

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЛЕНКИ

Б. Н. ЕПИФАНЦЕВ, Л. В. СТАРЦЕВА, В. В. ТАРАСОВ

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института
электронной микроскопии)

Необходимым элементом комплекса для автоматической расшифровки радиографических снимков является устройство фильтрации информации, задача которого — выделение полезного сигнала из смеси сигнала дефекта, сопутствующих сигналов и шума как самого носителя информации, так и регистрирующей аппаратуры [1].

Для построения оптимальных фильтров выделения сигналов необходимо знать характеристики гранулярности рентгеновской пленки, составляющей шум носителя информации.

Средние мощности гранулярности отечественных рентгеновских пленок, приведенные в [2], составляют $25 \div 45\%$ от средней плотности почернения негатива при апертуре $0,1 \times 0,1$ мм². Этот результат на порядок больше аналогичных оценок для рентгеновских пленок иностранных фирм [3, 4] и нуждается в проверке.

При изучении частотных характеристик рентгеновской пленки некоторыми исследователями [3, 4] было замечено существенное отклонение от равномерности ее спектра гранулярности в отличие от черно-белых кинопленок, спектр гранулярности которых практически равномерен. Однако относительно частоты, с которой начинается спад спектра, между авторами имеются значительные разногласия. Так, Холмшоу [4] получил резкий спад спектра гранулярности в диапазоне пространственных частот от 20 до 40 мм⁻¹, а результаты Цвейга [3] позволяют считать спектр равномерным до 100—200 мм⁻¹ (в зависимости от плотности почернения негатива). Советские исследователи, изучавшие гранулярность пленок, облученных электронами средних энергий, получили равномерный спектр гранулярности до 60 мм⁻¹ [5].

Таким образом, литературные данные по шумам рентгеновских пленок противоречивы и недостаточны, что и вызвало необходимость данного исследования.

Задачей данного исследования является получение на базе измерения шумов пленки РТ-1 характеристик гранулярности радиографической пленки для разработки фильтров выделения контуров дефектов.

Равномерно засвеченные образцы крупнозернистой рентгеновской пленки РТ-1 сканировались на микрофотометре МФ-4 апертурами, наиболее широко применяемыми при автоматической расшифровке снимков: $0,05 \times 0,05$ мм²; $0,1 \times 0,1$ мм²; $0,2 \times 0,2$ мм². Данные микрофотометрирования в единицах оптической плотности выводились на ленточный перфоратор ПЛ-80 и обрабатывались на ЭЦВМ «М-220».

В качестве характеристик гранулярности были выбраны функция автокорреляции $R(k)$, спектр мощности $S(\omega_r)$, среднее квадратическое отклонение σ_D и распределение зерен по размерам. При расчетах использовались следующие алгоритмы:

$$R(k, n) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} F(i \Delta x) \cdot F[(i+k) \Delta x]; \quad (1)$$

$$S(\omega_r, n) = \Delta x \left[R(0) + 2 \sum_{k=1}^{m-1} R_k \cos \frac{k r \pi}{m} + R_m \cos r \pi \right], \quad (2)$$

$$\sigma_D^2 = \sum_{r=0}^n S(\omega_r, n).$$

где $F(x)$ — микрофотометрический разрез снимка;

$n = \frac{X}{\Delta X}$ — общее число отсчетов на интервале $[0, X]$;

$\omega_r = \frac{r \pi}{(m-1) \Delta X}$ — пространственная частота.

Измерение простейшей характеристики пленки среднего квадратического отклонения σ_D выявило зависимость σ_D от среднего уровня оптической плотности негатива D , полученные значения $\sigma_D = f(D)$ с 99,7% доверительными границами нанесены на рис. 1. При увеличении D средняя мощность флуктуаций почернения заметно растет, зависимость имеет, в основном, линейный характер, что согласуется с результатами, полученными Цвейгом [3]. Значения среднего квадратического отклонения пленки РТ-1 совпадают со значениями средней мощности флуктуаций, описанных в литературе [3, 4], крупнозернистых пленок, выпускаемых зарубежными фирмами.

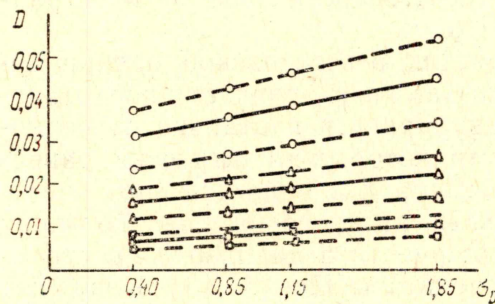


Рис. 1. — сглаженная зависимость $\sigma_D = f(D)$; — — — доверительные границы для доверительной вероятности 0,997; —○— $\alpha = 0,05$ мм; —△— $\alpha = 0,1$ мм; —□— $\alpha = 0,2$ мм.

Анализ экспериментальной зависимости σ_D от апертуры сканирования показал, что для фиксированной плотности почернения D выполняется закон Сельвина: $\sigma_D \cdot \alpha = G = \text{const}$.

