

## МЕТОД КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ КООРДИНАТ И ДЛИН СЕРИЙ

проф. А.В. Королёв, к.т.н. В.В. Баранник, А.М. Гиневский

*Излагается метод сжатия изображений на основе отдельного полиадического кодирования массивов цветковых координат и массивов длин серий. Проводится сравнение предложенного метода с существующими по степени сжатия изображений.*

**Введение.** В [1] показано, что полиадическое кодирование длин серий обеспечивает дополнительное повышение степени сжатия изображений. Однако, степень сжатия существенно снижается при обработке сильнонасыщенных реалистических изображений. Это происходит из-за увеличения количества цветковых координат, которые не подвергались дополнительной обработке. Поэтому, для повышения коэффициента сжатия изображений необходимо осуществить компактное представление массивов цветковых координат, которое достигается за счет их полиадического кодирования [2], т.е. необходимо разработать метод сжатия изображений за счет полиадического кодирования цветковых координат и длин серий.

**Общая схема полиадического кодирования цветковых координат и длин серий.** Перед началом полиадического кодирования требуется из отдельных элементов сформировать массивы цветковых координат и длин серий. В общем виде схема полиадического кодирования изображения, представленного этими массивами, приведена на рис. 1.

Таблица  $\Omega$  составляется из всех возможных массивов данных (в общем виде), распределенных по системам оснований  $\Lambda_u$ ,  $u = \overline{0, U}$ , где  $U+1$  – количество различных массивов цветковых координат и массивов длин серий заданного размера, а  $u$  – индекс подмножества массивов цветковых координат, удовлетворяющих системе оснований  $\Lambda_u$ . Конкретные массивы цветковых координат и длин серий образуются из исходного изображения соответственно по правилам  $\Phi_{цв}$  и  $\Phi_{дс}$ . Затем для полученных массивов находят системы оснований  $\Lambda_u$ . Найденные системы оснований служат входными параметрами для считывания из таблицы  $\Omega$  множеств  $\Omega_k$  и  $\Omega_u$  соответственно возможных массивов цветковых координат и массивов длин серий. За счет сопоставления конкретных массивов цветковых координат и массивов длин серий столбцам множеств  $\Omega_k$  и  $\Omega_u$  определяются соответствующие полиадические числа  $N_j$  (рис. 1). В общем случае массивы цветковых координат  $C$  и длин серий  $L$  имеют вид:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n_{\text{цв}}} \\ & & & & & \\ & & & & & \\ c_{i1} & c_{i2} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{in_{\text{цв}}} \\ & & & & & \\ & & & & & \\ c_{m_{\text{цв}}1} & c_{m_{\text{цв}}2} & \dots & c_{m_{\text{цв}}j} & \dots & c_{m_{\text{цв}}n_{\text{цв}}} \end{pmatrix}; L = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1j} & \dots & l_{1n_{\text{дс}}} \\ & & & & & \\ & & & & & \\ l_{i1} & l_{i2} & \dots & l_{ij} & \dots & l_{in_{\text{дс}}} \\ & & & & & \\ & & & & & \\ l_{m_{\text{дс}}1} & l_{m_{\text{дс}}2} & \dots & l_{m_{\text{дс}}j} & \dots & l_{m_{\text{дс}}n_{\text{дс}}} \end{pmatrix},$$

