

каз от отсеивающих растров обоснован лишь в тех случаях, когда фактор накопления  $\beta_0$  незначителен, что имеет место при снимках конечностей, суставов и у малолетних детей.

При снимках без раstra цифровая панель детекторов должна извлекаться из кассетодержателя и устанавливаться на стол для пациента или на панель стойки снимков. Данная операция не всегда удобна и требует дополнительного времени. Поэтому предлагается вариант, когда растр выводится из рабочего пучка рентгеновского излучения и при этом цифровая панель перемещается на освободившееся от раstra пространство. При таком варианте уменьшается геометрическая нерезкость изображения объекта, снижается дозовая нагрузка на пациента и облегчается работа рентгенолога при использовании безрастровой рентгенографии с применением в качестве детектора излучения плоской полноформатной панели полупроводниковых детекторов.

*Список литературы:*

1. ГОСТ Р МЭК 61223-3-1-2001 Оценка и контроль эксплуатационных параметров рентгеновской аппаратуры в отделениях (кабинетах) рентгенодиагностики.

2. Рентгентехника / Справочник под общей редакцией В.В. Клоева, глава 7 «Штативы рентгеновской аппаратуры», с. 318-410; глава 8 «Вспомогательные устройства рентгеновской аппаратуры», с. 411-478. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1992.
3. Владимирова Л.В., Владимирова Ю.Л., Козлов А.А. Радиационные методы контроля параметров рентгенодиагностических аппаратов // Медицинская техника. 2007. № 5.

*Лев Владимирович Владимиров,*  
*д-р техн. наук, зав. сектором,*  
*Юрий Львович Владимиров,*  
*канд. эконом. наук, доцент,*  
*Александр Александрович Козлов,*  
*ст. научный сотрудник,*  
*ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр»,*  
*г. Москва,*  
*e-mail: spectr-ap@ipc.ru*

---

*И.Н. Столяров*

## **УМЕНЬШЕНИЕ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДШИПНИКОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ**

### **Аннотация**

Статья посвящена методам снижения рабочей температуры подшипников рентгеновских трубок. Приведены результаты анализа экспериментальных данных по влиянию выбранных конструктивных и технологических факторов на термическое сопротивление тепловому потоку от анода к подшипникам применительно к наиболее распространенным конструкциям РТ.

Одним из обязательных требований к рентгеновской трубке с вращающимся анодом является стабильность работы узла вращения. Условия эксплуатации рентгеновской трубки (РТ) определяют рабочую температуру подшипников. Преобладающими механизмами теплопередачи для работающего вакуумного прибора являются теплопроводность и излучение.

Мнения специалистов при оценке вклада различных механизмов теплопередачи в распространение тепла в РТ расходятся [1], [2]. Существенный вклад в передачу тепла узлу вращения вносит та часть лучистого потока от нагретого анода, которая проецируется на медный цилиндр ротора. Поток тепла, передаваемый теплопроводностью от анода к подшипникам, проходит через поверхности фланцевых соединений, которые являются естественными тепловыми барьерами в силу разнородности контактирующих материалов и шероховатости площадок.

В ранее выполненных работах на данную тему [3] были исследованы зависимости контактного

термического сопротивления от таких параметров, как шероховатость поверхности, усилие прижатия контактирующих поверхностей, а также от наличия разделяющей оксидной пленки. По утверждению авторов, в условиях вакуума, при наличии разделяющей оксидной пленки между контактирующими поверхностями, величина термического сопротивления возрастает в 1,5-2 раза по сравнению с неокисленными поверхностями.

Усилия прижатия контактирующих поверхностей и их микрогеометрия для деталей РТ назначаются конструктивно, чтобы обеспечить механическую точность и надежность работы узла вращения. Поэтому зависимость термического сопротивления от этих параметров в данной работе не рассматривалась.

Целью настоящего исследования являлась экспериментальная проверка влияния выбранных конструктивных и технологических факторов на термическое сопротивление тепловому потоку от анода к подшипникам применительно к наиболее распространенным конструкциям РТ.

При выборе методики проведения экспериментов рассматривалась возможность использования отпаянной РТ. Однако в этом случае появляется ряд проблем, связанных с невозможностью точного определения температуры. С целью проведения экспериментов был изготовлен макет РТ (рис. 1) со встроенным нагревателем, позволяющим производить нагрев шейки ротора в вакууме. Температура измерялась в двух точках хромель-алюмелевой термопарой: в месте посадки внутреннего кольца подшипника на вал ротора (термопара № 1) и анодного диска на шейку съемного ротора (термопара № 2). Скорость нагрева задавалась программно от источника питания. Максимальная температура нагрева шейки ротора не превышала  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что было связано с условиями проведения экспериментов.

