleenkova E.N. – data processing, discussion and analysis of the results, editing of the article.

Berkovich G.V. – organization of the experiment, discussion and analysis of the results.

Soldatov IV. – providing the necessary information for research on the workload of CT-devices, editing an interim version of the article.

Lantukh Z.A. – providing the necessary information for research on the workload of CT-devices, editing an interim version of the article.

Tolkachev K.V. – providing the necessary information for research on the workload of CT-devices, editing an interim version of the article.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest when conducting the study and preparing this paper.

References

1. Druzhinina PS, Romanovich IK, Vodovатов AV, Chipiga LA, Akhmatdinov RR, Bratilova AA, et al. Trends in the develop-

Polina S. Druzhinina

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

- ment of computed tomography in the Russian Federation in 2011–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(3): 101-117. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-101-117>.
2. Martin CJ. Radiation shielding for diagnostic radiology. *Radiation Protection Dosimetry*. 2015;165(1-4): 376-81. doi: 10.1093/rpd/ncv040. Epub 2015 Mar 25. PMID: 25813477.
 3. Golikov VYu. Critical analysis of the existing approach to the calculation of radiation shielding in X-ray rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(3): 13-21. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-13-21>.
 4. NCRP. Report No. 147 – Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. 2004. 194 p.
 5. Wallace H, Martin CJ, Sutton DG, Peet D, Williams JR. Establishment of scatter factors for use in shielding calculations and risk assessment for computed tomography facilities. *Journal of Radiological Protection*. 2012;32(1): 39-50. doi: 10.1088/0952-4746/32/1/39. Epub 2012 Feb 10. PMID: 22327169.
 6. Sheleenkova EN. Experimental study of individual thermoluminescent dosimeters performances for measuring the dose equivalents in skin and eye lens. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(4): 143-156. (In Russian).
 7. Research and production enterprise “DOZA”. Dosimetric thermo-luminescent complex “DOZA-TLD”. Operating manual FVKM.4121 18.010RE. 2018. 49 p. Available from: https://atomsnab.kz/wp-content/uploads/2020/07/tld_new.pdf (Accessed: 20.03.2024).
 8. Harris CR, Millman KJ, van der Walt SJ, Gommers R, Virtanen P, Cournapeau D, et al. Array programming with NumPy. *Nature*. 2020;585: 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>.
 9. Druzhinina PS, Chipiga LA, Ryzhov SA, Vodovатов AV, Berkovich GV, Smirnov AV, et al. Proposals for the Russian quality assurance program in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 17-33. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-17-33>
 10. Sutton DG, Martin CJ, Williams JR, Peet DJ. Radiation Shielding for Diagnostic Radiology. British Institute of Radiology, 2012. 139 p.
 11. Sutton DG, Martin CJ, Peet D, Williams JR. The characterization and transmission of scattered radiation resulting from x-ray beams filtered with zero to 0.99 mm copper. *Journal of Radiological Protection*. 2012;32(2): 117-29. doi: 10.1088/0952-4746/32/2/117. Epub 2012 May 3. PMID: 22555158.
 12. Martin CJ, Sutton DG, Magee J, McVey S, Williams JR, Peet D. Derivation of factors for estimating the scatter of diagnostic x-rays from walls and ceiling slabs. *Journal of Radiological Protection*. 2012;32(4): 373-96. doi: 10.1088/0952-4746/32/4/373. Epub 2012 Sep 24. PMID: 23006642.
 13. Martin CJ, Sutton DG. Practical Radiation Protection in Healthcare. Second edition; 2015. 536 p.
 14. Cole JA, Platten DJ. A comparison of shielding calculation methods for multi-slice computed tomography (CT) systems. *Journal of Radiological Protection*. 2008;28(4): 511-23. doi: 10.1088/0952-4746/28/4/005. Epub 2008 Nov 24. PMID: 19029585.
 15. Ciraj-Bjelac O, Arandjic D, Kosutic D. Comparison of different methods for shielding design in computed tomography. *Radiation Protection Dosimetry*. 2011;147(1-2): 133-6. doi: 10.1093/rpd/ncr287. Epub 2011 Jul 9. PMID: 21743070.
 16. Hiroshi W, Takuma U, Yoshinori Sh, Takuro H. Verification study to improve the Japanese-DLP calculation method for shielding in the X-ray CT room. *Japanese Journal of Health Physics*. 2022;57(2): 87-92.
 17. Verdun FR, Aroua A, Trueb PR, Bochud FO. Use of DLP for establishing the shielding of multidetector computed tomography rooms. 2010. 8 p. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/006/41006643.pdf.

Received: March 12, 2024

For correspondence: Polina S. Druzhinina – junior research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: druzhininapauline@gmail.com)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2921-067X>

Larisa A. Chipiga – Ph.D., research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; research fellow, A. Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies, Ministry of Healthcare of the Russian Federation; docent, V. Almazov National Medical Research Centre, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9153-3061>

Vladislav Yu. Golikov – Senior Researcher of the Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-5494-2300>

Aleksandr V. Vodovатов – Ph.D., Head of Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

Stepan Yu. Bazhin – Head of radiation control laboratory – senior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1778-4334>

Ekaterina N. Shleenkova – Junior Researcher, Laboratory of radiation control, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

Gleb V. Berkovich – Head of the Computed Tomography department, V. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7077-7320>

Ilya V. Soldatov – Head of the testing laboratory, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health, Moscow, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4867-0746>

Zoya A. Lantukh – Head of the Department of Dosimetric Monitoring and Medical Physics, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health, Moscow, Russia

Kirill V. Tolkachev – Expert of the department of dosimetric monitoring and medical physics, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health, Moscow, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8871-8700>

For citation: Druzhinina P.S., Chipiga L.A., Golikov V.Yu., Vodovatov A.V., Bazhin S.Yu., Shleenkova E.N., Berkovich G.V., Soldatov I.V., Lantukh Z.A., Tolkachev K.V. Improving the approach to calculating shielding in computed tomography rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 64–75. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-64-75