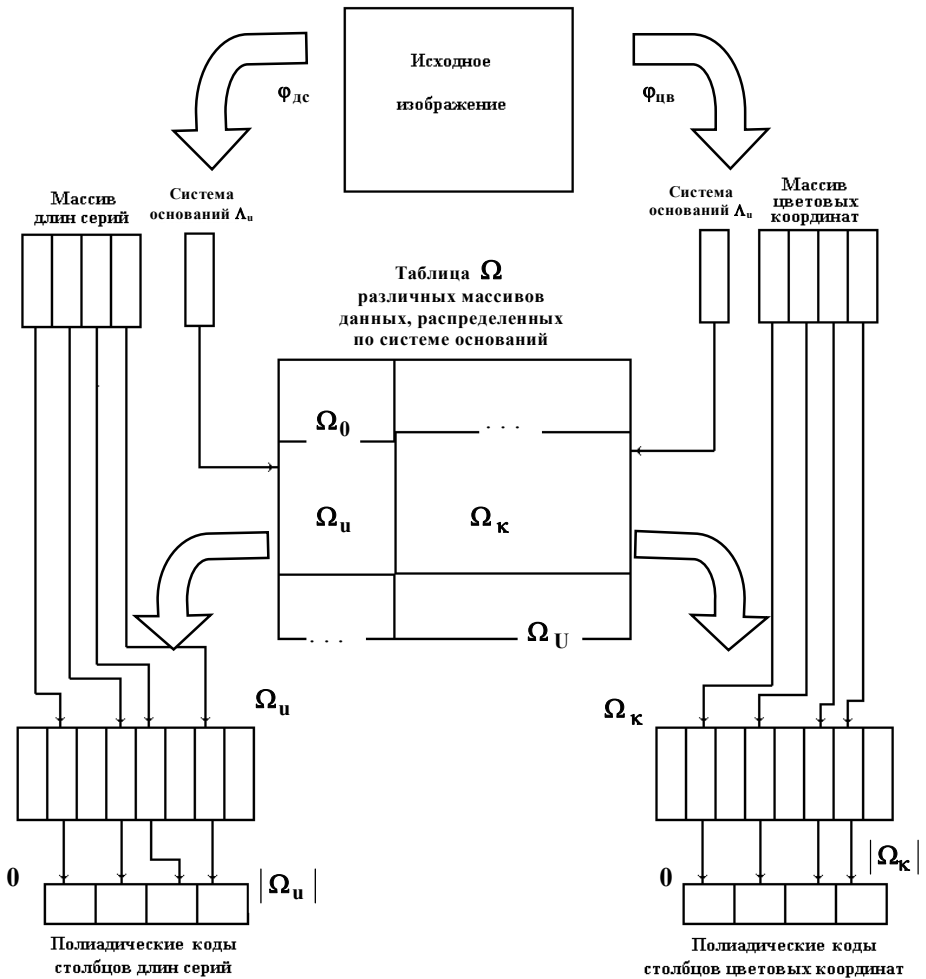


Рис.1. Схема полиадического кодирования массивов цветowych координат и длин серий

где  $c_{ij}$ ,  $l_{ij}$  - соответственно числовые значения цветовой координаты и длины серии (при этом значение цветовой координаты изменяется в пределах  $0 \leq c_{ij} \leq B$ );  $B$  - количество параметров визуализации;  $m_{цв}$ ,  $n_{цв}$ ,  $m_{дс}$ ,  $n_{дс}$  - соответственно количество строк и столбцов в массивах  $C$  и  $L$ .

Согласно схеме на рис. 1 перед началом полиадического кодирования требуется сформировать массивы  $C$  и  $L$ . Поэтому рассмотрим особенности организации массивов цветковых координат и массивов длин серий для последующего полиадического кодирования.

**Организация соответствия массивов цветковых координат и массивов длин серий.** Для того, чтобы на приемной стороне можно было бы взаимоднозначно восстановить исходное изображение необходимо в процессе образования массивов цветковых координат и массивов длин серий установить между ними соответствие. Соответствие массивов длин серий и массивов цветковых координат заключается в:

1) дроблении массивов длин серий и цветковых координат на зоны соответствия (в общем случае) так, чтобы:

- элемент зоны длин серий являлся истинным количеством повторов элемента зоны цветковых координат;

- количество элементов в зоне цветковых координат было равно количеству элементов в зоне длин серий;

2) организации хранения координат начала и конца каждой зоны;

3) обеспечении синхронизации между концом обработки текущей зоны и началом обработки очередной зоны.

Другими словами нужно организовать поиск и выборку в массивах длин серий и в массивах цветковых координат таких элементов, которые бы позволили восстановить изображение без искажений.

Для упрощения программной и аппаратной реализации процесса сопоставления массивов длин серий и массивов цветковых координат предлагается организовывать массивы  $C$  и  $L$  следующим образом:

а) количество столбцов в массивах цветковых координат должно равняться количеству столбцов в массивах длин серий

$$n_{цв} = n_{дс}; \quad (1)$$

б) количество элементов в столбце массива  $C$  должно быть равным количеству элементов в столбце массива  $L$

$$m_{цв} = m_{дс}. \quad (2)$$

Для предложенной организации массивов  $L$  и  $C$  появляется возможность сопоставлять полиадические коды массивов  $L$  и  $C$ . Причем, если полиадический код был сформирован для нескольких столбцов массива длин серий (обобщенный код), то для выборки соответствующих столбцов массива  $C$  необходимо воспользоваться информацией о признаках столбцов. В противном случае потребовалось бы дополнительно организовывать поиск и выборку нужных зон массива цветковых координат.