α (мм)	D							
	0,4		0,85		0,15		1,85	
	σ_D	G	σ_D	G	σ_D	G	σ_D	G
0,05	0,032	0,016	0,036	0,0018	0,039	0,002	0,046	0,0023
0,1	0,016	0,016	0,018	0,0018	0,020	0,002	0,023	0,0023
0,2	0,007	0,014	0,008	0,0016	0,009	0,0018	0,011	0,0023

Для исследования частотных свойств гранулярности по формулам (1, 2) были вычислены выборочные автокорреляционные функции и выборочные спектральные оценки мощности флуктуаций почернения образцов пленки РТ-1 (рис. 2). Автокорреляция исследуемого процесса

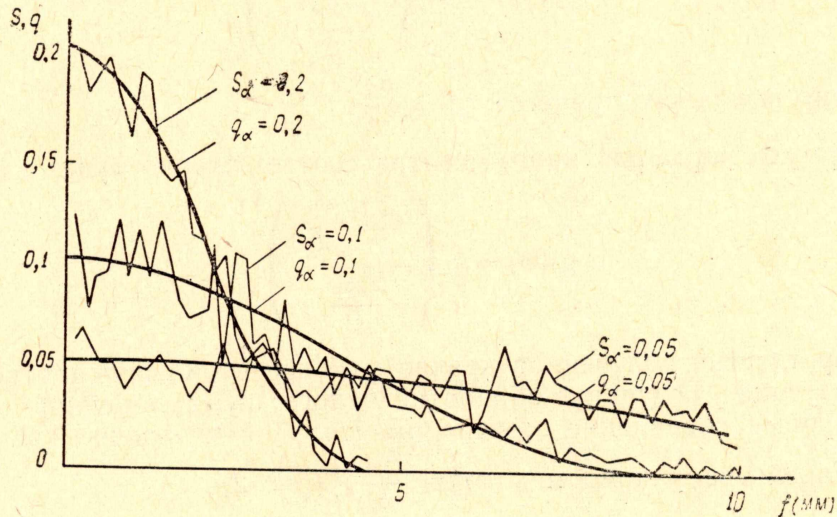


Рис. 2.

резко падает уже при первом шаге (равном 0,05 мм) и в дальнейшем остается низкой, что характерно для чисто случайного ряда или белого шума.

Когда число членов чисто случайного ряда N достаточно велико, допустимо считать, что выборочная корреляционная функция $\gamma_{xx}(k)$ распределена по нормальному закону с нулевым средним значением и дисперсией $1/N$. Согласно критерию, предложенному в [6], если за 95%-ные доверительные границы $\gamma_{xx}(k) \pm \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot 1,96$ выходят не более

5% одиночных корреляций выборочной корреляционной функции проверяемого ряда, проверяемый ряд можно считать белым шумом. Результат проверки по этому критерию находится в согласии с гипотезой о том, что гранулярность в рассматриваемой области частот является белым шумом.

Как известно, спектр белого шума равномерен. Однако экспериментально полученные спектры имеют ясно выраженный спад на высоких частотах, причем, область спада зависит от апертуры сканирования (рис. 2). Обнаруженную неравномерность спектра можно объяснить сглаживанием высших гармоник при сканировании апертурами конечной малости. Такая обработка шума в одномерном случае подобна работе линейной системы, считающей среднее значение входного процесса по конечному интервалу α .

Если на вход системы подается чисто случайный процесс с дисперсией σ^2_x , то на выходе получается линейный процесс со спектральной плотностью [9], где $H(\omega)$ — частотная характеристика системы.

Если воспользоваться частотной характеристикой преобразования при квадратной апертуре, приведенной в [7]

$$|H(\omega)|^2 = \left(\frac{\sin \frac{\alpha\omega}{2}}{\frac{\alpha\omega}{2}} \right)^2,$$

то спектральную плотность выходного процесса системы можно записать в виде

$$G(\omega) = \sigma_X^2 \left(\frac{\sin \frac{\alpha\omega}{2}}{\frac{\alpha\omega}{2}} \right)^2,$$

дисперсия выходного процесса $\sigma_Z^2 = \frac{\sigma_X^2}{\alpha}$.

Формула нормированного спектра соответственно будет иметь вид:

$$g(\omega) = \alpha \left(\frac{\sin \frac{\alpha\omega}{2}}{\frac{\alpha\omega}{2}} \right)^2.$$

Теоретически полученная кривая $g(\omega)$ спектральной плотности, характеризующая результат обработки белого шума линейной системой, дает хорошее совпадение с экспериментальной сглаженной спектральной оценкой гранулярности $s(\omega) = \frac{S(\omega)}{\sigma_D^2}$ (рис 2).

