

## ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ОПТИЧНО-ПРОЗОРИХ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ (ОФСЕТНОГО ПАПЕРУ)

В роботі проведено аналіз та дано оцінку вірогідності вимірювального контролю вологості офсетного паперу. В результаті проведених експериментів та оцінці отриманих експериментальних даних встановлено, що обробка результатів за рівнянням надлишкових вимірювань дала можливість підвищити вірогідність контролю вологості паперу.

Ключові слова: вірогідність контролю, помилка першого роду, помилка другого роду, надлишкові вимірювання, папір.

L.O. KOVTUN

Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

### ASSESSMENT OF THE PROBABILITY MOISTURE CONTROL OPTICALLY TRANSPARENT SHEET (OFFSET PAPER)

*Abstract – The purpose of the article - assessing the probability of moisture control optically transparent sheet material by measuring the direct method and the method of use of redundant measurements.*

*Experiment was conducted in two ways: by direct and redundant measurements. Experimental results processed by statistical methods, the analysis of normality for density distribution of controlled size and its deviation from the controlled error value defined errors of the first and second kind, defined probability humidity control in the application of the direct method and the method of redundant measurements.*

*As a result, processing of experimental results by surplus redundant measurements, the following is stated treatment results in the equation redundant measurements provided an opportunity to increase the probability of control of paper .*

*Keywords: probability control, error of the first kind, the error of the second kind, measuring the excess paper.*

#### Вступ

Контроль вологості оптично-прозорих листових матеріалів, зокрема офсетного паперу, є досить важливою і сучасною задачею. Надлишковий вологовміст у папері не менше ніж його недостатній вміст сильно впливає на якість виробів з паперу, якість нанесення фарб та ін. Тому оцінка вірогідності контролю, помилок першого та другого роду є невід'ємною та важливою задачею під час використання паперу.

#### Основна частина

Контроль вологості об'єкту контролю (офсетний папір) полягає у порівнянні результату вимірювання із межами допуску. Поле допуску на контрольований параметр задається у вигляді номінального значення і допустимого відхилення від нього [1, 2, 3]

$$C_{\text{ном}} - k_{\text{ас}} \Delta_{\text{д}} \leq C_x \leq C_{\text{ном}} + k_{\text{ас}} \Delta_{\text{д}}, \quad (1)$$

де  $C_x$  – контрольований параметр (вологість паперу),  $C_{\text{ном}}$  – номінальне значення контрольованого параметру,  $\Delta_{\text{д}}$  – допустиме відхилення від номінального значення,  $k_{\text{ас}}$  – коефіцієнт асиметрії поля допуску.

Припустимо, що математичне очікування закону розподілу ймовірностей контрольованого параметра має таке ж значення, що й номінальне. Також зробимо припущення, що коефіцієнт асиметрії  $k_{\text{ас}}=1$ , тобто поле допуску є симетричним. Тоді поле допуску визначається

$$-\Delta_{\text{д}} \leq d \leq \Delta_{\text{д}}. \quad (2)$$

Отже, придатним вважається листовий матеріал, значення вологості якого не виходить за межі допуску. У випадку, якщо значення вологості контрольованого об'єкту виходить за межі поля допуску, матеріал є не придатним за цим параметром.

На рис. 1 та рис. 2 наведено результати 200 вимірювань значень вологості зразка паперу та зміну значення похибки у часі відповідно.

