Д.И. Карюгин, В.Н. Столяров, И.Н. Столяров

Методика исследования и оценки ресурса эмиттеров рентгеновских трубок

Аннотация

Статья посвящена методике исследования и оценки ресурса эмиттеров рентгеновских трубок. Приведены результаты анализа экспериментальных данных по влиянию величины изменения электрического сопротивления эмиттера на его ресурс в процессе работы. Также в статье приведено сравнение ресурса вольфрамовых эмиттеров различных марок.

В последнее время в практику медицинской рентгенологии и рентгенографии активно входят новые методы исследований, заметно отличающиеся от традиционно используемых в ЛПУ и дополняющие их. Это прежде всего томосинтез, компьютерная томография, цифровые маммографические исследования и др.

Развитие современных методов лучевой диагностики требует разработки новых конструкций рентгеновских излучателей. При этом перед разработчиками встает задача обеспечения назначенного ресурса изделия во всем диапазоне его использования. Одной из важных частей рентгеновской трубки является эмиттер, который обеспечивает эмиссию электронов и определяет величину анодного тока трубки.

В настоящее время известно достаточно много вариантов исполнений эмиттера, но в силу простоты изготовления и хорошо изученных характеристик разработчики отдают предпочтение традиционным прямонакальным вольфрамовым эмиттерам в виде спирали. При включении напряжения от накального трансформатора рентгеновского аппарата эмиттер нагревается до температуры 2300...2500 °С. Это вызывает эмиссию электронов с поверхности спирали, которые образуют отрицательный пространственный заряд вокруг нее. При подаче анодного напряжения в промежутке между электродами рентгеновской трубки формируется электронный пучок. Ускоренные электроны испытывают торможение в поверхностном слое вольфрамовой мишени, что сопровождается возникновением рентгеновского излучения. Мощность дозы рентгеновского излучения, таким образом, напрямую зависит от количества электронов, испускаемых эмиттером и попавших на поверхность анодного диска. Зависимость анодного тока от тока накала является индивидуальной характеристикой рентгеновской трубки и указывается изготовителем в паспорте изделия.

Анализ рентгеновских трубок, вышедших из строя по причине перегорания эмиттера, показывает, что его ресурс, помимо случайных факторов, таких как повышение давления остаточных газов в рабочем объеме рентгеновской трубки или механических повреждений, определяется суммарным временем работы при максимально возможных значениях анодного тока. Из этого следует, что разработчиками рентгеновских трубок должен быть назначен некоторый запас по ресурсу эмиттера, перекрывающий общий ресурс изделия.

Механизм деградации вольфрамовой спирали в настоящее время достаточно хорошо изучен [1]. При нагреве металла в вакууме происходит его испарение и массоперенос на более холодные детали оболочки. Вольфрам, несмотря на высокую температуру плавления, не является исключением. Скорость его испарения в вакууме зависит от таких физических параметров, как степень разрежения и температура нагрева.

Целью рассматриваемой работы являлось создание методики исследования и оценки ресурса эмиттеров при разработке новых конструкций рентгеновских трубок.

На практике установлено, что вольфрамовая проволока разрушается и теряет в процессе работы в среднем 10 % своей первоначальной массы [2], [3]. Исходя из этого были проведены расчеты электрического сопротивления вольфрамового эмиттера с диаметром проволоки 200 и 300 мкм для двух режимов его работы по формуле

$$R = \rho l / S, \qquad (1)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом·м; l – длина эмиттера, м; S – площадь поперечного сечения эмиттера, мм^2. Расчет производился в предположении равномерности распределения температуры по всей длине эмиттера. Полученные зависимости сопротивления от температуры представлены на графике (*рис. 1*). Кривые 1 и 3 на графике соответствуют начальному значению электрического сопротивления при первоначальном включении эмиттера для диаметра вольфрамовой проволоки 200 и 300 мкм соответственно. Кривые 2 и 4 соответствуют моменту, при котором должно происходить перегорание эмиттера, т. е. при уменьшении его первоначальной массы на 10 % для диаметра проволоки 200 и 300 мкм соответственно. Целью расчетов являлось определение критериев оценки работоспособности эмиттера.

