

Оценка значений рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов при проведении рентгенологических процедур общего назначения

В.Ю. Голиков, А.В. Водоватов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Роспотребнадзор, Санкт-Петербург, Россия

Рабочая нагрузка рентгеновского аппарата (W) определяется как интеграл от анодного тока трубки за определенный период времени. Информация о рабочей нагрузке рентгеновского аппарата необходима при расчете стационарной защиты рентгеновских кабинетов и сравнении результатов радиационного контроля, проводимого в рентгеновских кабинетах, со значениями допустимой мощности дозы для облучаемых лиц разной категории. В настоящее время в РФ при расчетах стационарной защиты рентгеновских кабинетов используется консервативный подход конца 1970-х гг. Он заключается в том, что при расчетах стационарной защиты используется заведомо очень высокое значение рабочей нагрузки рентгеновского аппарата $W_{\text{сум}} = 1000 \text{ мА} \times \text{мин} \times \text{нед}^{-1}$, с дополнительным консервативным предположением, что оно реализуется при практически максимальном значении напряжения на аноде трубки, равном 100 кВ. Целью настоящей работы являлся сбор и анализ информации относительно реальных значений рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов в кабинетах общего назначения. Оценивались как суммарные значения недельной рабочей нагрузки, так и ее распределение в зависимости от напряжения на рентгеновской трубке. Средние и максимальные значения рабочей нагрузки обследованных рентгеновских аппаратов оказались приблизительно в 4 и 2 раза ниже указанного в СанПиН 2.6.1.1192-03 значения $1000 \text{ мА} \times \text{мин} \times \text{нед}^{-1}$. Демонстрационные расчеты показали, что если использовать реальное распределение процедур в зависимости от напряжения на аноде рентгеновской трубки вместо значения 100 кВ, указанного в СанПиН 2.6.1.1192-03, то необходимая толщина защиты уменьшается приблизительно в два раза.

Ключевые слова: рентгенографические процедуры, рентгеновский аппарат, рабочая нагрузка, стационарная защита.

Введение

Рабочая нагрузка рентгеновского аппарата (W) определяется как интеграл от анодного тока трубки за определенный период времени. Обычно в качестве этого периода времени выбирается неделя, и W выражается в $\text{мА} \times \text{мин} \times \text{нед}^{-1}$. Полезно также определить нормализованную рабочую нагрузку $W_{\text{норм}}$ как среднюю рабочую нагрузку рентгеновского аппарата в расчете на одного пациента. Это значение рабочей нагрузки может включать несколько облучений (процедур) пациента в зависимости от клинической цели обследования. Произведение $W_{\text{норм}}$ и среднего количества пациентов за неделю определяет значение суммарной рабочей нагрузки рентгеновского аппарата за неделю $W_{\text{сум}}$.

Информация о рабочей нагрузке рентгеновского аппарата необходима при расчете стационарной защиты рентгеновских кабинетов и сравнении результатов радиационного контроля, проводимого в рентгеновских кабинетах, со значениями допустимой мощности дозы для облучаемых лиц разной категории [1].

Обычно в рентгеновском кабинете общего назначения выполняются рентгенографические процедуры (снимки) и рентгеноскопические процедуры (просвечивание). При заданных значениях высокого напряжения на аноде рентгеновской трубки и расстоянии от фокусного пятна трубки поглощенная доза (керма) в воздухе пропорциональна значению $W_{\text{сум}}$.