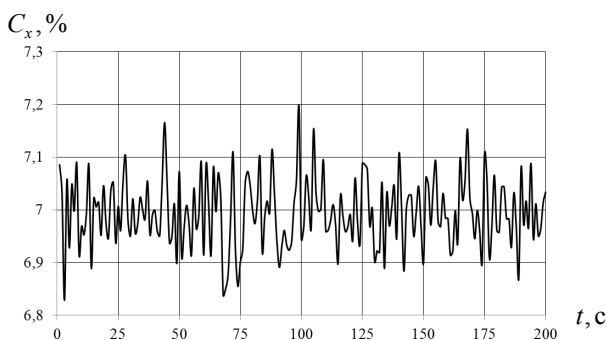


Рис. 1. Зміна значення вологості паперу в часі

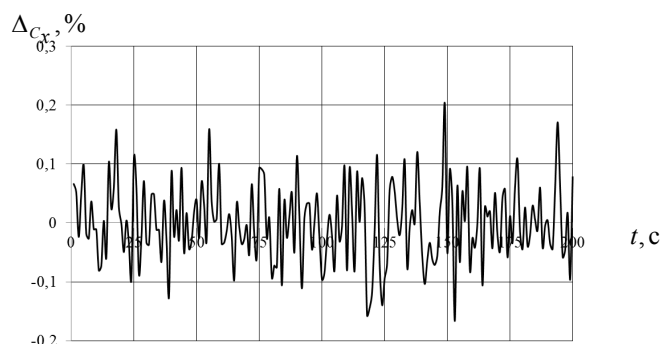


Рис. 2. Зміна значення похибки в часі

Встановлено, що закон розподілу контрольованого параметра  $C_x$  є нормальним. Тобто

$$P(C_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{C_x}} \exp\left(-\frac{(C_{xi} - \bar{C}_x)^2}{2\sigma_{C_x}^2}\right), \quad (3)$$

де  $C_{xi}$  – вимірне значення контрольованого параметра,  $\bar{C}_x$  – математичне очікування контрольованого параметра,  $\sigma_{C_x}$  – середньоквадратичне відхилення контрольованого параметра.

Зробимо припущення, що похибка вимірювання також розподілена за нормальним законом  $\bar{\Delta}_{C_x}$

$$P(\Delta_{C_x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta_{C_x}}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{C_x} - \bar{\Delta}_{C_x})^2}{2\sigma_{\Delta_{C_x}}^2}\right), \quad (4)$$

де  $\Delta_{C_x}$  – похибка вимірювання,  $\sigma_{\Delta_{C_x}}$  – середньоквадратичне відхилення похибки вимірювання,  $\bar{\Delta}_{C_x}$  – математичне очікування похибки вимірювання.

Проведемо оцінку вірогідності контролю вологості офсетного паперу.

Сумісну двовимірну щільність вірогідності контрольованої величини та похибки вимірювання визначаємо із виразу

$$P(C_x \cdot \Delta_{C_x}) = P(C_x) \cdot P(\Delta_{C_x}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{C_x}\sigma_{\Delta_{C_x}}} \exp\left(-\frac{(C_{xi} - \bar{C}_x)^2}{2\sigma_{C_x}^2} - \frac{(\Delta_{C_x} - \bar{\Delta}_{C_x})^2}{2\sigma_{\Delta_{C_x}}^2}\right). \quad (5)$$

Графічне представлення законів розподілу контрольованої величини, похибки вимірювання та сумісної двовимірної щільності розподілу вірогідності контрольованої величини представлено на рис. 3

На основі наведених законів розподілу визначені основні статистичні характеристики, що представлені в табл. 1 та табл. 2.

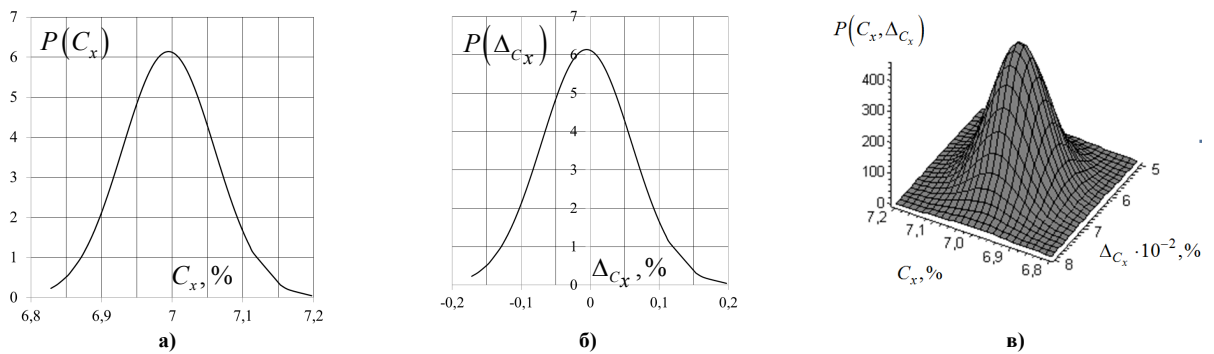


Рис. 3. Графічне представлення закону розподілу контрольованої величини (а), похибки вимірювання (б), сумісної двовимірної щільності розподілу (в)

