

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ НА ЮСТИРОВКУ ДИФРАКТОМЕТРА

© 2022 г. Р. Ф. Альмухаметов<sup>а,\*</sup>, А. Д. Давлетшина<sup>а</sup>, И. Т. Камалтдинов<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Башкирский государственный университет  
Россия, 450076, Уфа, ул. Заки Валиди, 32

\*e-mail: rfalmukhametov@mail.ru

Поступила в редакцию 01.09.2021 г.

После доработки 15.09.2021 г.

Принята к публикации 17.09.2021 г.

Исследовано влияние мощности, подводимой к рентгеновской трубке, и интенсивности охлаждения анода на юстировку дифрактометра. Показано, что при изменении подводимой к трубке мощности и интенсивности охлаждения температура анода заметно меняется. При этом из-за термического расширения анода меняется и направление первичного луча, что приводит к нарушению юстировки дифрактометра.

DOI: 10.31857/S0032816222010141

Рентгеновские дифрактометры широко применяются для прецизионного определения параметров кристаллической решетки при изучении структурных и фазовых превращений, для определения границы растворимости в твердых растворах, а также упругих напряжений в материалах [1]. Знание и учет погрешностей измерений при этих исследованиях являются важной задачей. Основные источники систематических погрешностей измерения различными методами изучены достаточно хорошо и могут быть в большинстве случаев учтены [2]. Однако неконтролируемые погрешности, связанные с режимом работы рентгеновской трубки, в литературе не нашли достаточного отражения. Авторам удалось найти только одну работу, посвященную изучению смещения фокуса рентгеновской трубки в процессе работы аппарата для дефектоскопии РАП 300-5Д [3, 4]. Поскольку при изменении режима работы рентгеновской трубки юстировка дифрактометра может меняться неконтролируемым образом, тема исследования представляется актуальной.

В данной работе исследования проводились на дифрактометре ДРОН-7 (ОАО НПП “Буревестник”) с трубкой типа БСВ 27 с кобальтовым анодом (АО “Светлана-Рентген”). Для ограничения вертикальной расходимости пучка использовали щели Соллера 1.5'. Для ограничения горизонтальных размеров пучка перед счетчиком и на выходе трубки применяли щели размером 0.05 мм. Анод рентгеновской трубки охлаждали проточной водопроводной водой. Температуру воды измеряли с помощью ртутного термометра с точностью

$\pm 0.1^\circ\text{C}$ . Регистрацию рентгеновских лучей осуществляли сцинтиляционным блоком детектирования БДС-25. Для защиты счетчика от перегрузки использовали алюминиевые фольги разной толщины. Режим работы рентгеновской трубки варьировали путем изменения подводимой мощности и регулировки объема охлаждающей жидкости за единицу времени.

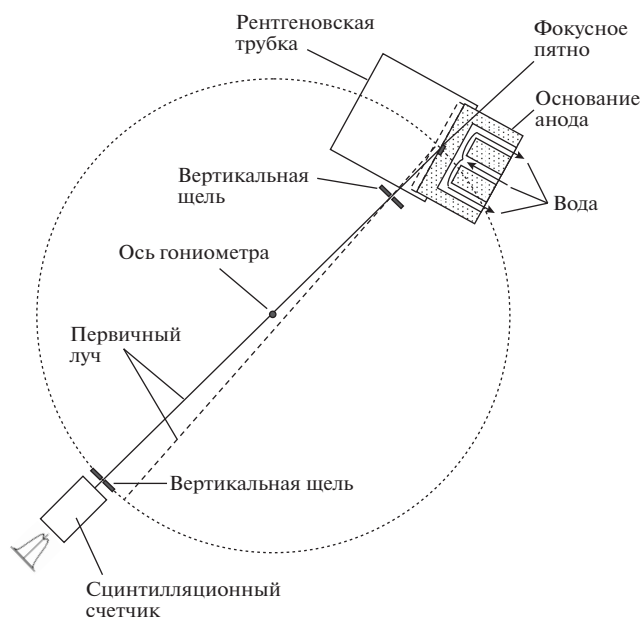
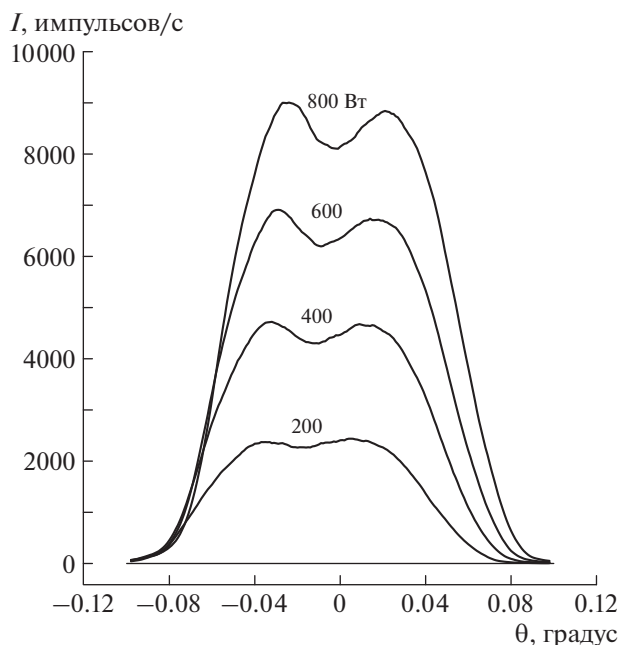