В настоящее время в Российской Федерации при расчетах стационарной защиты рентгеновских кабинетов используется консервативный подход конца 1970-х гг., предложенный в Публикации 49 NCRP [2]. Этот подход заключается в том, что при расчетах стационарной защиты в рентгеновских кабинетах общего назначения используется заведомо очень высокое значение рабочей нагрузки рентгеновского аппарата $W_{\text{сум}} = 1000 \text{ мА} \times \text{мин} \times \text{нед}^{-1}$, с дополнительным консервативным предположением, что оно реализуется при практически максимальном значении напряжения на аноде трубки, равном 100 кВ. Этот подход игнорирует тот факт, что на самом деле медицинские процедуры выполняются в широком спектре значений напряжений на аноде трубки. Так, в рентгеновских кабинетах общего назначения приблизительно треть процедур выполняется при напряжениях 50–60 кВ (костно-суставная система конечностей), диагностику органов брюшной полости проводят при напряжениях 70–80 кВ, и только часть исследований органов грудной клетки проводится при напряжениях более 100 кВ, но, как правило, с очень маленькой экспозицией (мАс). На рисунке 1 для сравнения представлены распределения значений $W_{\text{норм}}$ при консервативном подходе конца 1970-х гг. и подходе, основанном на реальных распределениях значений $W_{\text{норм}}$, полученных в ходе крупномасштабных исследований в США в середине 1990-х гг. [3].

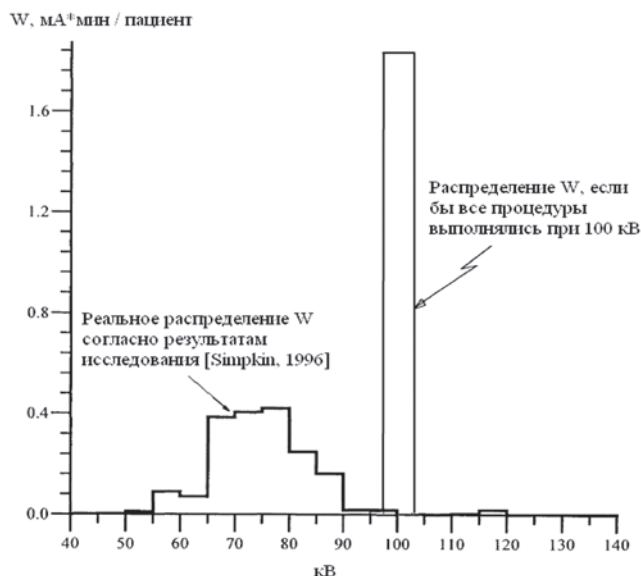


Рис. 1. Реальное распределение $W_{\text{норм}}$ в соответствии со значениями напряжения на аноде трубки при проведении рентгенологических процедур общего назначения согласно исследованиям середины 1990-х гг. в США [3] по сравнению с распределением W , если бы все исследования выполнялись при напряжении 100 кВ

Для корректного расчета стационарной защиты рентгеновского кабинета более важно знать реальное распределение W как функцию напряжения на трубке, чем суммарное значение $W_{\text{сум}}$. Дело в том, что защитные свойства барьеров изменяются с изменением напряжения на трубке экспоненциально (на три порядка величины в диапазоне напряжений 60–100 кВ), тогда как от суммарного значения $W_{\text{сум}}$ они зависят лишь линейно.

Цель исследования – сбор и анализ информации, позволяющей оценить значения рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов при проведении рентгенологических процедур общего назначения в различных регионах Российской Федерации.

Материалы и методы

В 2014 г. сбор данных (количество процедур и исследований за определенные интервалы времени, число пациентов, значения напряжения на трубке и мАс на процедуру) осуществлялся в Мурманской области (4 рентгеновских аппарата и 2 флюорографа), в г. Санкт-Петербурге (7 рентгеновских аппаратов и 1 флюорограф) и Белгородской области (1 рентгеновский аппарат). В Мурманской области собранные данные относились к современным рентгеновским аппаратам иностранного производства (2001–2006 гг. выпуска), работающим с пленочными приемниками изображения. В г. Санкт-Петербург информация была собрана в отношении 7 цифровых аппаратов отечественного производства, работающих попеременно, то с пленочными, то с цифровыми приемниками изображения в пропорции приблизительно 50:50. В Белгородской области информация соответствовала отечественному рентгеновскому аппарату с цифровым приемником изображения. Все обследованные флюорографы были с цифровыми приемниками изображения.