Таблиця 1

**Основні статистичні характеристики контрольованої величини ( $C_x = 7\%$ )**

$\bar{C}_x$	$\bar{C}_{x\min}$	$\bar{C}_{x\max}$	$\sigma_{C_x}$	n	S	$\chi^2$
6,9946	6,8283	7,1972	0,06498	200	5,28	15

Таблиця 2

**Основні статистичні характеристики похибки ( $C_x = 7\%$ )**

$\bar{\Delta}_{C_x}$	$\Delta_{C_x\min}$	$\Delta_{C_x\max}$	$\sigma_{\Delta_{C_x}}$	n
-0,0054	-0,1717	0,1972	0,06498	200

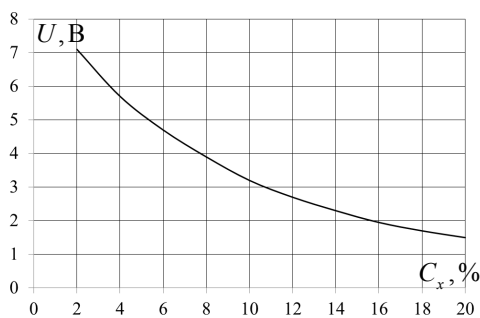


Рис. 4. Статична характеристика засобу вимірювального контролю

Проведемо порівняння статистичних характеристик контрольованої величини та похибки вимірювання при обробці результатів за допомогою рівняння надлишкових вимірювань та безпосереднього визначення значення вологості паперу. На рис. 4 наведено статичну характеристику засобу вимірювального контролю.

За отриманими значеннями напруги та використовуючи графік, що наведено на рис. 4, визначено значення вологості паперу.

На рис. 5 зображено зміну в часі значення вологості паперу, а на рис. 6 – похибки вимірювання.

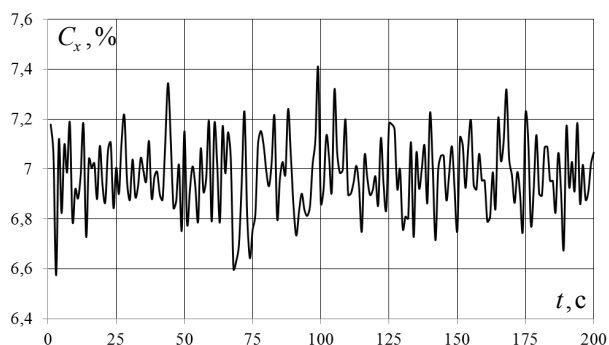


Рис. 5. Зміна значення вологості в часі

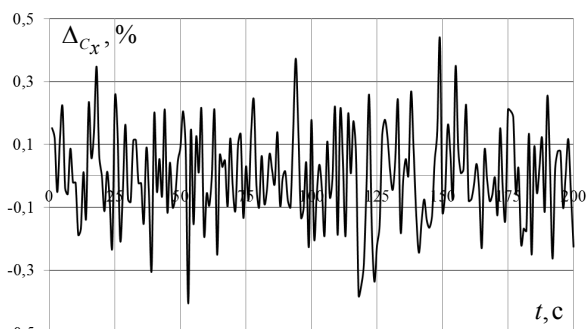


Рис. 6. Зміна похибки вимірювання в часі

Закони розподілу контрольованої величини, похибки вимірювання та їх двовимірної щільності розподілу наведено на рис. 7. У табл. 3 та 4 наведено статистичні характеристики, які є вихідними даними для побудови зазначених законів розподілу.

