

УДК 004.9+539.4

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛОВ

© 2012 Л. С. Бекасов<sup>1</sup>, Ш. Р. Салимов<sup>1</sup>, Н. Р. Салимова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный технический университет

<sup>2</sup>Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Приводится метод формального представления металлических поверхностей, основанный на применении теоретических основ нелинейного спектрального анализа. Для осуществления конкретных условий используется среда "Mathcad", которая позволяет осуществлять сжатие данных.

*Mathcad, формальное представление данных, нелинейный спектральный анализ.*

Визуальный осмотр предметов всегда имеет одну и ту же цель – их качественную оценку. Касается ли этот осмотр эстетической, механической, либо какой-нибудь другой его характеристики. Особую значимость такая оценка имеет в технике, в частности, когда речь заходит о прочностных характеристиках материалов либо деталей машин и механизмов. Для улучшения качественных параметров деталей, изготавливаемых из металлов, необходимо иметь стандартные сведения о самих металлах. Отсюда возникает потребность в металлах с заданными свойст-

вами. Известно, что самым популярным металлом, например в машиностроении, на сегодняшний день, является алюминий и различные сплавы на его основе. Получение же новых алюминиевых сплавов становится возможным на основе новых теоретических и экспериментальных исследований.

Ниже предлагается метод формальной оценки визуальных параметров, основанный на нелинейном спектральном преобразовании дискретных данных (рис. 1).

На первом этапе рисунки преобразуются в матрицы пиксельного свечения (рис. 2).



Рис.1. Исходные картинки: слева - приближенная к идеальной, справа - имеющая изъян

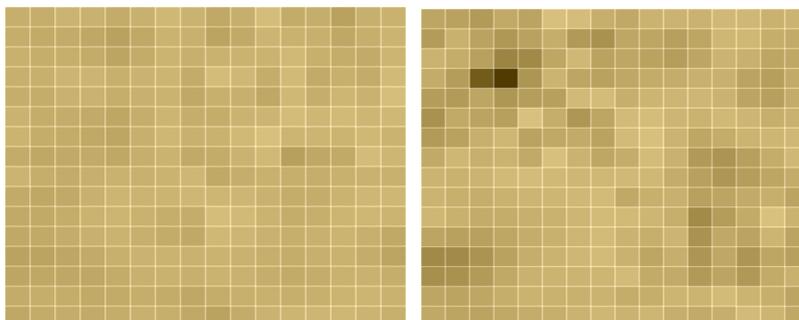


Рис.2. Матрицы пиксельного свечения для первого и второго случаев соответственно

Далее снимок преобразуется в цифровую (числовую) форму, например через процедуру Read среды Mathcad. Тогда эти снимки приобретают иную форму – форму матриц пикселей, при этом численные значе-

ние яркости свечения каждого пикселя представляется двумя таблицами соответственно: для образцового (табл.1) и вновь полученного (табл.2).

Таблица 1. Численные значения первого рисунка

174	173	179	177	171	176	183	178	168	174	188	171	173	161	175	177
173	170	171	167	161	168	178	176	163	169	180	177	175	167	174	179
176	173	174	171	164	171	179	175	177	178	178	184	175	172	170	180
175	175	180	180	175	178	180	171	187	183	172	185	170	175	171	185
173	172	177	178	173	176	178	168	175	175	167	183	173	181	177	189
178	172	172	170	166	173	180	173	172	178	180	187	182	185	181	183
179	172	171	168	165	175	182	176	177	184	191	180	180	179	183	178
171	167	169	170	167	174	178	169	171	178	184	159	167	169	187	181
179	173	171	175	177	176	178	182	168	173	176	174	173	176	177	176
170	167	169	176	180	179	179	182	181	181	177	172	172	178	182	182
169	169	172	178	180	177	173	172	188	185	178	172	174	180	182	179
168	169	172	176	178	175	171	168	183	181	177	174	176	179	175	168
162	163	166	170	175	178	178	177	178	177	174	172	175	177	172	164
165	167	167	167	171	176	177	175	178	177	173	170	172	177	177	173
171	173	172	169	170	173	171	167	172	175	176	174	175	179	180	177
167	171	172	170	172	176	174	168	162	171	178	180	181	182	179	175

Таблица 2. Численные значения второго рисунка

165	161	154	169	163	191	188	174	168	178	179	178	184	183	177	179
155	176	162	151	161	173	153	145	166	165	159	165	182	183	173	170
178	172	160	132	137	166	183	162	166	162	157	165	179	176	165	167
171	156	91	59	149	179	165	161	167	171	172	176	176	163	158	170
156	154	165	150	157	159	185	187	174	180	181	182	178	164	159	171
145	169	163	159	192	173	150	165	186	188	181	178	184	181	174	177
154	161	175	182	162	168	170	162	186	191	179	166	172	179	181	183
169	182	175	178	169	191	178	166	172	187	177	153	148	159	172	183
179	177	179	185	187	184	182	183	184	183	172	160	150	157	165	171
179	175	173	177	180	181	183	186	168	175	176	160	164	170	174	163
182	176	171	172	175	177	181	186	185	181	174	138	156	170	192	178
164	160	160	166	172	176	181	186	178	174	180	146	168	163	180	163
137	138	147	161	173	178	182	186	177	165	174	149	167	149	165	159
143	145	154	168	177	179	179	181	186	170	170	153	164	152	170	176
165	163	166	173	178	177	176	178	172	173	180	179	186	179	174	164
168	164	163	168	172	174	178	182	178	181	174	170	174	186	180	167

Необходимо дифференциально (поэлементно) оценить различие между двумя этими пиксельными матрицами, что осуществляется с использованием метода нелинейного спектрального преобразования.