Значения $W_{\text{сум}}$ за неделю рассчитывалось путем суммирования произведений значений мАс/процедура на количество процедур за неделю. Так как количество пациентов практически всегда меньше количества процедур, то значение $W_{\text{норм}}$ рассчитывалось путем деления $W_{\text{сум}}$ на количество пациентов, обслуженных за неделю на данном рентгеновском аппарате.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены оцененные на основе собранной информации недельные значения $W_{\text{сум}}$ для каждого рентгеновского аппарата, участвовавшего в обследовании.

В таблице 2 приведены средние по обследованным регионам данные о рабочей нагрузке рентгеновских аппаратов и для сравнения аналогичные данные из Публикации 147 NCRP [4], основанные на результатах обследований середины 1990-х гг. в США [3] и современные данные обследований на Тайване [5].

Таблица 1

Оцененные значения $W_{\text{сум}}$ для обследованных аппаратов		
Регион, рентгеновский аппарат (флюорограф)	Тип приемника изображения	$W_{\text{сум}}$, мА·мин·нед ⁻¹
Мурманская область		
SIRESCOP CX	Пленочный	330
«Fluoromate»	Пленочный	78,7
Klinodigit	Пленочный	55,7
«Bucky Diagnost»	Пленочный	109
ФЦ-01 «Электрон»_1	Цифровой	88,1
ФЦ-01 «Электрон»_2	Цифровой	26,4
Белгородская область		
КРТ-Электрон	Цифровой	42,6
Санкт-Петербург		
АРЦ-Электрон_1	50% пленочный + 50% цифровой	26,2
АРЦ-Электрон_2	50% пленочный + 50% цифровой	600
АРЦ-Электрон_3	50% пленочный + 50% цифровой	214
КРТ-Электрон_1	50% пленочный + 50% цифровой	503
КРТ-Электрон_2	50% пленочный + 50% цифровой	250
КРТ-Электрон_3	50% пленочный + 50% цифровой	47
КРД-Электрон	50% пленочный + 50% цифровой	42,6
ФЦ-01 «Электрон»_3	Цифровой	88,3

Таблица 2

Средние по регионам данные о рабочей нагрузке рентгеновских аппаратов в рентгеновских кабинетах общего назначения

Регион	W , мА×мин×нед ⁻¹	$W_{\text{норм}}$, мА×мин×пац ⁻¹	N , пац×нед ⁻¹
Мурманская область	143±126 ¹⁾	0,65±0,25	222±91
Белгородская область	42,6±14,7	0,38±0,09	111±22
Санкт-Петербург	240±232	–	–
США [3] ²⁾	240 (34,5)	1,9 (1,5)	120 (23)
Тайвань [5] ³⁾	200±160	0,42±0,17	512
РФ, флюорографы	67,6±35,7	–	–

¹⁾ – стандартное отклонение; ²⁾ – для США первая цифра соответствует кабинетам, где производятся только рентгенографические исследования, вторая – кабинетам, где установлено оборудование для проведения как рентгенографии, так и рентгеноскопии; ³⁾ – данные относятся к кабинетам, где проводят только рентгенографические процедуры.

Средние значения недельной нагрузки рентгеновских аппаратов в Мурманской области, Санкт-Петербурге, США и Тайване достаточно близки, несмотря на указанные выше определенные различия в специфике проводимых исследований в РФ, США и на Тайване, а также различия в типах приемников изображения (плёночный, цифровой). Значение $W_{\text{сум}}$ в Белгородской области получено на основе информации, собранной лишь на одном цифровом аппарате, на котором выполнялись, в основном, лишь рентгенографические процедуры (снимки), и не может считаться представительным.

Показательно, что средние значения недельной нагрузки рентгеновских аппаратов как минимум в 4 раза ниже значения, приведенного в СанПиН 2.6.1.1192-03 [1]. Более того, из данных таблицы 1 видно, что максимальное значение $W_{\text{сум}}$ среди обследованных аппаратов составляло 600 мА×мин×нед⁻¹, что почти в два раза меньше указанного в СанПиН 2.6.1.1192-03.

