

Дистанционно управляемые (телеуправляемые) столы-штативы*. Часть 3. Рентгеновские генераторы и рентгеновские излучатели

В.В. Уваров

ЗАО «ИНТЕЛМЕДТЕХНИКА»

- Доктор, меня все игнорируют!
- Следующий.

Анекдот

Рентгеновское питающее устройство (генератор) и рентгеновский излучатель составляют важнейшую часть любого рентгенодиагностического аппарата (РДА). По непонятной причине при выборе РДА этой системе не уделяют должного внимания. Зачастую обсуждение касается только мощности генератора (непрерывно требуется 50 кВт) и дискуссии на тему «высокочастотный или среднечастотный». Обсуждение качеств рентгеновской трубки обычно заканчивается именем производителя. «У вас СВЕТЛАНОВСКИЕ трубки?» – «Нет, что вы, у нас чистый СИМЕНС». А уж что там поставляется под именем ионизационной камеры, практически никого не интересует.

Попробуем пройти по теме, оставив сложные вопросы в стороне. Для таких вопросов предоставляем e-mail: intelmedtechnika@mtu-net.ru или телефон (095) 507-40-07.

1. Рентгеновский излучатель и рентгеновская трубка

Основными характеристиками трубки, которые важны для рентгенодиагностики, являются эффективные размеры фокусов. Значение теоретически достижимого пространственного разрешения уменьшается при увеличении размера фокуса. При размере фокуса 2 мм по разным оценкам можно распознать до 3 пар линий/мм, даже если детектор имеет лучшие характеристики (рентгеновская пленка, например, позволяет различать до 10–15 пар линий/мм).

Уменьшение размера фокуса не дает возможности использовать большие значения

анодного тока, т.е. уменьшает рабочую мощность. Обратите внимание при покупке РДА на то, чтобы мощность генератора соответствовала рабочей мощности фокусов поставляемых трубок.

В качестве примера в табл. 1 приведем рабочие мощности фокусов некоторых рентгеновских трубок фирмы IAE (Италия), которые могут поставляться внутри кожуха C52 SUPER (рис. 1). Все трубки имеют два рабочих фокуса, но клиентам предлагается выбрать эти два значения из имеющегося ряда. Для трубки RTM 90 предлагается 7 разных значений размера фокуса. Максимальное рабочее напряжение всех трубок IAE составляет 150 кВ.

Таблица 1 очень наглядна. Если вы изучаете каждую колонку по вертикали, то видно, что рабочая мощность фокуса уменьшается пропорционально его размеру.

Если в трубке предусмотрена возможность разгона анода от 3000 до 9000 оборотов в минуту, то, сравнивая колонки трубок RTM 90 и RTM 101, можно увидеть, что рабочая мощность фокуса увеличивается примерно в 1,5 раза при увеличении скорости вращения анода в 3 раза.

Угол анода определяет минимальное расстояние, на котором можно выполнить экспозицию, и играет важную роль при выборе трубки для поворотного стола-штатива, на котором расстояние от фокуса трубки до пленки при



Рис. 1. Излучатель C52 SUPER фирмы IAE (Италия).

* Продолжение. Начало см. Радиология – практика. 2003. № 1. С. 46–50; № 2. С. 51–56.

Таблица 1

Тип трубки	X40	X50*	RTM 90* 3000 об/мин	RTM 90 9000 об/мин	RTM 101 3000 об/мин	RTM 101 9000 об/мин
Диаметр анода	73 мм	90 мм	90 мм	90 мм	102 мм	102 мм
Теплоемкость анода	140 кНУ/ 105 кДж	140 кНУ/ 105 кДж	300 кНУ/ 225 кДж	300 кНУ/ 225 кДж	400 кНУ/ 300 кДж	400 кНУ/ 300 кДж
Угол анода	16°	16°	12,5°	12,5°	12,5°	12,5°
Размер фокуса	МОЩНОСТЬ					
0,3 мм			6 кВт	9 кВт		
0,6 мм		11 кВт	20 кВт*	32 кВт	22 кВт	37 кВт
1 мм	20 кВт	24 кВт	35 кВт	65 кВт	40 кВт	68 кВт
1,2 мм		30 кВт*	44 кВт	78 кВт	55 кВт	100 кВт
1,3 мм			50 кВт	90 кВт	60 кВт	105 кВт
1,5 мм	30 кВт		60 кВт*	110 кВт	70 кВт	125 кВт
2 мм	40 кВт	50 кВт*	75 кВт	137 кВт	90 кВт	150 кВт

* Мы рекомендуем эти трубки.