На время формирования массивов  $\mathbf{C}$  и  $\mathbf{L}$  влияет порядок обхода оцифрованного изображения для получения этих массивов. С технической точки зрения наименьшее время отображения информации на экране достигается при построчном порядке выявления серий одинаковых элементов и их цветовых координат. Это объясняется тем, что в дисплеях информация выводится на экран по строчной развертке. Тогда при восстановлении изображения оно будет выводиться на экран по мере восстановления элементов изображений по цветовым координатам и по количеству их повторения (длинам серий) [3]. Поэтому порядок получения цветовых координат и длин серий предлагается организовывать по строкам в направлении слева - направо. Для каждого последующего блока процесс разбиения изображения на цветовые координаты и длины серий начинается сначала. Кроме того, на процесс разбиения исходного изображения на массивы  $\mathbf{C}$  и  $\mathbf{L}$  влияет заранее установленное максимальное значение длины серии  $\ell_{\max}$  и количество  $\mathbf{m}_{\text{дс}}$  длин серий в столбце [3 - 5]. При полиадическом кодировании длин серий на выбор значений  $\ell_{\max}$  и  $\mathbf{m}_{\text{дс}}$  оказывает влияние структура кода. Другими словами величины  $\ell_{\max}$  и  $\mathbf{m}_{\text{дс}}$  должны выбираться с учетом того, что код формируется не для отдельной длины серии, а для последовательности длин серий. Поэтому перед выбором  $\ell_{\max}$  и  $\mathbf{m}_{\text{дс}}$  целесообразно рассмотреть особенности полиадического кодирования [3].

*Первая особенность* заключается в ограничении, накладываемом на количество разрядов  $\mathbf{M}_j$ , которое отводится под полиадическое число  $\mathbf{N}_j$ . Для этого величина максимально возможного числа, которое может храниться в коде длиной  $\mathbf{M}_j$  разрядов, не должна превышать значение динамического диапазона  $\mathbf{D}_N$  полиадических чисел

$$2^{\mathbf{M}_j} \geq \mathbf{D}_N. \quad (3)$$

*Вторая особенность* вызвана тем, что полиадические числа представляются кодами равномерной длины. В соответствии с неравенством (3) на длину кодовой комбинации влияет динамический диапазон  $\mathbf{D}_N$ . Поэтому динамический диапазон должен быть постоянен для всего изображения

$$\mathbf{D}_N = \text{const} \quad \forall \mathbf{N}_j \in \mathbf{L} = \overline{1, \mathbf{v}}. \quad (4)$$

Для выполнения условий (3) и (4) максимальное значение длины серии для фиксированного  $\mathbf{m}_{\text{дс}}$  должно выбираться на основе равенства [3]:

$$2^{\mathbf{M}} - 1 = \ell_{\max}^{\mathbf{m}_{\text{дс}}}.$$

Откуда

$$\ell_{\max} = \sqrt[\mathbf{m}_{\text{дс}}]{2^{\mathbf{M}} - 1}. \quad (5)$$

По аналогии с выбором соответствия между параметрами  $\ell_{\max}$ ,  $\mathbf{M}$  и  $\mathbf{m}_{\text{дс}}$  при выявлении длин серий требуется установить соответствие между параметрами  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{M}$  и  $\mathbf{m}_{\text{цв}}$  при образовании цветовых координат. Такое соот-

ветствие необходимо, поскольку для цветowych координат также формируются полиадические коды. Тогда формула (3) для случая полиадического кодирования цветowych координат примет вид