Недостатками линейных методов спектрального преобразования (Фурье-анализ и Вейвлет-анализ) является то, что в первом случае удается получить информацию либо о частотном спектре сигнала, либо о его структуре, а во втором появляется зависимость от сдвига во времени анализируемого сигнала [1].

Поэтому возникает задача получения такого спектра, который бы, с одной стороны, содержал частотную информацию, причём амплитудно-частотный спектр был бы инвариантен к сдвигам анализируемого сигнала, а с другой стороны, в явном виде содержал информацию о структуре анализируемого сигнала и, по возможности, обладал бы повышенным быстродействием.

Для решения перечисленных проблем была предложена базисная комплексная система импульсных функций, с помощью которой можно получить спектр, отвечающий

указанным требованиям [2]. Предложенная система функций определяется на дискретном множестве:

$$M = \{l : l = 0, 1, 2, \dots, 2^n - 1\} \quad (1)$$

и имеет вид:

$$Bah_u^k l = c_u(l) - i s_u(l), \quad (2)$$

где  $u = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$ ;  $2^n$  - число подынтервалов, составляющих период некоторого подлежащего анализу дискретного сигнала  $f(l)$ .

Функции  $c_u(l)$  и  $s_u(l)$  формируются на основе вспомогательных функций  $c_u(l)$  и  $s_u(l)$  посредством их сдвигов на  $k$  подынтервалов, где  $k = 0..2^{n-u-1} - 1$ .

$$\text{Функции } c_u(l) \text{ и } s_u(l) \text{ определяются как } c_0(l) = 1, s_0(l) = 0, l \in M. \quad (3)$$

В случае  $u \neq 0$  и  $l$ , изменяющегося от 0 до  $2^n - 1$  с шагом  $2^{n-u-1} - 1$ ,

$$c_u(l) = \sum_{m=0}^{2^n-1} (\cos(2^{u-n} \pi m)) e(l-m), \quad (4)$$

$$s_u(l) = \sum_{m=0}^{2^n-1} (\sin(2^{u-n} \pi m)) e(l-m). \quad (5)$$

Если  $l$  принимает другие значения, то  $c_u(l) = s_u(l) = 0$ .  $e(l-m)$  представляет собой единичный импульс, определяемый из следующих условий:

$$e(l-m) = \begin{cases} 1, l = m; \\ 0, l \neq m. \end{cases} \quad (6)$$

Формирование амплитудно-частотного спектра анализируемого сигнала  $f(l)$  осуществляется в соответствии с выражением

$$F_u = \sum_{k=0}^{2^{n-u-1}-1} F_u^k, \quad (7)$$

где  $u = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$ ;

$$F_u^k = \sqrt{(a^k)^2 - (b^k)^2};$$

$$a_u^k = \sum_{m=0}^{2^{u-1}-1} f(l_m) c_u(l); \quad (8)$$

$$b_u^k = \sum_{m=0}^{2^{u-1}-1} f(l_m) s_u(l);$$

$f(l_m)$  - значение анализируемого сигнала в точке  $l_m, l_m = 2^{n-u-1} m$ .

Для получения структурной информации об анализируемом сигнале можно воспользоваться функциями  $c_u(l)$  и  $s_u(l)$ , с помощью которых фактически генерируется последовательность единичных импульсов, сдвинутых относительно друг друга на один шаг дискретизации. Это условие при изменении числа отсчётов требует учёта особенностей соотношения (8), в соответствии с которыми компоненты типа  $a^k$  либо  $b^k$  должны отвечать требованию  $(a^k)^2 \neq 0$ ;  $(b^k)^2 \neq 0$  при всех значениях  $k$ , поскольку они по теореме Пифагора являются составляющими вектора (гипотенузы), которые определяют значение (модуль) гармоники. Если выше оговоренное условие не соблюдено, то результат получается вырожденным, а сами гармоники не имеют смысла.

Адаптируя формулы нелинейного спектрального анализа в «Mathcad», получаем их в сжатом виде в качестве 16 гармоник (табл. 3).