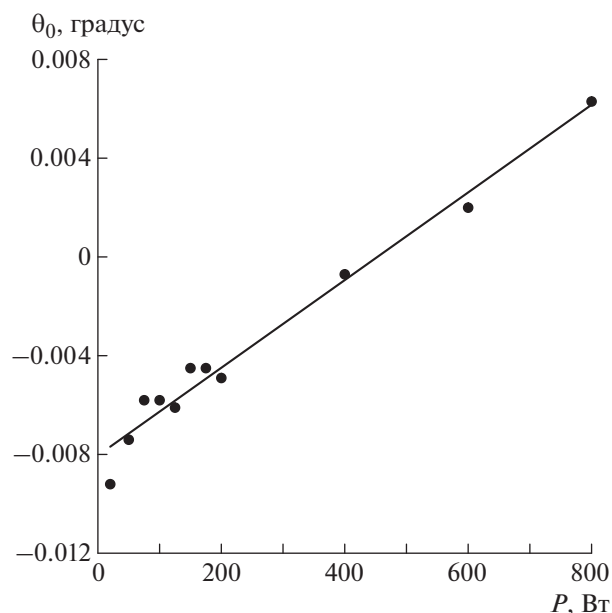
Рис. 1. Схема экспериментальной установки.



**Рис. 2.** Зависимости интенсивности первичного луча трубки от направления его распространения при разной подводимой к трубке мощности (цифры у кривых).

Для юстированного дифрактометра проекция фокуса рентгеновской трубки, центр выходной щели, ось гониометра и середина приемной щели счетчика лежат на одной линии, перпендикулярной оси гониометра [5] (рис. 1). Поскольку к.п.д. рентгеновской трубки составляет всего ~1%, в ходе работы анод сильно нагревается. В результате теплового расширения зеркало анода должно сместиться в сторону катода, что будет сопровождаться изменением направления первичного луча (см. рис. 1, штриховая линия) и нарушением юстировки дифрактометра. В работах [3, 4] авторы пришли к заключению, что причиной смещения фокуса рентгеновской трубки аппарата РАП 300-5Д является тепловое расширение анода. Нам не удалось найти другие работы с результатами систематических исследований влияния температурного режима рентгеновской трубки на юстировку дифрактометра.

В данной работе для определения углового положения первичного луча мы изучали его профиль. Кривые снимали с шагом сканирования счетчика  $0.001^\circ$ , время набора импульсов в каждой точке составляло 3 с. На рис. 2 приведены профили первичного луча при разных значениях подведенной к трубке мощности. Видно, что кривые имеют два горба. Такой вид кривых, по нашему мнению, обусловлен спиральной структурой катода рентгеновской трубки. Кроме того, кривые имеют слегка асимметричный вид: спад кривых  $I(\theta)$  со стороны положительных углов  $\theta$  имеет более пологий характер, чем со стороны отрица-