$$\mathbf{B} = \mathbf{m}_{\text{цв}} \sqrt{2^{\mathbf{M}} - 1}. \quad (6)$$

Равенство (6) позволяет сформировать полиадический код для столбца массива цветowych координат так, чтобы выполнялись ограничения (3) и (4). Однако, из анализа соотношений (5) и (6) следует, что если количество цветowych координат  $\mathbf{B}$  будет превышать максимальное значение  $\ell_{\text{max}}$  длины серии, полученное по формуле (5), то условие (2) выполняться не будет. В противном случае на полиадическое представление  $\mathbf{m}_{\text{цв}}$  цветowych координат понадобится большее количество разрядов, чем на полиадическое представление  $\mathbf{m}_{\text{дс}}$  длин серий, что приведет к нарушению условий (3) и (4). В этом случае необходимо дополнительно разработать способ соответствия массивов цветowych координат и массивов длин серий. Способ соответствия будем разрабатывать для наиболее распространенного случая, когда известны длина машинного  $\mathbf{M}$  слова и количество параметров визуализации  $\mathbf{B}$ . Тогда соответствие между массивом  $\mathbf{C}$  и массивом  $\mathbf{L}$  будет достигнуто, если количество строк  $\mathbf{m}_{\text{дс}}$  в массиве длин серий будет вычисляться по формуле

$$\mathbf{m}_{\text{дс}} = \mathbf{m}_{\text{цв}} = \log_{\mathbf{B}} \left( 2^{\mathbf{M}} - 1 \right). \quad (7)$$

Тогда значение  $\ell_{\text{max}}$  будет определяться не по (5), а по выражению

$$\ell_{\text{max}} \leq \log_{\mathbf{B}} \left( 2^{\mathbf{M}} - 1 \right) \sqrt{2^{\mathbf{M}} - 1}. \quad (8)$$

Таким образом, вычисление максимального значения длины серии по формуле (8) обеспечит полное соответствие массивов цветowych координат и массивов длин серий.

Процесс выявления серий (цветowych координат) в строках изображения продолжается до тех пор, пока не будет полностью сформирован массив  $\mathbf{L}$  (массив  $\mathbf{C}$ ). Очередной массив  $\mathbf{C}$  начинает образовываться с того элемента строки изображения, перед которым было закончено формирование предыдущего массива длин серий. Возможны случаи, когда длин серий и цветowych координат не хватит, чтобы полностью заполнить массивы  $\mathbf{L}$  и  $\mathbf{C}$ . В этом случае недостающие элементы приравниваются  $\mathbf{0}$ . Добавочные серии не влияют на значение полиадического числа и не учитываются при восстановлении изображения.

Таким образом, предложена организация массивов  $\mathbf{C}$  и  $\mathbf{L}$ , удовлетворяющая нижеперечисленным условиям.

1. Размеры массивов цветowych координат равны размерам массивов длин серий.
2. Количество строк в массиве длин серий находится после того, как найдено количество строк в массиве цветowych координат.
3. Величина максимально возможной длины серии  $\ell_{\text{max}}$  рассчитывается

из условия, что на полиадическое представление цветowych координат и полиадическое представление длин серий отводится одинаковое количество разрядов, равное длине машинного слова  $M$ .

4. Выявление длин серий и соответствующих цветowych координат проводится в направлении строчной развертки. При этом строки имеют равные размеры для всего кадра.

5. Заполнение массивов  $C$  и  $L$  осуществляется по столбцам в порядке выявления серий одинаковых элементов в строке. Если количества цветowych координат и длин серий не хватает, чтобы сформировать массивы  $C$  и  $L$  заданных размеров, то недостающие элементы принимаются равными  $0$ .

**Метод полиадического кодирования цветowych координат и длин серий.** Для предложенной организации соответствия массивов  $L$  длин серий и массивов  $C$  цветowych координат математическая запись процесса их формирования из исходного изображения имеет вид

$$c_{ij} = \begin{cases} a_{i1}, & \text{если } j=1 \text{ (начальный элемент в блоке)}; \\ a_{ij}, & \text{если } a_{ij} \neq a_{i,j-1}, \end{cases} \quad (9)$$

где  $a_{ij}$  - элемент исходного изображения;  $a_{i,j-1}$  - элемент изображения, стоящий в строке слева от элемента  $a_{ij}$ ;

$$l_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{i,j-1} \neq a_{ij}; \\ \xi + 1, & \text{если } a_{i,j} = a_{ik} \text{ и } a_{i,j} \neq a_{i,j+\xi+1}; k = \overline{j+1, j+\xi}; \\ l_{\max}, & \text{если } a_{i,j} = a_{i,j+\xi+1} \text{ и } \xi + 1 = l_{\max}, \end{cases} \quad (10)$$

где  $\xi$  - величина разницы (смещение) между значениями индексов начального и последнего элементов в серии;  $l_{\max}$  - заранее установленное максимальное значение длины серии (ограничение на длину серии сверху).