Среднее значение недельной нагрузки 3 обследованных цифровых флюорографов оказалось в 1,5 раза ниже указанного в СанПиН 2.6.1.1192-03 $W = 100$ мА×мин×нед⁻¹. Однако два из трех обследованных флюорографов показали значение $W_{\text{сум}}$, достаточно близкое к указанному значению в СанПиН 2.6.1.1192-03. При этом значение напряжения 100 кВ на аноде трубки во всех случаях проведения флюорографии в точности соответствует указанному в СанПиН 2.6.1.1192-03.

На основании собранной информации удалось также построить распределение значений $W_{\text{норм}}$ как функции напряжения на аноде рентгеновской трубки при проведении рентгенологических процедур общего назначения. На рисунке 2 такого рода распределения представлены для значений $W_{\text{норм}}$ из США [4], Тайваня [5] и Мурманской области РФ. Согласно этим распределениям, доля процедур, проводимых при напряжении на аноде трубки выше 100 кВ, составляет 23%, 5% и 2% для США, Тайваня и Мурманской области Российской Федерации соответственно.

На рисунке 3 представлена зависимость доли излучения, прошедшего через защиту из свинца для спектра рентгеновского излучения, генерируемого при напряжении на трубке 100 кВ, и суперпозиции спектров, отражающей реальное распределение выполняемых процедур в зависимости от напряжения на аноде трубки [4] (см. рис. 2). Непосредственно видно, что во втором случае для достижения заданного коэффициента ослабления требуется значительно меньшая толщина защиты.

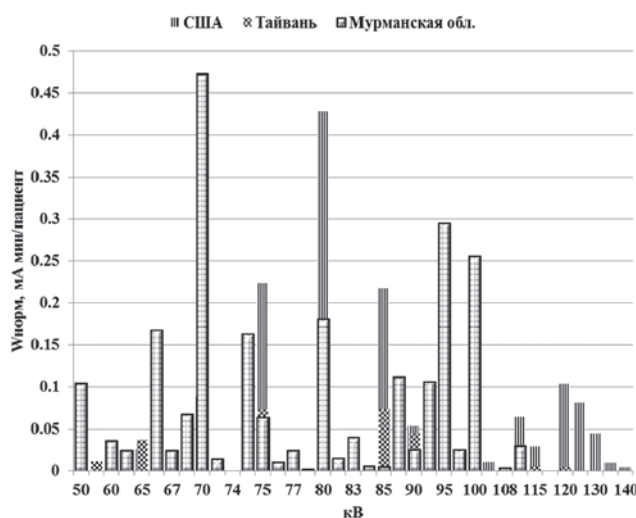


Рис. 2. Распределения значений $W_{\text{норм}}$ в зависимости от напряжения на аноде рентгеновской трубки

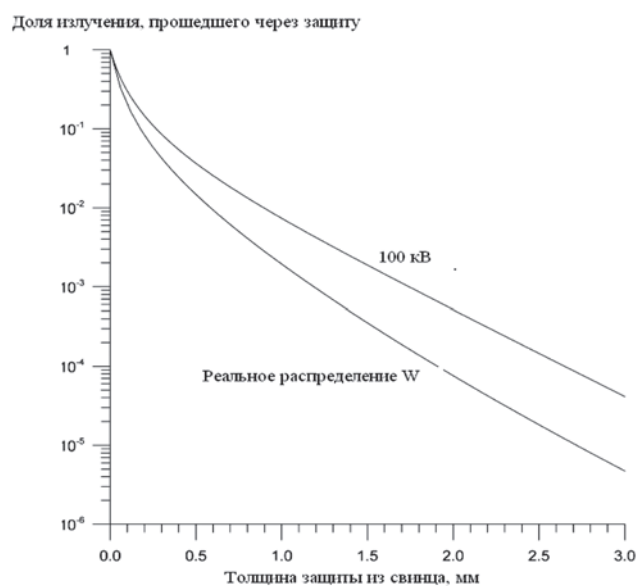


Рис. 3. Доля излучения, прошедшего через защиту из свинца при реальном распределении W в зависимости от напряжения на аноде трубки и если бы все процедуры выполнялись при напряжении на трубке, равном 100 кВ [4]