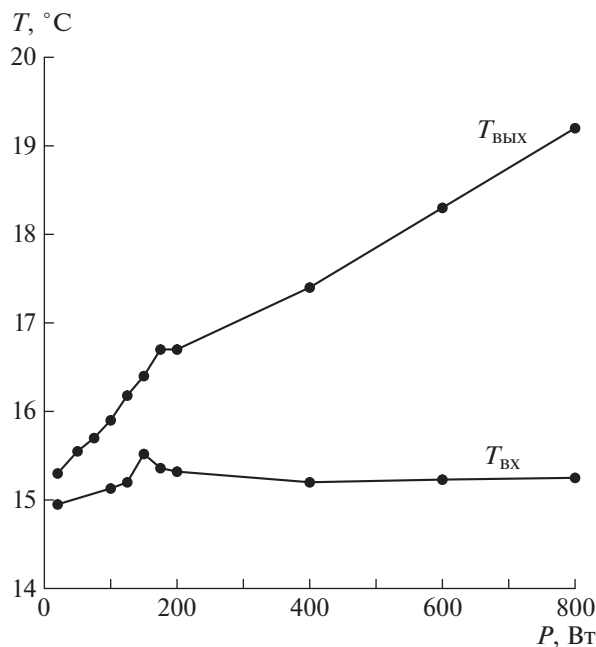


**Рис. 3.** Зависимость углового положения первичного луча от мощности, подводимой к трубке.

тельных углов  $\theta$ . С увеличением угла поворота первичного луча в область положительных значений  $\theta$  угол выхода луча относительно поверхности анода уменьшается, что сопровождается ростом поглощения первичных лучей материалом анода. Поэтому асимметричный вид кривых  $I(\theta)$  на рис. 2 мы связываем с этим фактором. Изменением угла отбора и перемещением рентгеновской трубки вдоль оси не удалось получить абсолютно симметричные профили первичного пучка.

Следует также отметить, что, согласно рис. 2, с уменьшением мощности, подводимой к трубе, первичный луч поворачивается в сторону отрицательных углов. Угловое смещение первичного луча при изменении подводимой к трубке мощности, по нашему мнению, может быть связано с термическим расширением анода. При постоянной скорости охлаждения с увеличением подводимой мощности температура анода будет расти, что должно сопровождаться термическим расширением анода в направлении катода, отклонением первичного луча от оси гониометра и поворотом в направлении положительных углов  $\theta$  (см. рис. 1).

Угловое положение первичного пучка в данной работе определяли по центру тяжести кривых  $I(\theta)$ . С этой целью кривые  $I(\theta)$  аппроксимировали трапециями. На рис. 3 приведена зависимость углового положения  $\theta_0$  первичного луча от мощности, подводимой к трубке. Видно, что угол  $\theta_0$  с увеличением мощности растет в направлении положительных значений, и эта зависимость хорошо описывается линейной функцией. Эти ре-

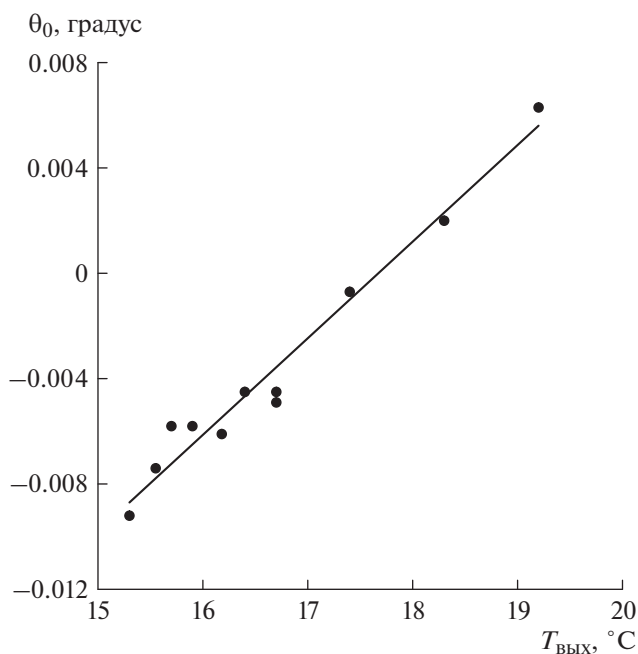


**Рис. 4.** Зависимости температуры охлаждающей воды на выходе  $T_{\text{вых}}$  и входе  $T_{\text{вх}}$  трубки от мощности, подводимой к трубке.

зультаты подтверждают наши выводы о том, что причиной смещения первичного луча является термическое расширение анода.

Для подтверждения полученных результатов мы изучили изменение температуры анода трубки в зависимости от подводимой мощности. Поскольку анод нагревается неравномерно, для контроля эффективной температуры анода мы использовали температуру охлаждающей воды на выходе трубки. При проведении исследований расход охлаждающей воды составил 3000 мл/мин и температура воды не превышала 20°C, что соответствовало требованиям предприятия-изготовителя [6].