На основе систем (9) и (10) можно получить обобщенную систему для формирования массивов длин серий и массивов цветowych координат

$$\begin{cases} c_{ij} = a_{ij}, & \text{если } a_{i,j-1} \neq a_{ij}; \\ l_{i,j-\xi-1} = \xi + 1, & \text{если } a_{i,j-1} = a_{ij} \text{ и } a_{i,j-1} = a_{i,j-\xi-1}; \\ l_{i,j-1} = 1, & \text{если } a_{i,j-2} = a_{i,j-1} = a_{i,j}. \end{cases} \quad (11)$$

Система выражений (11) позволяет сформировать массивы длин серий и цветowych координат для предложенного подхода при выявлении серий одинаковых элементов в изображении. Формирование последовательности цветowych координат проводится из исходного изображения с учетом сдвига на количество элементов, равное серии одинаковых элементов. Если длина  $ij$  - й серии одинаковых элементов равна  $\xi$ , то текущий элемент  $c_{i,j+\xi}$  цветовой координаты находится на расстоянии  $l_{ij}$  от предыдущего  $c_{ij}$  элемента цветовой координаты. Для предложенной организации формирования массивов  $C$  и  $L$  схема вычисления полиадических

чисел для столбцов этих массивов задается выражениями [3]:

$$N(\ell)_j = \sum_{i=1}^{m_{дс}} \ell_{ij} h_i ; \quad N(c)_j = \sum_{i=1}^{m_{цв}} \ell_{ij} d_i ; \quad (12)$$

$$h_i = \prod_{\xi=i+1}^{m_{дс}} \lambda_{\xi} , \quad d_i = \prod_{\xi=i+1}^{m_{цв}} \chi_{\xi} , \quad (13)$$

где  $N(\ell)_j$ ,  $N(c)_j$  - соответственно значения полиадических чисел для  $j$  - го столбца массива  $L$  и  $j$  - го столбца массива  $C$ ;  $\lambda_{\xi}$ ,  $\chi_{\xi}$  - соответственно максимальные значения длины серии и цветовой координаты;  $h_i$ ,  $d_i$  - соответственно накопленные произведения величин  $\lambda_{\xi}$  и  $\chi_{\xi}$ .

Таким образом, в результате формирования массивов цветowych координат и массивов длин серий исходный фрагмент изображения заменяется на последовательность полиадических кодов длин серий. Поскольку изображение нестационарное (степень насыщенности его мелкими деталями изменяется для разных участков кадра), то фрагменты будут иметь переменные размеры для разных частей кадра. Тогда можно сказать, что в результате образования всех массивов  $C$  и  $L$  исходное изображение, разрезанное на неравномерные фрагменты, заменяется блоками (массивами цветowych координат и массивами длин серий) равных размеров (в пределах одного кадра, рис. 2). При этом каждый фрагмент изображения может состоять из одной, нескольких строк или ее некоторой части. На рис. 2 количество строк в фрагменте изображения обозначено как  $v_{стр}$ .

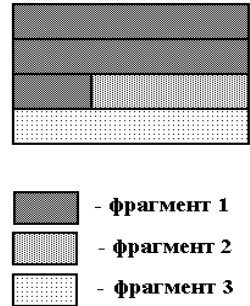


Рис. 2. Пример изображения, разрезанного на три неравных фрагмента

Поскольку каждому столбцу массивов цветowych координат и массивов длин серий ставится в соответствие один полиадический код равномерной длины, то можно сказать, что за счет полиадического кодирования неравномерные части фрагмента изображения заменяются одномерными кодами постоянных размеров. Поэтому всю цепь последовательных преобразований можно рассматривать как неравномерное векторное квантование (рис. 3).

На рис. 3 выбран фрагмент 1 изображения, представленного на рис. 2. При этом использовались следующие обозначения:  $R_j^{(f)}$  - часть фрагмента

изображения, представляемая столбцами массива длин серий и цветowych координат  $C_j^{(f)}$  и  $L_j^{(f)}$  массива  $R_j^{(f)} \rightarrow L_j^{(f)}$ , где  $f$  – номер фрагмента в изображении, а  $j$  – индекс части в фрагменте.