Была рассчитана толщина защиты из свинца для спектра рентгеновского излучения, генерируемого при напряжении на трубке 100 кВ, и суперпозиции спектров, как показано на рисунке 4, где доля процедур, выполняемых при напряжении выше 100 кВ, составляет около 4%. Если бы все процедуры выполнялись при напряжении 100 кВ, то для смежного помещения, где находятся представители населения (годовой предел дозы 1 мЗв), необходимая эффективная толщина защиты из свинца должна была бы быть 3 мм (~200 мм бетона). Во втором случае (реальное распределение рабочей нагрузки рентгеновского аппарата в зависимости от напряжения на аноде трубки) необходимая эффективная толщина защиты из свинца должна была бы быть в два раза меньше, т.е. 1,5 мм.

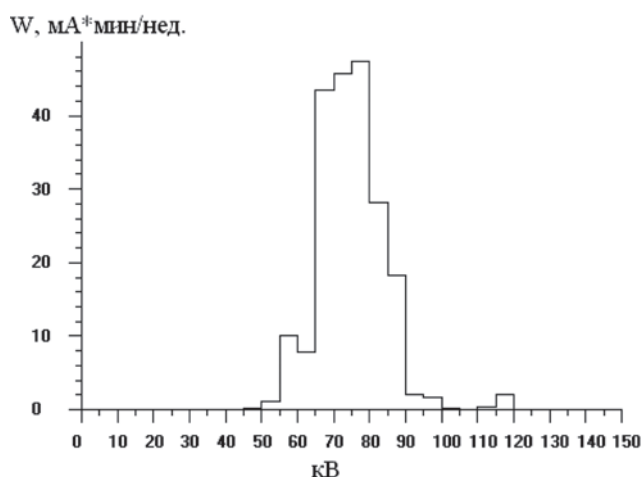


Рис. 4. Реальное распределение W в соответствии со значениями напряжения на аноде трубки при проведении рентгенологических процедур общего назначения согласно исследованиям середины 1990-х гг. [3]

Выводы

Первое предварительное изучение вопроса о значениях реальной рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов при проведении рентгенологических процедур общего назначения в Российской Федерации показало следующее:

1. Средние и максимальные значения $W_{\text{сум}}$ среди обследованных аппаратов в Мурманской области и Санкт-Петербурге оказались приблизительно в 4 и 2 раза

ниже указанного в СанПиН 2.6.1.1192-03 значения $1000 \text{ мА} \times \text{мин} \times \text{нед}^{-1}$. Еще раз подчеркнем, что эти результаты получены на ограниченной выборке рентгеновских аппаратов и являются сугубо предварительными.

2. Согласно реальному распределению значений рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов в зависимости от напряжения на аноде трубки доля процедур, проводимых при напряжении выше 100 кВ, составляет, например, в Мурманской области РФ всего лишь 2%.

3. Демонстрационные расчеты показывают, что если использовать реальное распределение процедур в зависимости от напряжения на аноде трубки вместо значения 100 кВ, указанного в СанПиН 2.6.1.1192-03, то необходимая толщина защиты уменьшается приблизительно в два раза.

4. Реальные значения недельной загрузки обследованных цифровых флюорографов, как правило, близки к указанному в СанПиН 2.6.1.1192-03 $W = 100 \text{ мА} \times \text{мин} \times \text{нед}^{-1}$. При этом значение напряжения 100 кВ на аноде трубки во всех случаях при проведении флюорографии соответствует указанному в СанПиН 2.6.1.1192-03.