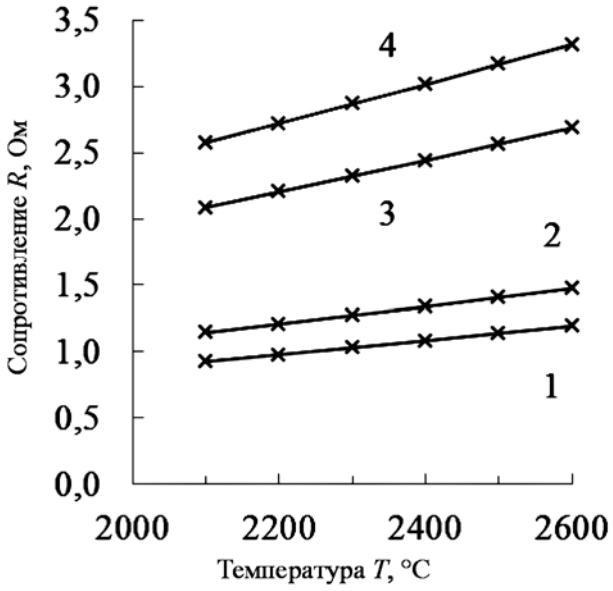

Рис. 1. Расчетные зависимости электрического сопротивления эмиттера от температуры: кривые 1, 3 – первое включение эмиттера с диаметром вольфрамовой проволоки 200 и 300 мкм соответственно; кривые 2, 4 – момент перегорания эмиттера с диаметром вольфрамовой проволоки 200 и 300 мкм соответственно

Из графика видно, что зависимость носит практически линейный характер, а изменение электрического сопротивления, обусловливающее перегорание эмиттера, составляет около 20 % от первоначального значения электрического сопротивления.

Измерение температуры эмиттера или диаметра вольфрамовой проволоки в работающем приборе является чрезвычайно сложной задачей. Однако, зная электрическое сопротивление эмиттера первоначальное и в интересующий нас момент времени, можно оценить наработку эмиттера и сделать вывод о его дальнейшей работоспособности.

С другой стороны, измеряя электрическое сопротивление эмиттера через определенные промежутки времени при одном и том же значении тока накала, можно достаточно точно оценить ресурс эмиттера.

Для проведения необходимых измерений был разработан макет, воспроизводящий рабочие условия для эмиттера рентгеновской трубки. Макет, в котором обеспечивается вакуум порядка $5 \cdot 10^{-5}$ Па, выполнен в разборном варианте для обеспечения многократного использования.

Схема макета приведена на *рис. 2*. Макет представляет собой вакуумированный стеклянный баллон 1, к основанию 2 которого через фланцевое соединение 3 монтируется катодная часть 4. Катодная часть состоит из дна 5, к которому через проставочный элемент 6 монтируется держатель эмиттеров 7. На держателе устанавливаются два эмиттера в виде спиралей 8 с общим заземленным выводом 9, что сокращает время испытаний и позволяет провести две серии измерений при одинаковых условиях.

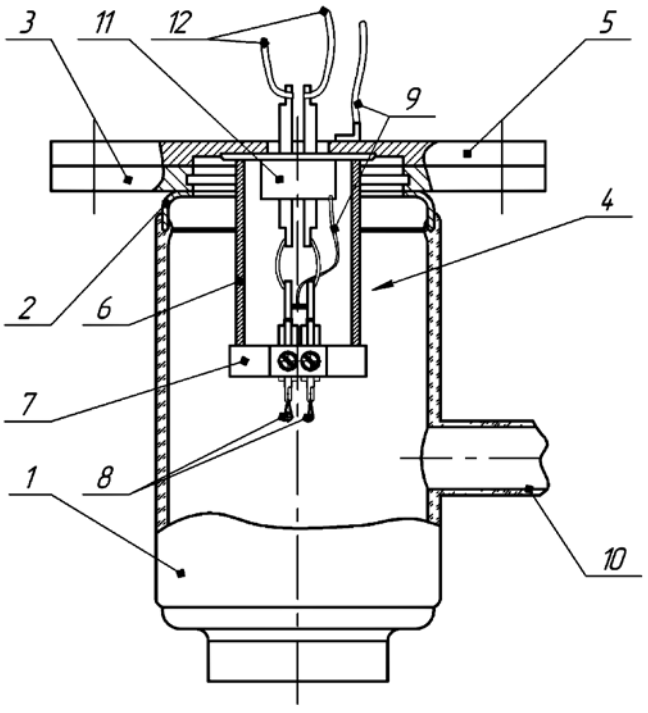

Рис. 2. Макет для определения ресурса спиралей: 1 – стеклянный баллон; 2 – основание; 3 – фланцевое соединение; 4 – катодная часть; 5 – дно; 6 – проставочный элемент; 7 – держатель; 8 – спиральные эмиттеры; 9 – общий заземленный вывод; 10 – откачная трубка; 11 – гермоввод; 12 – шины

По достижении разрежения в объеме стеклянного баллона, соответствующего рабочему давлению рентгеновской трубки, откачная трубка 10 герметично отпаивается. На эмиттеры через гермоввод 11 по шинам 12 подается ток фиксированного значения от источника питания постоянного тока «Mastech HY3010E».

