

РАСЧЕТНОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ В РЕКОНСТРУКТИВНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

DESIGN AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF RECOVERY METHODS IN RECONSTRUCTIVE X-RAY TOMOGRAPHY

А. А. Агапов, А. В. Баландин, Е. И. Валекжанина, А. А. Городнов, С. А. Картанов, О. В. Орешков, В. И. Потанин, С. В. Потанов, М. В. Таценко

A. A. Agapov, A. V. Balandin, E. I. Valekzhanina, A. A. Gordonov, S. A. Kartanov, O. V. Oreshkov, V. I. Potapin, S. V. Potanov, M. V. Tatsenko

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,

пр. Мира, 37, Саров, Нижегородская область, 607188, Россия

Federal Nuclear Center of Russia – All-Russia Research Institute of Experimental Physics

В отличие от медицинской томографии в промышленности не существует универсальных стандартизированных томографических систем. При этом количество томографических установок, предназначенных для контроля качества промышленных изделий, увеличивается. Также расширяется перечень направлений, применений томографии. С целью изучения возможностей алгоритмов реконструктивной томографии были рассмотрены интернет-доступные программные продукты, предназначенные для восстановления 3D-модели объекта исследования по набору проекционных данных и авторское программное обеспечение.

As differentiated from medical tomography universal standardized tomographic systems are not available in industry. Moreover, the number of tomographic facilities aimed at monitoring the quality of manufactured articles increases. The list of tomography application areas is also becoming wider. In order to study the possibilities of reconstructive tomography algorithms there were considered Internet-available software products designed to recover 3D models of the object under investigation basing on a set of projection data and author's software.

В работе выполнено расчетное моделирование проекционных данных, реконструкция 3D-модели и проведен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных.

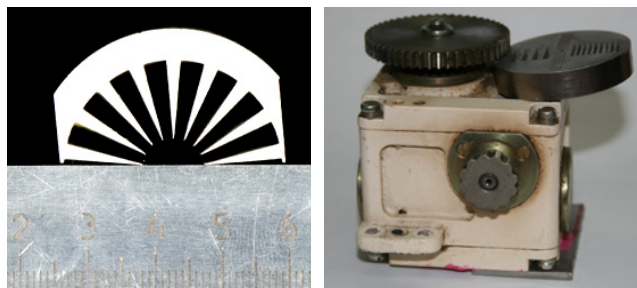
Восстановление 3D-модели объекта проводилось открытым программным обеспечением (далее по тексту – ПО) OSCaR [1] и ПО, разработанным в РФЯЦ-ВНИИЭФ (ПО DIA [2]).

ПО OSCaR это пакет программ для 3D реконструкции проекционных данных полученных при конусном пучке рентгеновского излучения. Восстановление основано на алгоритме Feldkamp-Davis-Kress (FDK) [3].

ПО DIA основано на итерационном алгоритме последовательных приближений, в котором в качестве меры близости изображений используется квадратичная невязка. Данный алгоритм допускает любое пространственное расположение лучей просвечивания (в том числе и непланарное), и позволяет работать как с конусными, так и с параллельными пучками. Программу можно запускать

как в параллельном, так и в последовательном режиме.

С целью исследования методов восстановления 3D-модели и сравнения результатов реконструкции экспериментально получены рентгенограммы различных объектов (см. рис. 1).



Алюминиевая мира Редуктор со стальной мирой

Рис. 1. Фотографии тестовых объектов

Для получения рентгенограмм алюминиевой мины в качестве источника рентгеновского излу-

чения применялся рентгеновский аппарат PHILIPS MCN 250, а в качестве регистратора теневого рентгеновского изображения использовался линейный детектор SEZ T3-160 фирмы NTB. Получено 180 проекций с шагом 2° в веерной геометрии.

Для получения рентгенограмм редуктора применялся линейный ускоритель ЛУ-8-2 с системой регистрации. Система регистрации состояла из сцинтилляционного матричного конвертера (материал конвертера LSO), поворотного тонкопленочного зеркала и ПЗС-камеры (2048x2048 пикселей) с объективом (Canon EF 50mm/f1.2L). Получено 36 проекций с шагом 5° в конусной геометрии.

