

Рукописные индексы представляют дискретные двумерные Фурье-образы соответствующих величин, величины Φ - энергетические спектры изображения и шума, а «-» сверху означает комплексное сопряжение. Точечная функция рассеяния известна, поэтому для фильтра можно найти ее Фурье - образ.

Недостаток этого метода (Винера) в том, что кроме функции рассеяния нужно знать характеристики шума и изображения, величина и характер которых вычислены нами приближенно.

При оценке по методу наименьших квадратов знания ковариаций не требуется [1]. Эта оценка получается в результате минимизации.

Минимизация $F^T C^T C$, при условии $[H_T Fg]^T [H_T Fg] = e$.

Здесь C - обуславливающая матрица, e - величина, пропорциональная дисперсии шума, а верхний индекс T обозначает матричное транспонирование. Сохранив прежние предположения о матрице H_T и допустив, что матрица C выражается в теплицевой форме, для решения задачи можно применить дискретное преобразование Фурье. В частотном представлении решение задачи имеет вид

$$H_c(m, n) = \frac{H(m, n)}{|H(m, n)|^2 + \lambda \cdot |c(m, n)|^2}, \quad (8)$$

где λ - параметр, определяемый посредством итерации.

Эти два метода приведены только для примера решения проблемы. В связи с разнообразием методов восстановления возникает вопрос о том, как их сравнить и какой из них лучше. Качество восстановленного изображения определяют следующие факторы: отношение сигнал/шум, форма и ширина точечной функции рассеяния, корреляционные свойства изображения и шума, критерии оптимальности восстановления, а также объем и характер имеющейся априорной информации.

Если отношение сигнал/шум велико, все методы равноценны и сводятся к обратной фильтрации. Белый шум создает одинаковые трудности для всех методов. В этих условиях небольшое дополнение априорной информации об изображении - оригинале может принести значительную пользу. В наших условиях доподлинно известно, что сигнал от дефекта имеет конечные размеры.

Использованию такой дополнительной априорной информации об изображении при использовании методов частотной экстраполяции изображения с ограниченной полосой будут рассмотрены в последующих исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Пер с англ. Лебедева Д.С. Т. 1 и 2. - М.: «Мир», 1982.

УДК 620.179.152:69

Е.В. МОСКВИТИН

ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРЕХМЕРНОГО ОБЪЕКТА НА БАЗЕ МЕТОДОВ ТОМОСИНТЕЗА

Статья посвящена результатам исследования возможности томографической реконструкции трехмерного объекта по его двумерным проекциям на базе методов томосинтеза. Проиллюстрированы возможности классического алгоритма томосинтеза, а также предложен модифицированный вариант реконструкции объекта.

Несмотря на значительные успехи в применении реконструктивной томографии для решения задач неразрушающего контроля, практическое воплощение ее методов [1] требует очень сложного оборудования и весьма ощутимых вычислительных затрат.

Реализация метода обратного проецирования (томосинтеза) позволяет решать широкий круг задач радиационной интроскопии, среди которых следует выделить томографический контроль разнообразных типов объектов с относительно высоким рентгеновским контрастом, а также различные методы восстановления по неполным данным.

В основе томосинтеза лежит схема многоракурсного просвечивания, предусматривающая получение проекционных изображений объекта контроля и последующее восстановление его внутренней структуры путем решения системы интегральных проекционных уравнений. Томосинтез – это трехмерный метод, позволяющий получать послойные изображения объекта по набору его двумерных проекций [2].

Положение произвольной точки объекта контроля описывается декартовыми координатами. При этом ось z перпендикулярна плоскости регистрации и начало координат расположено на этой плоскости ($z = 0$), рис. 1.

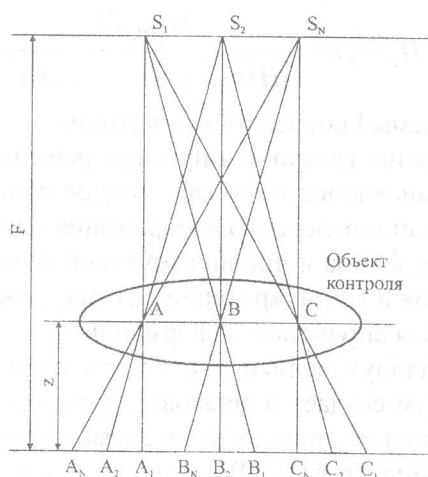


Рис. 1. Геометрия получения двумерных проекций исследуемого объекта

Объект контроля поочередно просвечивается источниками проникающего излучения S_1, S_2, S_N , расположенными в плоскости $z = F$ (F – фокусное расстояние). Глубина выделяемого сечения объекта контроля описывается величиной z ($z < F$). Положение точки в сечении с глубиной залегания z и положение n -го ($n = 1, \dots, N$) источника излучения описываются соответственно двумерными векторами $\vec{r} \equiv (x, y)$ и $\vec{r}_n \equiv (x_n, y_n)$.

Томосинтез позволяет получить приближенное решение задачи томографической реконструкции. В масштабе объекта контроля элементы изображений синтезируемых томограмм описываются функциями [2]:

$$T(\vec{r}, z) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n \left(\frac{F}{F-z} \vec{r} - \frac{z}{F-z} \vec{r}_n \right), \quad (1)$$

где P_n – интенсивности проекционных изображений.

В целях обеспечения детальных испытаний различных модификаций методов томосинтеза в НИИ интроскопии при ТПУ были разработаны алгоритмы и программное обеспечение для моделирования процессов просвечивания рентгеновскими лучами многослойного объекта [3].

Программное обеспечение позволяет получать проекции многослойного искусственного объекта (фантома). Реализована возможность варьирования следующих параметров при получении проекций:

- схема просвечивания;
- количество источников излучения;
- фокусное расстояние;
- количество информационных слоев и глубины их залегания;
- распределение плотности информационных слоев;
- закон изменения интенсивности проникающего излучения при прохождении им исследуемого объекта.

Информационное содержание отдельного слоя объекта представляет собой изображение с 256 оттенками серого цвета. Файлы с изображениями формируются при помощи любых доступных графических редакторов. На рис. 2 показан пример исходного слоя.

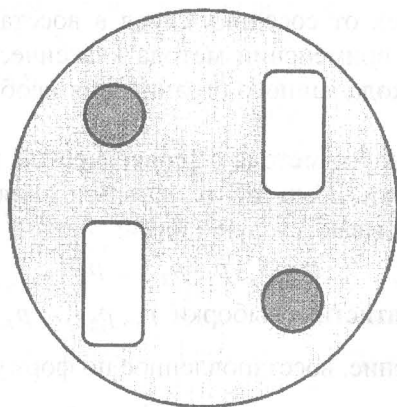


Рис. 2. Изображение одного из исходных слоев

На рис. 3 показана одна проекция из полученной последовательности. Исходные параметры следующие: фокусное расстояние – 300 мм; количество информационных слоев – 4; глубина залегания слоев – 20, 40, 60, 80 мм; число положений источника излучения – 24; радиус вращения источника – 100 мм; центр вращения источника излучения по осям X, Y – 150, 150 мм.

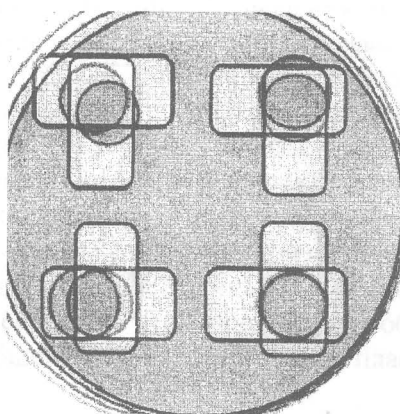


Рис. 3. Пример из последовательности проекций

На рис. 4 представлен результат восстановления информационного слоя с глубиной залегания 60 мм по классическому методу, т.е. по формуле(1).

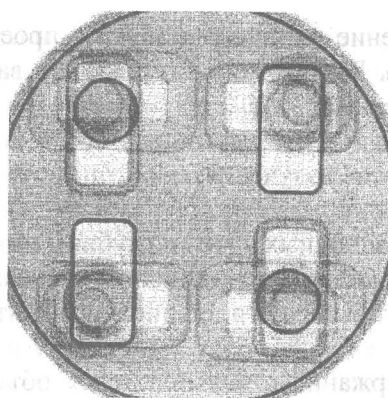


Рис. 4. Результат восстановления информационного слоя по классическому методу

На рис. 4 можно видеть значительное количество артефактов, появление которых обусловлено характерными особенностями восстановления информационных слоев по формуле (1). Наличие помех от соседних слоев в восстановленном сечении является основным ограничением в применении метода классического томосинтеза в неразрушающем контроле. Для обхода данного ограничения необходимо видоизменять способ восстановления слоев.

В качестве альтернативного метода с теоретической точки зрения, наиболее интересны порядковые статистики. В случае их использования элементы изображений синтезируемых томограмм описываются функциями:

$$T = S_k(p_1, p_2, \dots, p_N), \quad (2)$$

где S_k – k -я порядковая статистика выборки $p_1, p_2, \dots, p_N$.

На рис. 5 показано сечение, восстановленное по формуле (2) в случае $k = N/2$.

Из приведенного примера следует, что цифровой томосинтез допускает значительную вариабельность в применении основных методов. Высокая способность к адаптации алгоритма в каждом конкретном случае, а также значительное снижение вычислительных затрат, по сравнению с классической вычислительной томографией, может сделать методы цифрового томосинтеза одним из действенных средств радиационного контроля.

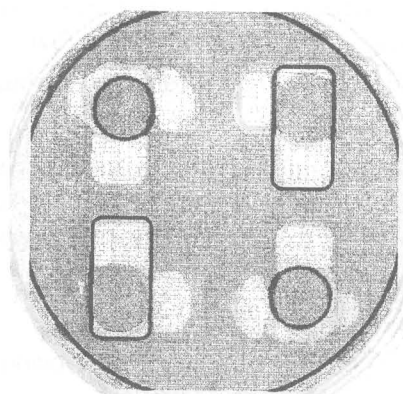


Рис. 5. Результат восстановления информационного слоя с использованием порядковых статистик

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 352 с., ил.

2. В.А. Баранов, А.С. Чекалин. Система цифрового томосинтеза для неразрушающего контроля, —Дефектоскопия, 1988. №5. С. 30-36.

3. E. V. Moskvitin. Modeling of formation of an X-ray image behind a multilayered object. — The eighth International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientist “Modern Techniques and Technology” (MTT 2002), Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2002.

УДК: 543.812:539.123

Ю.А.ВОЛЧЕНКО

РАДИОИЗОТОПНЫЙ МЕТОД ЭКСПРЕССНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КЕРНА НЕФТЕНОСНЫХ ПОРОД

Оценка запасов нефтяных месторождений производится по результатам анализа большого количества керна, поднятого из разведочных скважин. Процесс получения информации о пористости керна и массовой доли нефти в порах керна включает несколько разнородных операций: парафинирование и упаковка керна, вывоз его с разведочных скважин авиатранспортом или автотранспортом, определение водонасыщенности и нефтенасыщенности керна методом центрифугирования и экстрагирования и плотности скелета керна термогравиметрическим методом. Производительность этого анализа (1 анализ за 12 часов) не удовлетворяет нужды практики, а проводить его можно только в базовых лабораториях, расположенных далеко от разведочных скважин [1].

В то же время существуют переносные гамма-плотномеры и нейтронные влагомеры, которые успешно применяются для экспрессного определения плотности и влажности почвогрунтов, а также при геофизических исследованиях нефтяных и газовых скважин [2, 3]. Но применить их для анализа керна нефтеносных пород невозможно, так как для их правильной работы нужны объемы пород в 100 раз больше, чем объем самого керна.

Если определение плотности керна по методу «узкого пучка» гамма-излучения изотопного источника типа Цезий-137 не представляет в теоретическом и практическом плане большой сложности [3, 4], то определение общего количества нефти и пластовой воды в порах керна, а тем более определение доли нефти в общем количестве флюида с помощью гамма-излучения невозможно, хотя возможно с помощью нейтронного излучения.

Использование нейтронного излучения для решения этой задачи потребовало значительных теоретических и экспериментальных исследований. Дело в том, что с точки зрения теории переноса нейтронов керна нефтеносных пород является таким объектом контроля, геометрические размеры которого сравнимы с длиной свободного пробега нейтронов источника, что приводит к существенным математическим трудностям при построении физико-математической модели переноса нейтронов в кернах нефтеносных пород. Определение общего количества флюида в порах керна является одной из влагометрических задач, которая должна ответить на такие вопросы: какой взять источник нейтронов для данного типа детектора нейтронов, как взаимно расположить источник нейтронов, керна и детектор нейтронов, чтобы получить необходимые экспрессность и точность при определении общего количества нефти и пластовой воды в порах конкретного керна.

Для этого можно использовать разработанную автором и подробно описанную в работе [5] многогрупповую диффузионно-возрастную теорию нейтронной влагометрии проб неорганических материалов произвольного химсостава. В ней эффективность