В общем виде неравномерное векторное квантование можно представить оператором

$$N_j = \Phi_{ПК} \left\{ \Phi_{ДС} \left\{ R_f^j \right\} \Phi_{ЦВ} \left\{ R_f^j \right\} \right\},$$

где  $\Phi_{ПК}$ ,  $\Phi_{ДС}$ ,  $\Phi_{ЦВ}$  – соответственно операторы полиадического кодирования, выявления длин серий и цветowych координат.

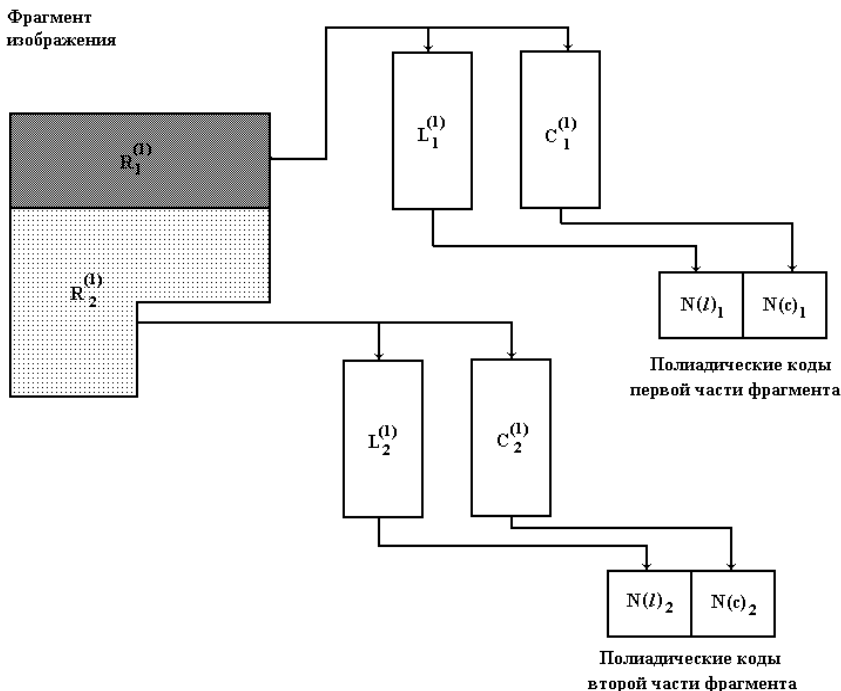


Рис. 3. Схема получения кодов - номеров для частей фрагмента изображения

Таким образом, разработан метод сжатия изображений на основе полиадического кодирования массивов цветowych координат и массивов длин серий. Этот метод позволяет отводить одинаковое количество разрядов на полиадическое представление столбца массива цветowych координат и столбца массива длин серий. Для разработанного метода сжатие изображений достигается за счет исключения избыточности в столбцах массивов длин серий и массивов цветowych координат.

При этом обеспечивается:



- исключение потери информации из-за нехватки длины машинного слова;
- повышение оперативности вывода информации на экран;
- снижение операций сравнения при формировании векторов оснований  $\Lambda$  для массивов  $C$  и  $L$ .

**Сравнительная оценка разработанного метода с известными.** Поскольку разработанный метод сжимает изображения без потерь качества, то для сравнения будем использовать модифицированный метод длин серий (ДС) [4] и метод сжатия на основе полиадического кодирования длин серий (ПК) [1]. Для сравниваемых методов в качестве значений параметров будем использовать такие значения, при которых для обоих методов достигается наибольшая степень сжатия. Для метода ДС [4] наибольшая степень сжатия  $k_{дс}$  обеспечиваются в случае, когда максимальная длина серии заранее выбирается равной  $l_{max} = 128$ . Для метода ПК наибольшая степень сжатия  $k_{пк}$  достигается при следующих значениях параметров: максимальная длина серии  $l_{max} = 128$ , размеры массивов длин серий  $m_{дс} \times n_{дс} = 8 \times 16$ , длина машинного слова  $M = 64$  разряда [1]. Для разработанного метода сжатия на основе полиадического кодирования массивов длин серий и массивов цветowych координат (ПКДС+ПКЦВ) наибольшие значения степени сжатия достигаются при размерах массивов  $C$  и  $L$ , равных  $m_{цв} \times n_{цв} = m_{дс} \times n_{дс} = 8 \times 16$ , и  $l_{max} = 128$ . Значения коэффициентов сжатия  $k_{дс}$ ,  $k_{пк}$  и  $k_{пкцв}$  в логарифмическом масштабе для указанных параметров в зависимости от вероятности цветового перепада  $p$  представлены на рис. 4.