В качестве контрольной конструкции применяли стандартный ротор РТ, образец 1 (рис. 2). Относительно контрольной конструкции вносились конструктивные изменения, влияющие на значение температуры вала в месте установки подшипника. Оценка влияния того или иного фактора определялась путем сравнения температур вала в месте посадки подшипника для исследуемого и контрольного образцов. Измерения производились в установившемся режиме нагрева образца и фиксированной электрической мощности нагревателя. Для регулирования мощности нагревателя использовалась термопара № 1, подключенная к источнику электропитания «Термолюкс-010».

В работе также было определено влияние остаточного давления в откачиваемом приборе на условия теплопередачи. С этой целью были произведены два измерения на контрольном образце при давлениях  $4 \cdot 10^{-2}$  и  $4 \cdot 10^{-4}$  Па. Измерение давления производилось при помощи манометрического датчика ПММ-32-1. Данные измерений показали расхождения в значениях температур для двух давлений в пределах  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Все последующие эксперименты выполнялись при остаточном давлении  $4 \cdot 10^{-2}$  Па.

В ходе экспериментов было установлено, что наличие на контактных поверхностях оксидной пленки толщиной до  $400\text{ \AA}$  не оказывает существенного влияния на механизм теплопередачи. Дальнейшее увеличение толщины оксидной пленки было сочтено нецелесообразным по указанным выше причинам.

Для определения влияния различных конструктивных факторов на теплопередачу были исследованы 11 образцов узла вращения (табл. 1).

По результатам выполненных работ были построены графики зависимости температуры вала различных образцов в месте установки подшипника от времени (рис. 3). Из представленных данных видно, что существенный вклад в тепловой поток от анода к подшипникам вносит излучение нагретой части ротора (образцы № 5-11). Установка отражающего экрана позволила снизить температуру подшипника на  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Дополнительное снижение температу-