5. Необходимо продолжить работу в этом направлении, расширяя как номенклатуру исследуемых аппаратов и процедур, так и количество аппаратов в рамках каждого типа рентгенологических исследований.

Литература

1. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований (СанПиН 2.6.1.1192-03) : введены в действие от 18.02.03 г. № 8 с 01.05.03 г. – М.
2. NCRP (1976). National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies Up to 10 MeV, NCRP Report No. 49 (National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland).
3. Simpkin, D.J. Evaluation of NCRP Report No. 49 assumptions on workloads and use factors in diagnostic radiology facilities / D.J. Simpkin // Med. Phys. – V. 23 (4). – P. 577–584.
4. NCRP (2004). National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities, NCRP Report No. 147 (National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland).
5. Tou-Rong, C. Surveyed data for structural shielding calculations of radiographic X-ray installations in Taiwan / C. Tou-Rong, T. Yeu-Sheng, C. Chien-hau // The Radiation Safety Journal. – V. 104, suppl. 2, May 2013.

Поступила: 06.05. 2015 г.

✉ **Голиков Владислав Юрьевич (Golikov Vladislav Yur'evich)** – старший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Телефон: 8-92-302 21 91. E-mail: sgz135@rambler.ru

Водоватов Александр Валерьевич (Vodovатов Aleksandr Valer'evich) – научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Телефон: 8-921-368-22-79. E-mail: VODOVATOFF@gmail.com

V. Yu. Golikov, A.V. Vodovatov

Estimation of an X-ray machine's workload during routine radiological examinations

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

Abstract

The X-ray machine workload (W) is defined as the integral of the anode current of the tube for a certain period of time. Information about the workload of an X-ray machine is needed in calculations of the structural shielding in the X-ray rooms and in comparing the results of radiation monitoring, conducted in the X-ray rooms, with the permissible levels of doses to different categories of exposed persons. In the Russian Federation, the calculations of the structural shielding in the X-ray rooms are currently based on the conservative approach developed in the 1970s. This approach assumes that a very high value of workload, $W_{sum} = 1000 \text{ mA} \times \text{min} \times \text{week}^{-1}$, is used in the calculations. Additionally to this conservative assumption, the maximum value of 100kV for the anode voltage is used. The aim of this study was to collect and analyze the information concerning real workload values of the X-ray machines placed in the routine rooms. The total values of the weekly workload and its distribution as a function of the tube voltage were registered. The average and maximum values of workload among surveyed X-ray units were about 2–4 times lower than the value of $1000 \text{ mA} \times \text{min} \times \text{week}^{-1}$ specified in the National sanitary norms SanPin 2.6.1.1192-03. Demo calculations show that if one uses the actual distribution of medical procedures depending on the tube voltage instead of the single value of 100kV specified in the SanPin 2.6.1.1192-03, then the required thickness of the shielding construction in the X-ray rooms can be reduced with a factor of two.

Key words: radiographic procedures, X-ray unit, workload, shielding construction.

References

1. Gigiyenicheskiye trebovaniya k ustroystvu i ekspluatatsii rentgenovskikh kabinetov, apparatov i provedeniyu rentgenologicheskikh issledovaniy (SanPiN 2.6.1.1192-03) : vvedeny v deystviye ot 18.02. 03 g. № 8 s 01.05.03 g. – M.
2. NCRP (1976). National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies Up to 10 MeV, NCRP Report No. 49 (National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland).
3. Simpkin, D.J. Evaluation of NCRP Report No. 49 assumptions on workloads and use factors in diagnostic radiology facilities / D.J. Simpkin // Med. Phys. – V. 23 (4). – P. 577–584.
4. NCRP (2004). National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities, NCRP Report No. 147 (National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland).
5. Tou-Rong, C. Surveyed data for structural shielding calculations of radiographic X-ray installations in Taiwan / C. Tou-Rong, T. Yeu-Sheng, C. Chien-hau // The Radiation Safety Journal. – V. 104, suppl. 2, May 2013.