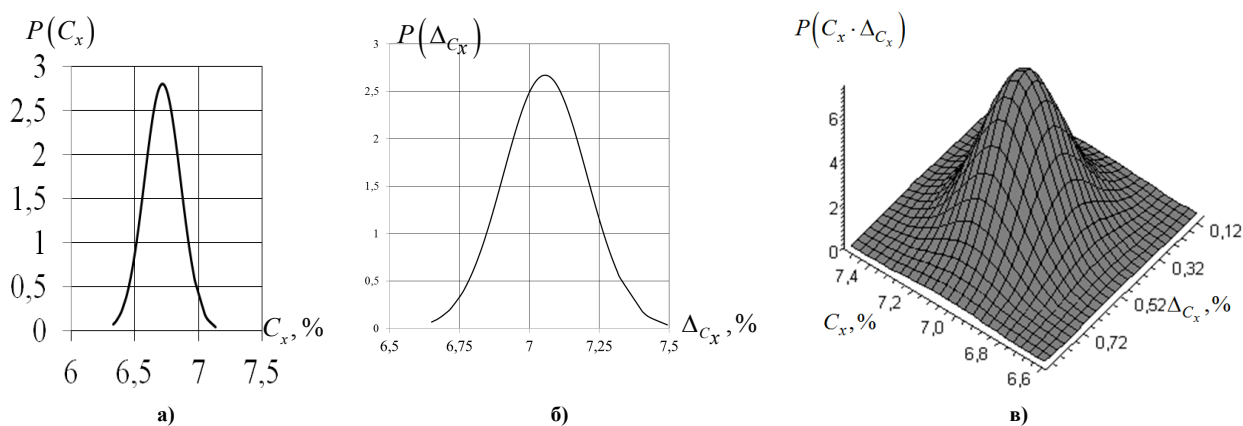


Рис. 7. Графічне представлення закону розподілу контрольованої величини (а), похибки вимірювання (б), сумісної двовимірної щільності розподілу (в)

Таблиця 3

Основні статистичні характеристики контрольованої величини ( $C_x = 7\%$ )

$\bar{C}_x$	$\bar{C}_{x\min}$	$\bar{C}_{x\max}$	$\sigma_{C_x}$	n	S	$\chi^2$
7,0563	6,6507	7,4935	0,1494	200	8,31	15

Таблиця 4

Основні статистичні характеристики похибки ( $C_x = 7\%$ )

$\bar{\Delta}_{C_x}$	$\Delta_{C_x\min}$	$\Delta_{C_x\max}$	$\sigma_{\Delta_{C_x}}$	n
0,057	-0,4056	0,4372	0,1494	200

У результаті проведення тесту на нормальність розподілу контрольованої величини та похибки вимірювання, встановлено, що гіпотеза підтвердилась.

Вірогідність контролю - міра відповідності результатів контролю дійсному стану об'єкта контролю. Абсолютна вірогідність  $D$  – ймовірність прийняття правильного рішення про те, чи відповідає результат контролю дійсному стану об'єкта [1, 4, 5]. При оцінці вірогідності контролю використовують такі поняття як помилка першого роду  $\alpha$  – ймовірність прийняття невірної рішення «хибна відмова» або так званий «ризик виробника» та помилка другого роду – ймовірність прийняття невірної рішення «невизначена відмова» або так званий «ризик споживача». Абсолютна вірогідність контролю визначається за рівнянням величин

$$D = 1 - P_{\text{пом}} = 1 - (\alpha + \beta), \quad (6)$$

де  $P_{\text{пом}}$  – ймовірність помилкових рішень при контролі інформативного параметру.

Помилка першого роду згідно [1, 6] визначається наступним чином

$$\alpha = \int_{-k_{\alpha} \Delta_{C_x}}^{\Delta_{C_x}} \left[ \int_{-\infty}^{x_2 - C_x} P(C_x \cdot \Delta_{C_x}) d(\Delta_{C_x}) + \int_{x_1 - C_x}^{\infty} P(C_x \cdot \Delta_{C_x}) d(\Delta_{C_x}) \right] dC_x. \quad (7)$$

Помилка другого роду згідно [1, 6] визначається наступним чином

$$\beta = \int_{-\infty}^{-k_{ac}\Delta_d} \int_{x_2-C_x}^{x_1-C_x} P(C_x \cdot \Delta_{C_x}) d(\Delta_{C_x}) dC_x + \int_{\Delta_d}^{\infty} \int_{x_1-C_x}^{x_2-C_x} P(C_x \cdot \Delta_{C_x}) d(\Delta_{C_x}) dC_x. \quad (8)$$

При визначенні помилок першого та другого роду обрані наступні межі інтегрування:

$$x_1 = \Delta_d - \bar{\Delta}_x; \quad x_2 = -k_{ac}\Delta_d - \bar{\Delta}_x.$$

Згідно (6), (7) та (8) оцінено помилки першого і другого роду, та вірогідність контролю вологості паперу із використанням методу надлишкових вимірювань. Результати наведені у табл. 5

Таблиця 5

**Результати оцінки вірогідності контролю вологості паперу**

$\bar{C}_x$	$\sigma_{C_x}$	$\sigma_{\Delta C_x}$	$\alpha$	$\beta$	$D$
6,9946	0,06498	0,06498	0,017	0,008	0,975

Помилки першого і другого роду та вірогідність контролю вологості паперу прямим методом, тобто без обробки результатів вимірювання за допомогою рівняння надлишкових вимірювань, наведено у табл. 6.