Время реконструкция 3D-модели алюминиевой миры по 180 проекциям в ПО OSCaR зависит от числа вокселей в 3D-модели объекта, количества рентгенографических сечений и производительности ПК. Для восстановления алюминиевой миры (18·10⁶ вокселей) на настольном ПК с процессором i-7 потребовалось 9 мин. При частичном использовании исходных данных, 45 проекций с шагом 4° (половина оборота объекта) затраченное на восстановление время 35 секунд. На рис. 2 показан результат восстановления сечения миры ПО OSCaR при использовании 45 проекций.

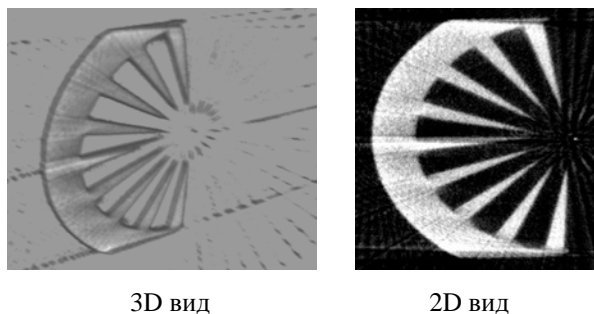
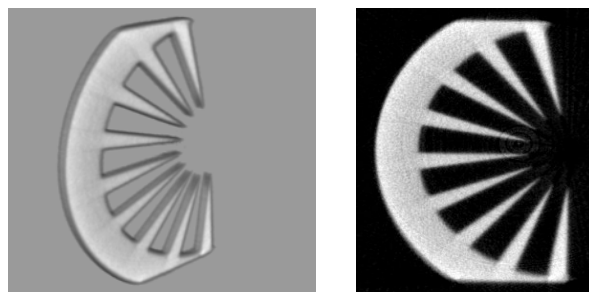


Рис. 2. Восстановленное сечение алюминиевой миры по 45 проекциям (ПО OSCaR)

Наличие явно заметных артефактов на восстановленной 3D-модели, показывает, что алгоритм восстановления FDK плохо подходит для малоракурсной томографии.

На рис. 3 показан результат восстановления сечения миры ПО OSCaR при использовании всех полученных проекций (180 с шагом 2°).

Количество артефактов заметно сократилось. Границы объекта восстановились с высокой точностью. Однако материал миры восстановился зашумленным и разноплотным.

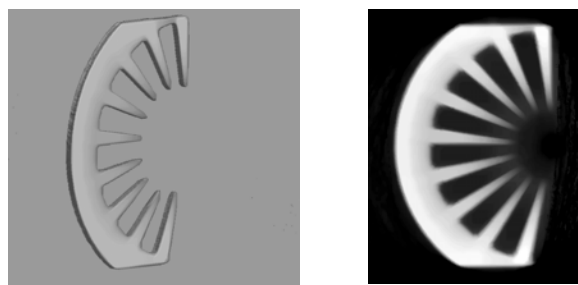


3D вид

2D вид

Рис. 3. Восстановленное сечение алюминиевой миры по 180 проекциям (ПО OSCaR)

Результаты восстановления 3D-модели алюминиевой миры ПО DIA по 180 проекциям через 2° представлены на рис. 4. Общий размер области реконструкции $1792 \times 1792 \times 20$ вокселей ($64 \cdot 10^6$ вокселей), из них количество ненулевых вокселей, которые участвовали в реконструкции, составило $1,6 \cdot 10^6$ вокселей. Время выполнения реконструкции – 39 минут.



3D вид

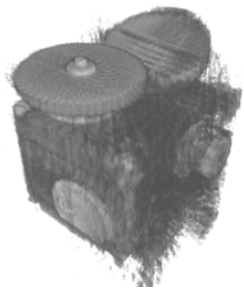
2D вид

Рис. 4. Восстановленное сечение алюминиевой миры по 180 проекциям (ПО DIA)

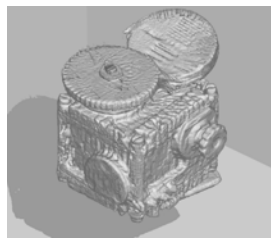
Артефакты на изображении практически отсутствуют. В области наименьших толщин элементов миры наблюдаются неточности восстановления границ. Материал миры восстановился более равномерно и имеет меньшую разноплотность чем при восстановлении алгоритмом FDK.