Таблица 2

Тип трубки	2,5-50 БД21-150	20-50 БД21-150	15-40 БД46-150	X-STAR 8	X-STAR 74	DR154/12/50	DR154/30/50
Производитель	СВЕТЛАНА РЕНТГЕН	СВЕТЛАНА РЕНТГЕН	СВЕТЛАНА РЕНТГЕН	ТОШИБА	ТОШИБА	СИМЕНС	СИМЕНС
Диаметр анода	90 мм	90 мм	88 мм	74 мм	74 мм	90 мм	90 мм
Теплоемкость анода	160 кНУ/ 120 кДж	160 кНУ/ 120 кДж	300 кНУ/ 225 кДж	150 кНУ/ 110 кДж	200 кНУ/ 142 кДж	200 кНУ/ 142 кДж	200 кНУ/ 142 кДж
Угол анода	21°	17°	14°	16°	14°	16°	16°
Размер фокуса	МОЩНОСТЬ						
0,3 мм	2,5 кВт		15 кВт				
0,6 мм					17 кВт	12 кВт	
1 мм		20 кВт		22 кВт			
1,2 мм			40 кВт				30 кВт
1,5 мм					47 кВт		
1,8 мм						50 кВт	50 кВт
2 мм	50 кВт	50 кВт		45 кВт			

экспозиции составляет около 75 см. В этом случае рекомендовано выбирать трубки с углом анода не менее 15°.

Мощность фокуса зависит не только от его размера, но и от размера анода. Это видно, если сравнивать значения табл. 1 по горизонтали.

На рис. 2 приведена схема рентгеновской трубки X50. Диаметр анода – 90 мм, как и у трубки RTM 90.

Характеристики наиболее используемых в России трубок других производителей мы собрали в табл. 2.

Самыми распространенными, конечно, являются отечественные трубки Санкт-Петербургского завода СВЕТЛАНА-РЕНТГЕН. Все аппараты завода МОСРЕНТГЕН оснащены труб-

ками типа 2,5-50 БД21-150 и 20-50 БД21-150. Старые трубки изготавливаются с учетом ценовой ниши, в которой они продаются, – очень

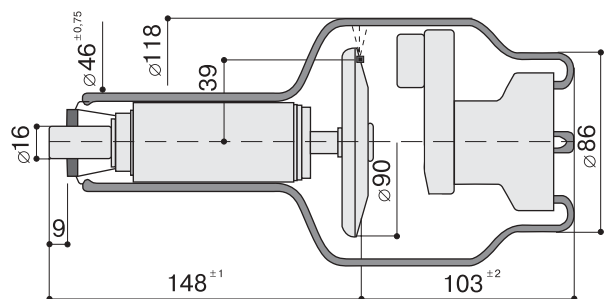


Рис. 2. Рентгеновская трубка X50 фирмы IAE (Италия).

дешево. Соответственно требования, которые предъявляются в данном случае, не очень высоки. Так, требования к размерам фокусов звучат так — “номинальный размер фокуса 2,0 мм, но не более 2,6 мм”, номинальный размер 1 мм, но не более 1,4 мм”. Гарантийная наработка на отказ на каждом фокусе — 15000 включений. При этом завод держит цены на трубки в рамках 300–500 долл. США, что вызвало повальное увлечение региональных сервисных организаций и некоторых отечественных производителей скупкой излучателей, бывших в употреблении, в которые затем в условиях своих мастерских устанавливаются новые светлановские трубки.

СВЕТЛАНА-РЕНТГЕН, наверное, единственный завод в мире, который торгует рентгеновскими трубками без кожухов. МОСРЕНТГЕН сам делает для себя кожухи для излучателей, остальным производителям приходится решать эту проблему самостоятельно, так как отпускные цены завода МОСРЕНТГЕН на трубку в кожухе уже сопоставимы с европейскими.

По сравнению с трубками зарубежных производителей, дающих годовую гарантию без ограничения включений и демонстрирующих данные о рекламациях, из которых следует, что трубка служит без ухудшения характеристик до 5 лет, отечественные трубки проигрывают.

Новая светлановская трубка 15-40 БД46-150 может быть установлена в кожух импортного производства. Она обладает хорошей теплоемкостью, угол анода 14° на пределе удовлетворяет условиям использования в поворотном столе-штативе. Максимальная мощность фокуса 1,2 мм составляет 40 кВт, т.е. если эту трубку использовать с генератором мощностью 50 кВт, то он не сможет работать со своей номинальной мощностью.

То же самое можно сказать про трубку фирмы СИМЕНС, которую при ее номинальной мощности 50 кВт используют с генератором 60 кВт, но в этом случае любимые нашими рентгенологами 50 кВт налицо.