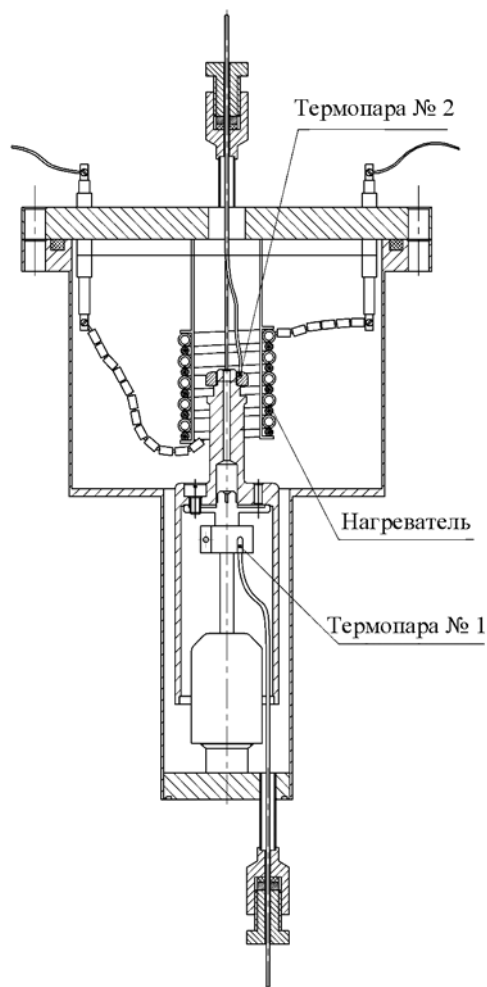


Рис. 1. Макет РТ

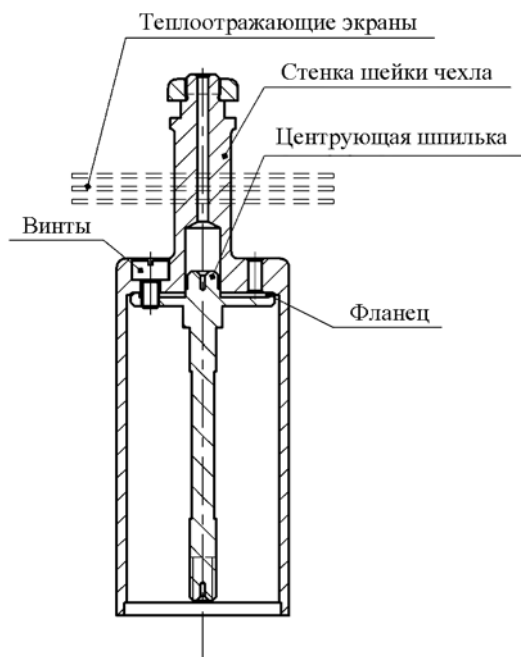


Рис. 2. Стандартный ротор РТ

### Влияние исследуемого конструктивного фактора на снижение температуры подшипника рентгеновской трубки

| Номер образца | Описание образца  | Особенности теплопередачи   | Разница температуры исследуемого образца по отношению к контрольному, $T$ , °C |
|---------------|---|---|--|
| 1             | Контрольный вал   | –   | –  |
| 2             | Контрольный вал без центрирующей шпильки  | Ограничена площадь контакта   | 9  |
| 3             | Контрольный вал без центрирующей шпильки с керамической проставкой  | Теплопроводность через винты  | 16   |
| 4             | Вал с сегментированным фланцем и центрирующей шпилькой  | Ограничена площадь контакта фланца  | 14   |
| 5             | Контрольный вал с центрирующей шпилькой, теплоотражающие экраны   | Ограничена теплопередача излучением                                       | 41   |
| 6             | Контрольный вал без центральной шпильки с керамической проставкой, теплоотражающие экраны                   | Теплопроводность через винты, ограничена теплопередача излучением         | 39   |
| 7             | Контрольный вал с центрирующей шпилькой, теплоотражающие экраны, черненный чехол                            | Ограничена теплопередача излучением                                       | 48   |
| 8             | Контрольный вал с центрирующей шпилькой, теплоотражающие экраны, утоненная стенка шейки чехла               | Ограничена теплопередача излучением и теплопроводностью через шейку чехла | 47   |
| 9             | Контрольный вал с центрирующей шпилькой, теплоотражающие экраны, чехол с керамическими втулками под винтами | Исключена передача тепла через винты, ограничена теплопередача излучением | 44   |
| 10            | Вал с нержавеющей проставкой, теплоотражающие экраны  | Увеличено термосопротивление, ограничена теплопередача излучением         | 53   |
| 11            | Вал с нержавеющей проставкой, теплоотражающие экраны, утоненная стенка шейки чехла                          | Увеличено термосопротивление, ограничена теплопередача излучением         | 59   |

ры подшипника на 18 °C (образец № 11) было достигнуто использованием тонкостенной нержавеющей втулки между контактирующими фланцами.

- уменьшение толщины теплопередающей стенки шейки ротора до минимального значения, обеспечивающего механическую прочность вала.

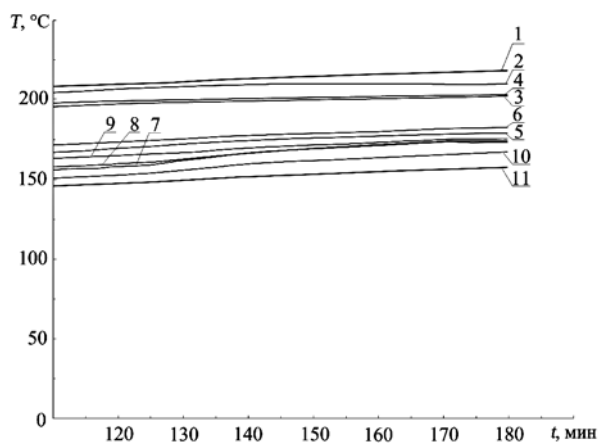


Рис. 3. Зависимость температуры подшипника от времени для различных конструкций подшипникового узла (установившийся режим)

Таким образом, по результатам выполненных исследований можно предложить следующие рекомендации, направленные на снижение рабочей температуры подшипников рентгеновской трубки:

- использование теплоотражающих экранов между анодом и медным ротором;
- введение в конструкцию вала дополнительного тонкостенного элемента из материала с низкой теплопроводностью (рис. 4), например нержавеющая аустенитная сталь 12Х18Н10Т или титан;



Рис. 4. Вал с дополнительным элементом

#### Список литературы:

1. [www.philips.com](http://www.philips.com).
2. Rastello P. GCO-Buc. Rev 02 – 30/09/2001 Global Tube Engineering.
3. Попов В.М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. – М., 1971. 216 с.

Иван Николаевич Столяров,  
инженер,  
ЗАО «Рентгенпром»,  
г. Москва,  
e-mail: [ivan.n88@mail.ru](mailto:ivan.n88@mail.ru)