Для реконструкции более сложных, разноплотных объектов по малому числу ракурсов, проведен эксперимент по восстановлению 3D модели редуктора в конусной геометрии. На ускорителе ЛУ-8-2 получено 36 проекций редуктора с шагом 5° . На рис. 5 представлена восстановленная 3D-модель.

Очевидно, что оба алгоритма некорректно восстанавливают сложнопрофильный, разноплотный объект при ограниченном количестве проекций (малоракурсная томография). Как и в случае с



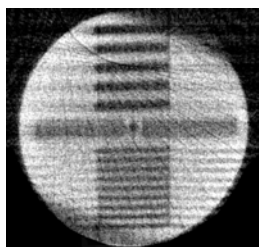
Программа OSCaR,
алгоритм FDK



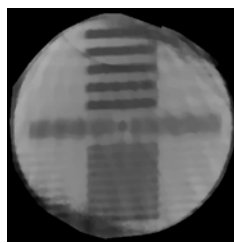
Программа DIA (ИТМФ)

Рис. 5. 3D-модель редуктора, восстановленная по 36 проекциям

На рис. 6, 7 показаны сечения восстановленного объекта.

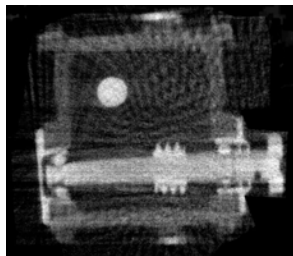


Программа OSCaR,
алгоритм FDK

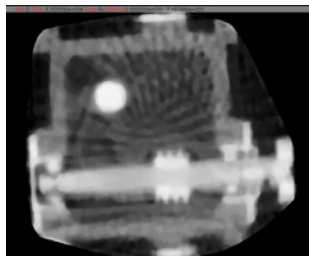


Программа DIA (ИТМФ)

Рис. 6. Сечение стальной миры в 3D-модели редуктора



Программа OSCaR,
алгоритм FDK



Программа DIA (ИТМФ)

Рис. 7. Сечение 3D-модели редуктора

Очевидно, что оба алгоритма некорректно восстанавливают сложнопрофильный, разноплотный объект при ограниченном количестве проекций (малоракурсная томография). Как и в случае с

алюминиевой мирой в веерной геометрии, в конусной геометрии с использованием алгоритма FDK лучше восстановились границы объекта, а при использовании итерационного алгоритма ПО DIA более массивные, однородные элементы редуктора восстановились менее зашумленными (разноплотными). И в том и в другом случае на изображении присутствуют заметные артефакты.

Преимущество алгоритма FDK это, прежде всего время восстановления, однако в ПО DIA существует возможность задачи априорной информации об объекте исследования, тогда значительно сократится время и увеличится точность восстановления разноплотных объектов.

Визуальное сравнение результатов имеет качественный характер и не позволяет сделать однозначных выводов о преимуществе того или иного алгоритма. По-видимому, для более детального исследования необходимо выполнить сравнение количественных характеристик различия между результатом реконструкции и математической моделью тест-объекта, таких как, например, нормированная среднеквадратичная мера различия.

Список литературы

1. An Open Source Cone-Beam CT Reconstruction Tool for Imaging Research. Nargol Rezvani, Dhavide Aruliah, Kenneth Jackson, Douglas Moseley, Jeffrey Siewerdsen. http://www.cs.toronto.edu/~nrezvani/OSCaR_TGReport_02.pdf;
2. А. В. Бессараб, С. А. Бельков, С. В. Бондаренко, А. В. Веселов, С. Г. Гаранин, Р. В. Гаранин, Н. В. Жидков, В. М. Изгородин, Н. А. Суслов, Г. В. Тачаев, О. В. Орешков, С. В. Потапов;
3. Н. В. Фролова. Регистрация томографического изображения мишени при ее прямом облучении в эксперименте на йодной лазерной установке «Искра-5» // «Квантовая электроника», 2010 г., том 40, выпуск 11. – С. 1041–1044
4. Practical cone-beam algorithm. L. A. Feldkamp, L. C. Davis, J. W. Kress. J. Opt.Soc.Am. A/Vol. 1, No. 6/June 1984.