Вывод: При покупке генератора следует обращать внимание на рабочую мощность фокусов рентгеновской трубки, которые определяют рабочую мощность системы “генератор–рентгеновская трубка”.

Трубки фирмы ТОШИБА, представленные в табл. 2, поставляются почти всеми зарубежными производителями под разными именами в нише дешевых европейских трубок. Кстати, обратите внимание, как при одинаковом

размере анодов увеличивается теплоемкость трубки за счет уменьшения угла анода.

2. Рентгеновский генератор

2.1. Высокочастотный или среднечастотный?

Рентгеновский генератор, или рентгеновское питающее устройство, — это сердце РДА. Он преобразует напряжение питающей электросети (220/380 В) в высоковольтное напряжение (40–150 кВ), которое подается на трубку и приводит к возникновению рентгеновского излучения.

Первые полуволновые (или однополупериодные) генераторы использовали трубку в качестве диода. Период высоковольтной синусоиды соответствует частоте питающей электросети и составляет $1/50$ с, или 20 мс (50 Гц).

Уровень пульсации высокого напряжения в этом случае составляет 100%. Только небольшой участок синусоиды около ее максимального значения отвечает за генерирование рентгеновского излучения, которое участвует в формировании изображения. Большая часть высоковольтного сигнала расходуется на генерирование низкоэнергетической части спектра, который, создавая дозовую нагрузку на пациента, не участвует в образовании рентгеновского изображения.

До сих пор в большинстве дентальных рентгеновских аппаратов применяются простейшие полуволновые генераторы.

Чтобы увеличить эффективность генераторов, сначала стали использовать простые схемы выпрямления — диодные мосты. Но и в этом случае при увеличении радиационного выхода не решалась ни проблема пульсации высокого напряжения, что отрицательно сказывалось на времени жизни нити накала трубки, ни проблема качества излучения (хотя отчасти она решается использованием фильтров).

Новым подходом стало сложение трех синусоид от трехфазной сети, а затем 6- и 12-пульсное выпрямление. Уровень пульсаций при этом был уменьшен до 13 и 7% соответственно. Уменьшение уровня пульсаций в 6- и 12-пульсных схемах возможно до 3%, но при этом минимальное время экспозиции возрастает до 3–4 мс, и возникает ряд других проблем.

Параллельно развивалась техника высокочастотного инвертирования высоковольтного сигнала, на деталях которой не будем останавливаться. На рис. 3 приведена форма импульса высокого напряжения, подаваемая на труб-

ку высокочастотным генератором. Длительность всего импульса в данном случае — 1 мс (может быть 6–8 с в режиме рентгенографии).

В течение 200 мкс высокое напряжение достигает заданного значения 70 кВ, затем идет плато длительностью 1 мс, затем спад высокого напряжения до нуля за 200 мкс. Форма высокого напряжения практически идеальна. Уровень пульсаций составляет для 100 кГц генератора менее 1%.

Дебаты на тему “высокочастотный” или “среднечастотный” имеют теоретический характер. Важна частота преобразования. Во всем мире высокочастотным (high frequency) называют генераторы, у которых частота преобразования составляет несколько килогерц. Но при частоте до 7–10 кГц еще слышен “свист” генератора, поэтому минимальная частота преобразования генераторов европейского производства обычно составляет 20–40 кГц.

В последние 10–15 лет высокочастотные генераторы преодолели планку 100 кГц, что позволило уменьшить размеры как высоковольтного трансформатора, так и самого инвертора. Первоначальные проблемы со стабильностью работы в режиме флюороскопии (просвечивания) были успешно решены.

2.2. Управление генератором

Любой современный генератор содержит в себе всю историю развития рентгентехники. Он обеспечивает в процессе экспозиции поддержание заданного уровня высокого напряжения (кВ), заданную силу анодного тока (мА) и время экспозиции (с) (см. рис. 3). Это основные параметры экспозиции.

Исторически первым режимом управления генератором был ручной режим. Вы можете установить любой набор из упомянутых трех параметров. Если этот набор не соответствует техническим возможностям генератора и трубки, то современный генератор сообщит об этом.

Затем существует система управления, основанная на выборе двух параметров экспозиции — кВ и мАс. Существует заданная при установке оборудования зависимость кВ от мАс, исходя из которой при заданном значении кВ выбирается значение мАс.

Можно работать в режиме выбора одного параметра экспозиции — кВ, который определяется толщиной исследуемого органа. В этом случае работает система автоматического контроля экспозиции (АКЭ), которая использует ионизационную камеру, расположенную за пациентом. В этом случае генератор опраши-

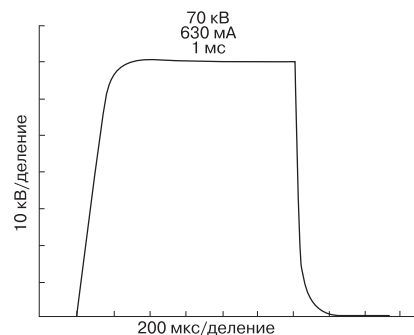


Рис. 3. Форма импульса высокого напряжения высокочастотного генератора.