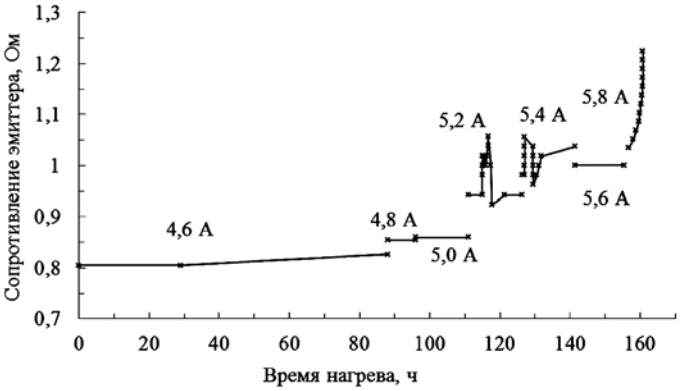

Рис. 3. Зависимость электрического сопротивления вольфрамового спирального эмиттера с диаметром проволоки 220 мкм при различных значениях тока накала

Ток накала выбирался из ряда паспортных значений. Испытание на ресурс проводилось в два этапа. На первом этапе время подачи тока накала определялось из условия безотказной работы эмиттеров в течение не менее 30 тыс. включений (около 60 ч) при величине тока накала, соответствующего предельному значению анодного тока. Чтобы удовлетворить требованию обеспечения запаса ресурса эмиттеров, они дополнительно работали в течение половины назначенного ресурса (около 30 ч) при тех же значениях тока накала.

Второй этап состоял из последовательного повышения тока накала от предельного значения с выдержкой в течение нескольких часов на каждом режиме. Испытания проводились до момента перегорания эмиттеров.

На *рис. 3* представлена экспериментально полученная зависимость электрического сопротивления одного из исследуемых эмиттеров с сечением проволоки 220 мкм и максимальным рабочим током накала 4,6 А от времени нагрева для различных токов накала. Во время работы эмиттеров по показаниям источника питания постоянного тока фиксировались значения напряжения. Полученные данные легли в основу расчетов электрических сопротивлений.

Согласно условиям проведения первого этапа эксперимента, все образцы эмиттеров отработали назначенный ресурс (около 60 ч) и запас по ресурсу (около 30 ч) с незначительным увеличением электрического сопротивления (около 1 %).

Анализ графика на *рис. 3* показывает, что на втором этапе эксперимента, при поднятии тока накала эмиттера с максимального рабочего значения 4,6 А до 5,2 А, через 2 ч были зафиксированы забросы напряжения накала. Это связано с частичным разрушением витков эмиттера и возникновением межвитковых замыканий. При этом увеличение электрического сопротивления образца эмиттера составило около 18 %, что хорошо согласуется с расчетами.

При дальнейшем нагреве эмиттера на повышенных значениях накального тока наблюдалось неконтролируемое изменение электрического сопротивления по причине изменения геометрии эмиттера.

Для оценки влияния материала на ресурс эмиттера испытания проводились для двух марок вольфрама типа ВА и ВР5 с диаметрами проволок 300 мкм (*рис. 4*). Про-

волока марки ВР5 имеет присадку рения, что повышает ее пластичность в отожженном состоянии и допускает холодную навивку спиралей эмиттеров.