Таблица 3. Значения гармоник

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	22382,41	428,1338	472,5611	301,5517	275,3583	295,7039	188,5223	175,4703
2	22195,17	1078,56	1283,147	858,2998	971,7664	642,0263	400,7832	602,1669
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	125,0688	191,1767	253,0853	135,7765	114,6904	52,63215	39,2726	67,20119
2	446,9069	524,728	454,7531	217,9544	433,1298	298,531	306,4136	132,5481

Гармоники, исключая первую, указывают на степень сглаженности (плавность) поверхности. Первая гармоника отражает интегральную огибающую площадь поверхности. Для рассматриваемого случая доста-

точно знать, что первые гармоники приблизительно равны. Для большей наглядности графики картинок без учёта первых гармоник представлены на рис. 3.

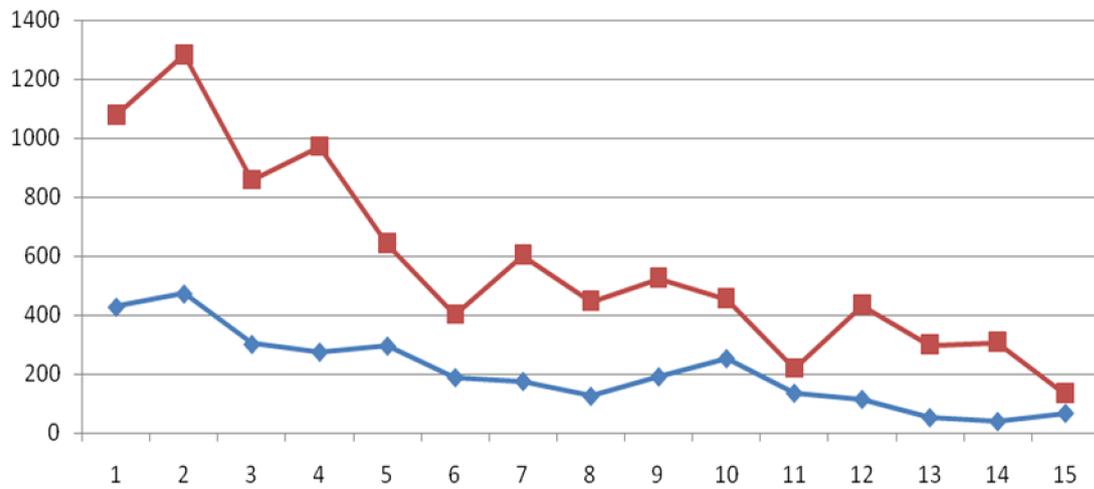


Рис.3. График полученных результатов

Анализируя полученные графики, можно утверждать, что второй спектр имеет значительно большую нестабильность гармоник, что объясняется характером рисунка, взятого за основу. Отчётливо это заметно благодаря первому спектру, сделанному по первой картинке.

Предложенная методика позволяет получать индивидуальные, однозначные количественные оценки через гармонические составляющие и преобразовывать большие объёмы данных в компактную форму, позволяющую количественно и качественно оценивать их.

### Библиографический список

1. Крылов, С.М. Формально-технологическая модель в общей теории систем [Текст] / С.М. Крылов // Изв. Самар. науч. центра РАН.- Январь – июнь 2003. –№1.-Т.5. - С. 83-90.
2. Бекасов, Л.С. Адаптация среды «Mathcad» к нелинейному спектральному преобразованию [Текст] / Л.С. Бекасов, Ш.Р. Салимов // Актуальные проблемы информационной безопасности. Теория и практика использования программно-аппаратных средств: Материалы IV Всероссийской с международным участием науч.-техн. конф. –Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – С. 14-17.

## OF NON-LINEAR SPECTRAL TRANSFORMS TO EVALUATE THE QUALITY OF THE METAL SURFACE

© 2012 L. S. Bekasov<sup>1</sup>, Sh. R. Salimov<sup>1</sup>, N. R. Salimova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Samara State Technical University

<sup>2</sup>Volga State University of Telecommunications and Informatics

The following is a method of formal submission of metal surfaces, based on the application of the theoretical foundations of nonlinear spectral analysis. For specific conditions of use environment "Mathcad", which allows for data compression.

*Mathcad, the formal representation of the data, non-linear spectral analysis.*

### **Информация об авторах**

**Бекасов Лев Степанович**, кандидат технических наук, доцент, Самарский государственный технический университет. Область научных интересов: нелинейный спектральный анализ.

**Салимов Шамиль Раисович**, студент, Самарский государственный технический университет. E-mail: [shamil.salimov@mail.ru](mailto:shamil.salimov@mail.ru). Область научных интересов: нелинейный спектральный анализ.

**Салимова Назиля Раисовна**, аспирант, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. E-mail: [azisa86@mail.ru](mailto:azisa86@mail.ru). Область научных интересов: радиофизика.

**Bekasov Lev Stepanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Samara State Technical University. Area of Research: Nonlinear Spectral Analysis.

**Salimov Shamil Raisovich**, student, Samara State Technical University. E-mail: [shamil.salimov@mail.ru](mailto:shamil.salimov@mail.ru). Area of Research: Nonlinear Spectral Analysis.

**Salimova Nazilja Raisovna**, graduate, Volga State University of Telecommunications and Informatics. E-mail: [azisa86@mail.ru](mailto:azisa86@mail.ru). Area of Research: Radiophysics.