вает ионизационную камеру, которая настроена на определенную экспозиционную дозу, гарантирующую получение нужной оптической плотности изображения на пленке. От свойств этой камеры зависит многое (см. ниже).

С появлением компьютерных технологий были созданы так называемые анатомические программы, призванные заменить все предыдущие системы.

2.3. Анатомические программы (автоматика по органам, она же органавтоматика)

Автоматика по органам задумывалась для максимального упрощения процедуры экспозиции. Разработчики систем анатомического программирования подошли к решению задачи очень грамотно. Рентгенолаборант вначале производит укладку больного, затем на пульте управления генератором выбирает исследуемый орган, тип пациента (толстый/тонкий) и нажимает кнопку включения экспозиции. В программе уже заранее заложены значения кВ, мАс, фокус трубки, рабочие поля ионизационной камеры. Нельзя сказать, что эта система повсеместно прижилась в мире и в России. В ЛПУ с небольшим потоком пациентов рентгенолаборанту проще выставлять параметры экспозиции, которые он знает наизусть, вручную, при этом на глаз учитывается комплекция пациента и все прочие параметры съемки, включая тип пленки, которая поступает в ЛПУ зачастую случайным образом, а не по заказу рентгенолога.

Первой отследила тенденцию отказа от автоматике по органам фирма СИМЕНС. Генератор ПОЛИДОРС в базовом варианте не содержит органавтоматики, но может быть дополнен отдельным модулем, который содержит эту систему.

Заметим, что отечественная система укладок не совпадает с мировой. Например, обзорный снимок легких в Европе выполняется на

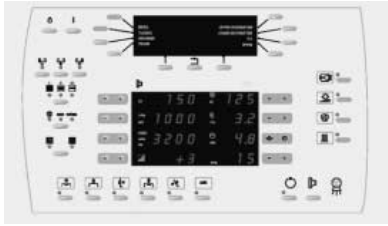


Рис. 4. Пульта управления генератора ДЖЕНИУС (серии G100) (ВИЛЛА СМ, Италия—СРІ, Канада).



Рис. 5. Пульта управления генератором ДЖЕНИУС 65 HF (ВИЛЛА СМ, Италия).



Рис. 6. Пульта управления генератором ПроВарио (“ПРОВОТЕК”, Германия—“ЭЛЕКТРОН”, Россия).

расстоянии 180 см, а у нас на расстоянии 150 см. Надеюсь, что гармонизация системы отечественных укладок с европейскими начнет

выполняться в ближайшее время после выхода в издательстве “МЕДИКА” русского перевода классического труда К. Бонтрэйджер “Руководство по позиционированию пациента при радиографии” с двумя учебными тетрадами, по которым готовят рентгенологов во всем мире.

Система выбора исследуемого органа у разных генераторов разная. Рассмотрим несколько примеров.

Семейство G100 генератора ДЖЕНИУС (рис. 4) предлагает выбор из 768 анатомических программ, которые сгруппированы в 8 банков данных. Выбор осуществляется по стандартному “дереву выбора”, т.е. после выбора одного из первых 8 частей тела вы переходите на следующий подуровень, более детальный.

Генераторы ДЖЕНИУС HF (65 и 80 кВт, рис. 5), которые чаще всего применяются с цифровой системой ДИВА, предлагают наглядный выбор исследуемого органа по пиктограмме (правый нижний угол пульта) – 7 слов тела, две проекции (всего 560 программ). Есть варианты, использующие сенсорный экран компьютера.

Интересный подход предлагают разработчики генератора ПроВарио (рис. 6). Для каждого рабочего места можно выбрать одну из 24 программ. Рабочие места наглядно выделены цветом (зеленые, красные и желтые точки). Если оператору захочется выбрать 25-ю программу, он должен удалить одну из 24 программ, добавить новую программу и, выбрав из набора карточек (прилагается) нужное название, поменять табличку на пульте управления.

Другие важные элементы системы формирования излучения будут рассмотрены в следующем номере журнала.

iMT

ЗАО “ИНТЕЛМЕДТЕХНИКА”

тел.: (095) 507-4007; факс: (095) 125-9126;

e-mail: intelmedtechnika@mtu-net.ru; почтовый адрес: 117218 Москва, а/я 132

МЕДИЦИНСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ

