



УДК 615.478; 616-7

ПРИМЕР ПОСТАНОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Р.И. Мелешенко, meleshenkor@ukr.net

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова

В работе описывается метод исследования металлических объектов, выбор факторов и отклика для проведения эксперимента. Постановка и проведение эксперимента.

Томография ([др.-греч.](#) τομή — сечение) — получение послойного изображения внутренней структуры объекта [2].

Электроимпедансная томография — это метод реконструкции и визуализации распределения проводимости в БО по результатам электрических измерений на его поверхности [3].

Биологический объект подвергается воздействию электрического тока: для получения томографического среза посредством ЭИТ происходит зондирование БО высокочастотным электрическим током малой амплитуды, при этом возможны варианты использования различных форм. При прохождении электрического тока через ткани БО создается разность потенциалов. За счет специального математического аппарата происходит реконструкция и визуализация распределения сопротивления тканей БО [4].

Поскольку объект исследования представляет из себя металл, то существенно упрощается методика реконструкции и визуализации распределения проводимости, так как металлы обладают хорошей токопроводимостью. Нет необходимости использовать переменные источники тока для зондирования, достаточно постоянного. Ток будет пропускаться через объект исследования парами электродов.

Так как удельное сопротивление металла постоянно, то выходной параметр тока, проходящего через объект исследования будет зависеть от длины пути его протекания через исследуемый образец. Так-как на величину тока, проходящего через исследуемый объект, непосредственно влияет расстояние пути его протекания, то основными факторами для построения модели будут геометрические параметры образца исследования и его дефекта, то есть их размер, а откликом — сумма протекающих токов для каждого варианта.

Под моделью понимается вид функции отклика:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (1)$$

где, y — отклик, x_1, x_2, \dots, x_k — факторы.

Полный факторный эксперимент — эксперимент, реализующий все возможные неповторяющиеся комбинации уровней независимых факторов [6,7]. В данном случае фактором X_1 является размер исследуемого объекта, фактором X_2 — удаленность объекта от границы фантом с электродами. В качестве отклика задаются производные напряжения проводимости.

Кодированный план геометрически возможно представить в виде куба, восемь вершин которого представляют собой 8 экспериментальных точек. Данная интерпретация представлена на рис. 1

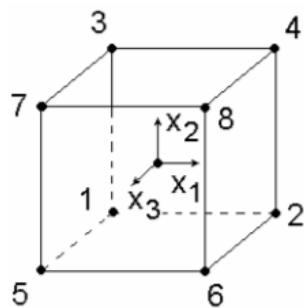


Рис. 1 - Геометрическое представление полного факторного эксперимента

Начальные значения параметров выбраны с использованием априорной информации. Задавшись ими, как начальной точкой в двухмерном факторном пространстве построим полный факторный эксперимент $2^2 = 4$. Выбор данного подхода обосновывается управляемостью процессом по каждому из выбранных факторов.

Необходимо указать интервал изменения параметров в пределах проведения эксперимента. Задание интервала варьирования позволяет достичь верхнего и нижнего пределов при прибавлении, либо вычитании из основного уровня. Значения факторов в центре плана $X1 = 12$ см., $X2 = 3,4$ см., а интервалы варьирования $h1 = 1$ см., $h2 = 0,6$ см.

Для проведения эксперимента изобразим графически объект исследования с некоторым разбросом исследуемых параметров, которыми являются диаметр образца и диаметр дефекта. На Рис. 2 изображен исследуемый образец диаметром 13 см. и размером дефекта 4 см.

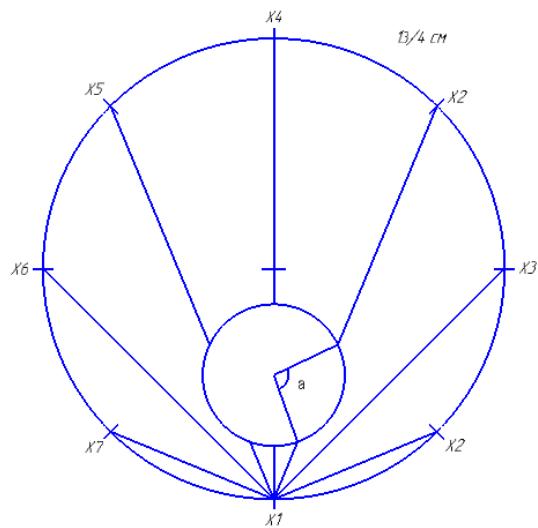


Рис. 2 Образец размером 13/4 см

$X1 \dots X8$ – места приложения к объекту исследования электродов. Измеряем с помощью линейки лучи $X1X2 \dots X1X8$. В местах пересечения лучами дефекта длину окружности (L) определим по формуле 2.2.

$$L = r^*(\alpha * 0,0174533) \quad (2.2)$$

где, α – угол (см. рис. 2.2); 0,0174533 – коэф трансформации угла α в длинну через радиан, r – радиус дефекта.

Аналогичным образом измерим длины лучей для принятых образцов размерами 11/4, 13/2,8 и 11/2,8 см. изображенных на Рис. 3

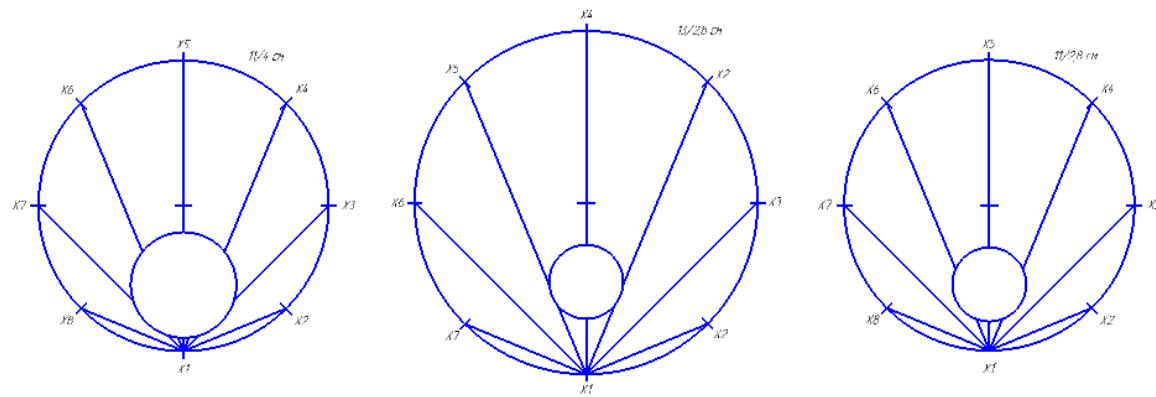


Рис. 3 Образцы размерами 11/4, 13/2,8 и 11/2,8 см.

Полученные данные сведем в таблицу 1.

Таблица 1

Луч	Длинны лучей образца 13/4см.	Длинны лучей образца 11/4см.	Длинны лучей образца 13/2,8 см.	Длинны лучей образца 11/2,8см.
X1X2	5	4,2	5	4,2
X1X3	9,2	7,94533	9,2	7,8
X1X4	12,41612	10,9586	12,38304	10,872424
X1X5	15,28318	13,28318	14,598226	12,598226
X1X6	12,41612	10,9586	12,38304	10,872424
X1X7	9,2	7,94533	9,2	7,8
X1X8	5	4,2	5	4,2

Для того, чтобы найти отклик (сумма токов для каждого образца), примем длины лучей образцов в качестве сопротивления и согласно закону ома найдем токи, а также и их суммы. Полученные данные оформим в виде таблицы 2. Напряжение питания $U_{пит}$ принимаем равным 1В.

Таблица 2

Луч	Токи для образца 13/4, А	Токи для образца 11/4, А	Токи для образца 13/2,8, А	Токи для образца 11/2,8, А
X1X2	0,2	0,2381	0,2	0,2381
X1X3	0,1087	0,1259	0,1087	0,1282
X1X4	0,0805	0,0913	0,0808	0,092
X1X5	0,0654	0,0753	0,0685	0,0794
X1X6	0,0805	0,0913	0,0808	0,092
X1X7	0,1087	0,1259	0,1087	0,1282
X1X8	0,2	0,2381	0,2	0,2381
Сумма токов:	0,8438	0,9859	0,8475	0,996



Для того, чтобы провести полный факторный эксперимент необходимо 12 значений отклика, поэтому для каждого отклика сделаем по 2 дополнительных значения которые будут оставлять $+0,3\%$.

Получение результатов эксперимента и нахождение осуществляется посредством программной среды Statistica 6, которая является интегрированной системой анализа и управления данными.

Составленная матрица для нахождения уравнения регрессии полного факторного эксперимента первого порядка приведена в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры математической модели ПФЭ

№	$X1$	$D, \text{мм}$	$X2$	$d, \text{мм}$	φ
1	+	13	+	4	0,8463
2	+	13	+	4	0,8438
3	+	13	+	4	0,8412
4	-	11	+	4	0,9889
5	-	11	+	4	0,9859
6	-	11	+	4	0,9829
7	+	13	-	2,8	0,85
8	+	13	-	2,8	0,8475
9	+	13	-	2,8	0,8449
10	-	11	-	2,8	0,999
11	-	11	-	2,8	0,996
12	-	11	-	2,8	0,993

Проведение эксперимента начинается с задания матрицы планирования в программе, представленной на рис. 4.

	1 D	2 d	3 Kij	
1	13	4	0,8463	
2	13	4	0,8438	
3	13	4	0,8412	
4	11	4	0,9889	
5	11	4	0,9859	
6	11	4	0,9829	
7	13	2,8	0,85	
8	13	2,8	0,8475	
9	13	2,8	0,8449	
10	11	2,8	0,999	
11	11	2,8	0,996	
12	11	2,8	0,993	

Рис. 4 – Матрица планирования эксперимента в программе Statistica

На рис. 5 представлена таблица модели эксперимента в кодированных значениях.

Factor	Effect Estimates; Var.:Kij; R-sqr=.99902; Adj.:99866 (Spreadsheet2) 2**(2-0) design; MS Residual=.0000078 DV: Kij									
	Effect	Std.Err.	t(8)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
	Mean/Intercept	0,918283	0,000804	1142,536	0,000000	0,916430	0,920137	0,918283	0,000804	0,916430
(1)D	-0,145333	0,001607	-90,412	0,000000	-0,149040	-0,141627	-0,072667	0,000804	-0,074520	-0,070813
(2)d	-0,006900	0,001607	-4,293	0,002642	-0,010607	-0,003193	-0,003450	0,000804	-0,005303	-0,001597
1 by 2	0,003200	0,001607	1,991	0,081680	-0,000507	0,006907	0,001600	0,000804	-0,000253	0,003453

Рис. 5 – Таблица полученной модели в кодированных значениях



Как видно из рисунка 5 оба фактора значимы, уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 0,92 - 0,0727 X1 - 0,00345 X2$$

Factor	Regr. Coefficients; Var.:Kij; R-sqr=.99902; Adj:.99866 (Spreadsheet2) 2**(2-0) design; MS Residual=.0000078 DV: Kij					
	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(8)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	1,918633	0,055690	34,4520	0,000000	1,790212	2,047055
(1)D	-0,081733	0,004625	-17,6728	0,000000	-0,092398	-0,071069
(2)d	-0,037750	0,016130	-2,3403	0,047391	-0,074946	-0,000554
1 by 2	0,002667	0,001340	1,9907	0,081680	-0,000422	0,005756

Рис. 6 – Таблица полученной модели в физических значениях

На рис. 7 приведена таблица с использованием дисперсионного анализа для проверки гипотезы об адекватности полученной модели.

Factor	ANOVA; Var.:Kij; R-sqr=.99902; Adj:.99866 (Spreadsheet2) 2**(2-0) design; MS Residual=.0000078 DV: Kij				
	SS	df	MS	F	p
(1)D	0,063365	1	0,063365	8174,414	0,000000
(2)d	0,000143	1	0,000143	18,426	0,002642
1 by 2	0,000031	1	0,000031	3,963	0,081680
Error	0,000062	8	0,000008		
Total SS	0,063601	11			

Рис. 7 – Таблица оценки адекватности модели

Как видно, рассчитанный критерий Фишера $F_{рас} = 3,963$. Уровень значимости $\alpha = 0,05$, степени свободы $f1 = 1, f2 = 8$, при этом $F_{кр} = 5,32$.

При $F_{кр} > F_{рас}$ модель является адекватной.

Список цитируемой литературы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Томография>
2. Aleksanyan G.K., Gorbatenko N.I., Kucher A.I., Chan Nam Phong Bio-sciences Biotechnology Research Asia, Vol. 12, Spl.Edn. 2, 2015, pp. 709–718.
3. Алексян Г.К., Горбатенко Н.И., Тарасов А.Д. Development of Hard-ware-Software Complex for Electrical Impedance Tomography of Biological Objects // Research Journal of Applied Sciences. - 2014 Vol.9, Issue 12-P.1030-1033.
4. Планирование эксперимента: учебное пособие / Горбатенко Н. И., Ланкин М. В., Шайхутдинов Д. В.: – Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Но-вочеркасск: ЮРГТУ, 2007. – 120 с.
5. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / Н.А. Спирина, В.В. Лавров. Под общ. Ред. Н.А.Спирина. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. - 257 с.