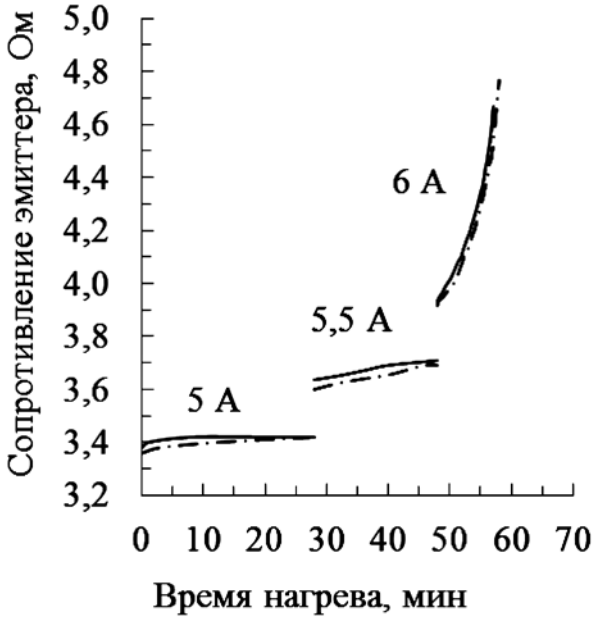

Рис. 4. Зависимость электрического сопротивления от суммарного времени нагрева для эмиттеров, изготовленных из вольфрамовой проволоки марок ВА и ВР5 диаметром 300 мкм при различных значениях тока накала

Из представленного графика видно, что построенные зависимости обладают схожим характером.

В результате выполненной работы была определена методика оценки ресурса прямонакальных вольфрамовых эмиттеров рентгеновских трубок, а также установлена граница их работоспособности, соответствующая изменению электрического сопротивления на 20 % от первоначального значения. Установлено, что вольфрамовая нить марки ВР5 с присадкой рения не дает существенного увеличения ресурса эмиттера, что, в силу стоимостных характеристик, делает ее применение в качестве материала эмиттера рентгеновской трубки нецелесообразным.

Список литературы:

1. *Андреева Р.Т., Ипатова С.И., Розинова Н.С., Соколова М.И., Теймер А.Д.* Свойства и применение металлов и сплавов для электровакуумных приборов. Справочное пособие / Под общей ред. Р.А. Нилендера. – М., 1973. 336 с.
2. *Шикова Т.Г.* Технология и оборудование производства изделий электронной техники. Уч. пособие для практических занятий и самостоятельной работы студентов. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2003. 68 с.
3. *Башенко В.В.* Электронно-лучевые установки. – Л., 1972. 168 с.

Дмитрий Игоревич Карюгин,
инженер,
Василий Николаевич Столяров,
инженер,
Иван Николаевич Столяров,
инженер,
ЗАО «РЕНТГЕНПРОМ»,
г. Москва,
e-mail: mailbox.08@mail.ru

М.А. Карягин

Состояние и перспективы развития методов и средств неинвазивного измерения напряжения на рентгеновских трубках

Аннотация

Статья посвящена обсуждению проблемы измерения анодного напряжения на рентгенодиагностических аппаратах радиационными методами. Проанализировано состояние отечественного парка неинвазивных киловольтметров, зарегистрированных в Государственном реестре средств измерений. Рассмотрены работы российских исследователей, занимавшихся проблемой неинвазивного измерения анодного напряжения. Выявлены ограничения и недостатки известных методов измерения.

Требования СанПин 2.6.1. 1192-03 [1] предписывают контролировать ряд параметров рентгенодиагностических аппаратов, одним из которых является напряжение на рентгеновской трубке. В условиях лечебно-профилактических учреждений измерение анодного напряжения контактным методом практически невозможно вследствие труднодоступности высоковольтных цепей аппарата и сложности подключения измерительного оборудования, поэтому для контроля анодного напряжения используются радиационные киловольтметры. Требования к радиационным измерителям анодного напряжения представлены в стандарте МЭК 61676 [2]. Контроль радиационных параметров РДА осуществляют организации, имеющие лицензии на этот вид деятельности. Необходимым условием лицензирования измерительных лабораторий является наличие специализированного оборудования, допущенного к использованию в РФ. Однако номенклатура средств измерений радиационных параметров, внесенных в Государственный реестр средств измерений РФ (далее – Госреестр), ограничена и не полностью отвечает современным требованиям.

В феврале 2013 года в Госреестр занесены универсальные дозиметры для контроля параметров рентгеновских аппаратов производства «RTI Electroniks AB» (Швеция), такие как «RTI Piranha» и «RTI Cobia Smart R/F». Приборы серии «RTI Piranha» осуществляют измерения всего спектра параметров, представленных в *табл. 1*. Результаты отображаются на ПЭВМ с помощью программного обеспечения Ocean, позволяющего одновременно наблюдать за всеми результатами измерений и легко экспортировать их в Exel. Связь дозиметра с ПЭВМ организуется либо с помощью Bluetooth, либо посредством USB-кабеля [3].

«RTI Cobia Smart R/F» – простой прибор для контро-