Таблиця 6

**Результати оцінки вірогідності контролю вологості паперу**

$\bar{C}_x$	$\sigma_{C_x}$	$\sigma_{\Delta C_x}$	$\alpha$	$\beta$	$D$
7,0563	0,1494	0,1494	0,087	0,034	0,879

**Висновки**

Аналіз отриманих даних показав, що обробка експериментальних даних за рівнянням надлишкових вимірювань дозволяє здійснити корекцію мультиплікативної та адитивної складових похибки. За рахунок цього підвищується вірогідність контролю вологості паперу.

У результаті проведення експериментальних досліджень та математичної обробки отриманих значень встановлено, що використання надлишкових вимірювань та обробка результатів проміжних вимірювань за відповідним рівнянням надлишкових вимірювань, дозволяють вилучити вплив на результат вимірювання таких факторів: додаткове послаблення потоку оптичного випромінювання, що відбувається при проходженні його через передавальні та приймальні оптичні волокна, відхилення значення потужності потоку оптичного випромінювання від номінального, зміни товщини досліджуваного матеріалу. Таким чином вилучається вплив на результат вимірювання адитивної та мультиплікативної складової похибки. Також на результат не впливає інструментальна складова похибки, яка вноситься елементами оптичного тракту вимірювального каналу.

Встановлено, що на результат впливає лише похибки відтворення нормованого значення концентрації вологості зразка листового матеріалу.

**Література**

1. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б.: Навчальний посібник. – Вінниця, ВДТУ, 2001. – 219 с.
2. Ковтун Л.О. Надлишкові вимірювання вологості оптично-прозорих листових матеріалів та їх ефективність. / В.Т. Кондратов, Л.О. Ковтун // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. -2009. -№1. –С. 21-27.
3. Богачук В.В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів / Богачук В.В., Мокін Б.І.– Монографія. – Вінниця: Універсум, 2008.
4. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. / П.П. Орнатский. – К.: Вища школа. – 1983. – 455 с.
5. Разумный В.М. Оценка параметров автоматического контроля. / В.М. Разумный. – М.: Энергия, 1975. – 80с.
6. Дунаев Б.Б. Точность измерений при контроле качества. – К.: Техника, 1981. – 152 с.

**References**

1. Volodars'kij Є.Т., Kuharcuk V.V., Podjarenko V.O., Serdjuk G.B. metrologi4ne zabezpeccennja vimirjuvan' i kontrolju: Navcal'nij posibnik. – Vinnicja, VDTU, 2001. – 219 s.
2. Kovtun L.O. Nadlyshkovi vimirjuvannja vologosti optychno-prozoryh lystovyh materialiv ta ih efektyvnist'. / V.T. Kondratov, L.O. Kovtun // Vymirjuval'na ta obchysljuval'na tehnika v tehnologichnyh procesah. -2009. -№1. –S. 21-27.
3. Bogachuk V.V., Mokin B.I. Metody ta zasoby vimirjuval'nogo kontrolju vologosti poroshkopodibnyh materialiv.– Monografija. – Vinnycja: Universum, 2008.
4. Ornatskij P.P. Teoreti4eskie osnovy informacionno-izmeritel'noj tehniki. / P.P. Ornatskij. – K.: Vischa 6kola. – 1983. – 455 s.
5. Razumnyj V.M. Ocenka parametrov avtomati4eskogo kontrolja. / V.M. Razumnyj. – M.: Jenergija, 1975. – 80s.
6. Dunaev B.B. To4nost' izmerenij pri kontrole ka4estva. – K.: Tehnika, 1981. – 152 s.

Рецензія/Peer review : 6.7.2013 р. Надрукована/Printed :21.12.2013 р.