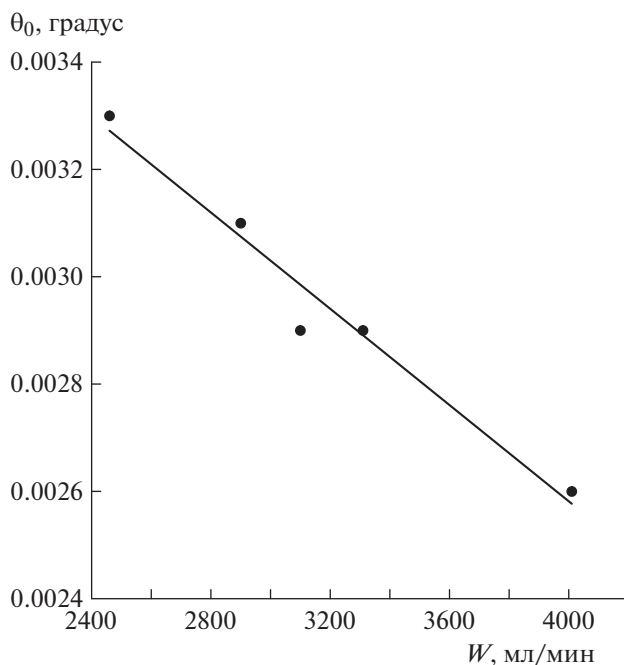
Результаты наших исследований показали, что с увеличением подводимой мощности температура воды на выходе трубки, действительно, заметно повышалась (рис. 4). Это указывает на повышение эффективной температуры анода. Кроме того, как свидетельствуют результаты наших измерений, температура охлаждающей воды на входе в трубку также подвержена заметным колебаниям в силу различных, не всегда контролируемых факторов. Это должно, в свою очередь, также влиять на температуру анода. Поэтому для наглядности на рис. 4 приведены значения температуры охлаждающей воды на входе в трубку ( $T_{\text{вх}}$ ), измеренные одновременно с температурой воды на выходе из трубки ( $T_{\text{вых}}$ ). Приведенные результаты демонстрируют, что на температуру анода значительное влияние оказывают как температу-



**Рис. 5.** Зависимость углового положения первичного луча от температуры воды на выходе трубки.

ра охлаждающей воды на входе в трубку, так и подводимая мощность.

На рис. 5 приведена зависимость углового положения первичного луча от температуры воды на выходе рентгеновской трубки. Согласно ри-



**Рис. 6.** Зависимость углового положения первичного луча от объема охлаждающей воды за 1 мин.

сунку, при изменении температуры охлаждающей воды на  $4^{\circ}\text{C}$  положение первичного луча смещается на  $0.018^{\circ}$ . Таким образом, неконтролируемое изменение температуры охлаждающей воды может вызвать значительную погрешность измерения угла дифракции, что должно быть принято во внимание при проведении прецизионных измерений.

При постоянной подводимой к аноду мощности температура анода должна падать с увеличением интенсивности охлаждения. Это должно сопровождаться поворотом первичного луча в направлении отрицательных углов  $\theta_0$ . Действительно, согласно рис. 6, угол отклонения  $\theta_0$  первичного луча уменьшается с увеличением объема охлаждающей воды за единицу времени.

Таким образом, по результатам проведенных исследований мы установили, что режим работы рентгеновской трубки оказывает существенное

влияние на юстировку дифрактометра. Это влияние обусловлено изменением температуры анода рентгеновской трубки и его термическим расширением.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Русаков А.А.* Рентгенография металлов. М.: Атомиздат, 1977.
2. *Хейкер Д.М., Зевин Л.С.* Рентгеновская дифрактометрия. М.: Физматгиз, 1963.
3. *Штейн А.М.* // Дефектоскопия. 2012. № 6. С. 70.
4. *Stein A.M.* // Russ. J. Nondestruct. Test. 2012. № 6. P. 378.  
<https://doi.org/10.1134/S1061830912060071>
5. Дифрактометр рентгеновский ДРОН-7. Руководство по эксплуатации. СПб.: НПП Буревестник, 2006.
6. Трубки рентгеновские БСВ-27. Инструкция по эксплуатации. ЗАО "Светлана-Рентген". СПб., 2011.