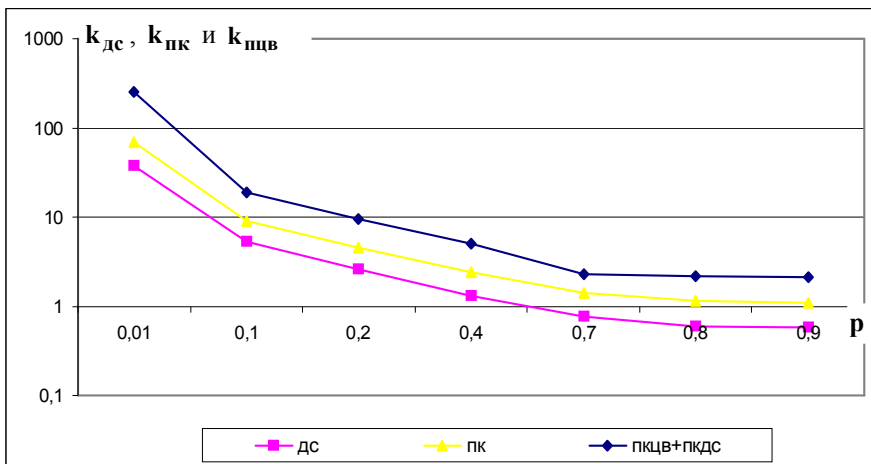


Рис. 4. Графики значений  $k_{дс}$ ,  $k_{пк}$  и  $k_{пкцв}$  для сравниваемых методов в зависимости от вероятности цветового перепада  $p$

**Выводы.** 1. Разработан метод сжатия изображений на основе полиадического кодирования массивов цветowych координат и массивов длин серий, включающий в себя:

1) организацию соответствия массивов цветowych координат и массивов длин серий, которая заключается в следующем:

- размеры массивов цветowych координат выбираются равными размерам массивов длин серий;

- получение цветowych координат и выявление длин серий проводится по строчной развертке в направлении слева – направо. При этом массивы **C** и **L** заполняются по столбцам сверху – вниз;

- в случае, если количество параметров визуализации превышает заранее установленное максимальное значение длины серии, то осуществляется пересчет значений  $\ell_{\max}$  или количества строк в массиве длин серий  $m_{\text{дс}}$ .

2) представление полиадических чисел равномерными кодовыми комбинациями, постоянными для всего кадра;

3) формирование полиадических кодов для столбцов массивов цветowych координат и столбцов массивов длин серий.

2. Разработанный метод сжимает изображения в **3 - 5** раз больше, чем существующий модифицированный метод длин серий и в среднем в **2.3** раза больше, чем метод сжатия на основе полиадического кодирования только длин серий (рис. 4).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Королёва Н.А. Сжимающее отображение на основе кодирования массивов длин серий // Системы обработки информации. – Харьков: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 5(15). – С. 67 - 74.
2. Королёв А.В., Баранник В.В, Гиневский А.М. Математическая модель представления цветowych координат полиадическими кодами // ИУСЖТ. – 2001. - №6. – С. 35 - 38.
3. Баранник В.В., Королёва Н.А. Организация массивов длин серий для полиадического кодирования // ИУСЖТ. – 2001. – №4. – С. 20 - 23.
4. Королёв А.В., Рубан И.В. Сжатие видеоданных сериями граничных элементов // Электронное моделирование. – 1997.– № 5.– С. 31 - 40.
5. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – 790 с.

Поступила 05.09.2001

**КОРОЛЁВ Анатолий Викторович**, Заслуженный изобретатель Украины, профессор, канд. техн. наук, профессор кафедры ХВУ. В 1969 году закончил Харьковское ВВКУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.

**БАРАННИК Владимир Викторович**, кандидат технических наук, научный сотрудник ХВУ. В 1997 году закончил Харьковское ВВКУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.

**ГИНЕВСКИЙ Александр Михайлович**, адъюнкт ХВУ. В 1994 году закончил Харьковское ВВКУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.