## ОЦЕНКА СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СЕТОЧНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

В работе показана оценка исследования спектров телевизионных объектов, с помощью ДПФ при разном шаге дискретизации с различным количеством вершин. В результате анализа полученных экспериментальных данных выбран оптимальный шаг дискретизации с минимальным количеством вершин для быстрой визуализации объекта, который построен сеточным методом.

Ключевые слова. ДПФ, трехмерные объекты, спектры, сеточный метод.

E.V. OSHAROVSKAYA, V.I. SOLODKAYA

Odessa national academy of telecommunications n.a. A.S. Popov, Odessa, Ukraine

### EVALUATION SPECTRAL PROPERTIES OF MESH TELEVISION OBJECTS

Abstract - The paper shows the estimated spectral studies of television facilities, using DFT with different sampling step with different number of vertices. An analysis of the experimental data selected optimum sampling step with the minimum number of vertices for fast visualization facility, which was built by the mesh.

Keywords. DFT, three-dimensional objects, the spectra, mesh method.

#### Постановка задачи

Дискретное преобразование Фурье является одним из самых известных и полезных на практике математических инструментов. Это преобразование широко применяется в телевидение, электродинамике и оптике, теории кодирования, при анализе систем связи и фильтрации сигналов, в алгоритмах сжатия информации.

ДПФ для приложений определяется в том числе и тем, что задачи о вычислении ДПФ, циклической свертки последовательностей, произведения больших чисел или многочленов по существу эквивалентны. Важное значение имеют быстрые алгоритмы ДПФ, в которых число необходимых операций уменьшено по сравнению с обычным вычислением оптимизации порядка действий.

#### Анализ исследований и публикаций

Для построения спектров трехмерных сеточных объектов рассмотрим сигнал  $f$ , который является трехмерным периодическим сигналом с периодом  $2^S$  по трем координатам. Отсчеты задаются как  $f(x, y, z)$ , где  $x, y, z \in 0 : 2^S - 1$ . Дискретное преобразование Фурье для данного сигнала задается формулой:

$$F(a, b, c) = \sum_{x=0}^{2^S-1} \sum_{y=0}^{2^S-1} \sum_{z=0}^{2^S-1} f(x, y, z) e^{\frac{2\pi i(ax+by+cz)}{2^S}},$$

Трехмерный дискретный спектр  $F$  можно вычислить при помощи трех разделимых одномерных ДПФ:

$$F(a, b, c) = \sum_{x=0}^{2^S-1} \left[ \sum_{y=0}^{2^S-1} \left[ \sum_{z=0}^{2^S-1} f(x, y, z) \cdot e^{\frac{2\pi i ax}{2^S}} \right] \cdot e^{\frac{2\pi i by}{2^S}} \right] \cdot e^{\frac{2\pi i cz}{2^S}},$$

где суммы в квадратных скобках представляют собой одномерные вычисления ДПФ по трем координатам сигнала  $f$ .

Шаг дискретизации показывает расстояние между двумя последовательными участками области трехмерной функции. Чем меньше шаг - тем больше дискретная функция соответствует по своим параметрам исходной аналоговой. Однако при слишком малых значениях страдает удобство работы с такой функцией. Поэтому основное задание процесса дискретизации - создание "цифровой" версии любого вида информации, которая по своим характеристикам сопоставима с оригиналом, однако проще в обработке.

Шаг дискретизации должен быть таким, чтобы существовала возможность восстановления непрерывной функции по ее отсчетам с допустимой точностью. Следовательно, при дискретизации необходимо использовать аналог теоремы Котельникова для трехмерного пространства. Предполагая, что шаг дискретизации по всем осям удовлетворяет теореме Котельникова, можно построить спектры исследуемых объектов.

Каждый исходный отсчет трехмерного сигнала вычисляется как среднее арифметическое из точек исходного сигнала, попадающих в соответствующую ячейку сетки.

Для выполнения эксперимента использовалась среда MatLab, в качестве тестовых объектов выбраны куб и эллипсоид. Трехмерные объекты эллипсоид (рис. 1) и куб (рис. 3) представлялись регулярными сетками [1] с разным шагом дискретизации.

Спектры были построены в среде MatLab по трехмерным сеточным моделям эллипсоида и куба.