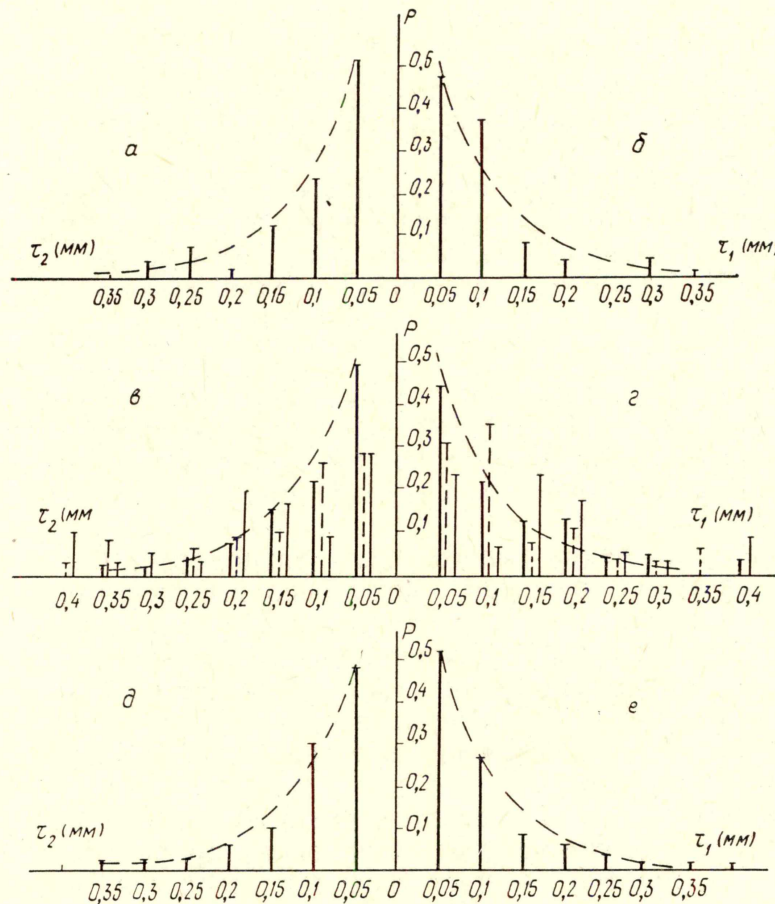


Рис. 3. а — распределение интервалов между зернами при $D=0,4$; б — распределение размеров зерен при $D=0,4$; в — распределение интервалов между зернами при $D=1,15$; г — распределение размеров зерен при $D=1,15$; д — распределение интервалов между зернами при $D=1,85$; е — распределение размеров зерен при $D=1,85$.
Обозначения: — $\alpha=0,05$ мм; - - - $\alpha=0,1$ мм;
—— $\alpha=0,15$ мм.

Дополнительно были построены распределения вероятностей длин положительных τ_1 и отрицательных τ_2 участков центрированного микрофотометрического разреза (рис. 3), отражающие распределение по размерам зерен рентгеновской пленки и промежутков между ними.

Гистограммы распределений, полученные при сканировании негативов разной оптической плотности одинаковой апертурой, заметных различий не содержат. При апертуре $0,05 \times 0,05$ мм² (шаг квантования 0,05 мм) наибольший удельный вес имеют однополярные участки длиной $1 \div 2$ отсчета, увеличение апертуры сканирования при сохранении прежнего шага дискретизации приводит к увеличению количества однополярных участков большей длины. Вид гистограммы при апертуре, равной шагу, довольно точно соответствует распределению длин однополярных участков чисто случайного ряда (на рис. 3 показано пунктиром). Если апертура больше шага, появляется корреляция между отсчетами, вследствие которой распределение деформируется.

Выводы

1. При сканировании равномерно засвеченных образцов рентгеновской пленки апертурами $0,05 \div 0,2$ мм спектр мощности гранулярности можно считать равномерным. Следовательно, для проектирования оптимальных фильтров достаточно установления вида зависимости $\sigma_D = f(D)$.

2. Зависимость $\sigma_D = f(D)$ при плотностях $0,4 - 1,85$ имеет линейный характер с тенденцией возрастания при повышении оптической плотности негатива.

3. Поскольку увеличение апертуры считывающего устройства приводит к пропорциональному уменьшению мощности шума, наиболее эффективное разделение сигнала и шума по амплитуде достигается при апертуре, равной минимальному размеру выявляемого дефекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Косарев и др. Состояние и перспективы автоматизации некоторых процессов радиографии. «Дефектоскопия», 1972, № 1, стр. 117.
2. В. П. Абрамов, В. И. Горбунов. Шумы, вызванные зернистостью рентгеновской пленки, и их влияние на выбор оптимального размера считывающей апертуры сканирующего устройства. «Дефектоскопия», 1972, № 1, стр. 107.
3. H. J. Zweig, „I. Opt. Soc. Amer“, 1959, 49, 238.
4. R. Halmshaw. „I. Photogr. Sci“, 1971, 19, 167.
5. А. А. Александров и др. Фотографическая регистрация электронно-микроскопических изображений. «Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии», 1972, № 4, стр. 289.
6. Г. Дженкинс, Д. Ваттс. Спектральный анализ и его приложения. Т. 1. М., «Мир», 1972, стр. 229—230.
7. И. И. Цуккерман. Преобразования электронных изображений. Л., «Энергия», 1972, стр. 131.