

## МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ УЗИ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ «ЭКО»

Меркулова Е.В., Панкова А.В.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

кафедра автоматизированных систем управления

E-mail: sachucha@mail.ru

### Abstract

*Merkulova E.V., Pankova A.V. Methods of the images USD handling in specialized computer system "IVF". This paper presents a new specialized computer system «IVF», which allows producing the classification of the image and doing the conclusion about presence of pathology on them. Markov random fields, textural properties of image, Euclidean metric and weighted Euclidean metric are using for this. The system was tested, and good results were received.*

**Общая постановка проблемы.** Актуальность разработки СКС «ЭКО» не вызывает сомнений, так в настоящее время бесплодие наблюдается у 10% супружеских пар и единственным способом получения беременности для них является экстракорпоральное оплодотворение (ЭКО), больше известное как ребенок из пробирки [1].

Для наступления беременности необходимы не только хорошие эмбрионы, но и полость матки, без патологических образований. Полость тела матки можно оценить с помощью ультразвукового исследования.

**Постановка задач исследования.** Основной задачей исследования является создание специализированной компьютерной системы «ЭКО», которая будет обрабатывать изображение, полученное при исследовании и ставить предварительное заключение о наличии патологии в полости матки.

Постановка предварительного диагноза должна осуществляться методом сравнения полученных данных обрабатываемого изображения полости матки с эталонными значениями, полученными путем обработки изображений нормальной полости матки.

Объектом исследования в СКС «ЭКО» является матка. Предметом исследования являются математические модели, текстурные признаки и квадратичные метрики, которые позволяют решить поставленную задачу.

**Решение задач и результаты исследования.** На рис. 1 приведена разработанная структура СКС «ЭКО», которая включает этапы получения, обработки данных и вывода результатов.

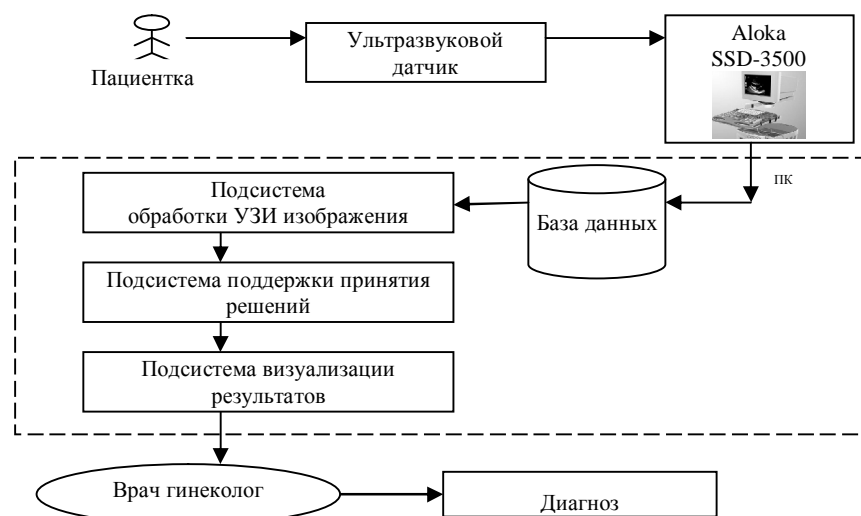


Рисунок 1. Структура СКС «ЭКО»

Информационное обеспечение СКС включает базу данных, в которой хранятся данные о пациентке и проведенном ей исследовании и куда БД заносится предварительное заключение, полученное после проведения обработки изображения.

Математическое обеспечение СКС основано на Марковской модели, текстурных признаках и квадратичных метриках.

Для обработки изображения используется матрица яркостной зависимости (матрица смежности), которая построена на основе Марковского процесса. Использование данной матрицы позволяет вычислить все необходимые параметры для классификации изображений.

Пусть  $P(a, b; j, k; r, \theta)$  - распределение частот (в нашем случае это будет матрица смежности) [3], измеренное в окне размером  $(2W + 1) \times (2W + 1)$ , где значения яркости квантованы в диапазоне  $0 \leq a, b \leq L - 1$ ,  $(j, k;)$  - точка изображения,  $(r, \theta)$  - угол и модуль вектора расстояния. Это распределение можно рассматривать как оценку совместного распределения вероятностей

$$P(a, b; j, k; r, \theta) \approx \Pr\{F(j, k) = a, F(m, n) = b\} \quad (1)$$

Далее представлены меры рассеяния для измерения текстуры. Момент инерции, дает текстурный признак в виде

$$T(j, k, r, \theta) = \sum_{a=0}^{L-1} \sum_{b=0}^{L-1} (a - b)^2 P(a, b; j, k; r, \theta) \quad (2)$$

Предположим, что рассматриваемая текстурная область инвариантна относительно поворота, тогда целесообразно усреднить по углу отдельные текстурные признаки и получим признак текстуры в вид среднего:

$$M_T(j, k, r) = (1/N_\theta) \sum_{\theta} T(j, k, r, \theta) \quad (3)$$

где суммирование производится по всем значениям угла, а  $N_\theta$  - число таких значений. Аналогично дисперсии признака текстуры, не зависящего от угла поворота, можно определить как

$$V_T(j, k, r) = (1/N_\theta) \sum_{\theta} [T(j, k, r, \theta) - M_T(j, k, r)]^2 \quad (4)$$

Другим необходимым параметром является «размах» признака, определяемый как

$$S(j, k, r) = \max_{\theta} \{T(j, k, r, \theta)\} - \min_{\theta} \{T(j, k, r, \theta)\} \quad (5)$$

Для анализа УЗИ изображения, по матрице совместимости также вычисляются следующие признаки [4], характеризующие текстуру: степень однородности или энергия, энтропия, максимальная вероятность, контраст, обратный момент разности.

Для классификации изображения также используются квадратичные метрики [5].

а) Евклидова метрика

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (p_{ik} - p_{jk})^2} \quad (6)$$

где  $d_{ij}$  - мера удаленности между  $i$ -ым и  $j$ -ым объектом.

б) Взвешенная Евклидова метрика

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m g_k (p_{ik} - p_{jk})^2} \quad (7)$$

где  $G = \text{diag}(g_1, g_2 \dots g_m)$  - диагональная матрица.

На основе математического обеспечения было разработано ПО, которое позволяет решить поставленную в работе задачу. Выполнение программы разделено на этапы: выбор пациента, выбор снимка УЗИ, выделение необходимой области, перевод яркостей изображения в шкалу градаций серого, построение Марковской модели, вычисление текстурных признаков и квадратичных метрик, на основании которых происходит классификация изображения и постановка предварительного заключения о наличии или отсутствии патологических образований на исследуемом снимке.

В техническое обеспечение системы входит аппарат УЗИ Aloka SSD-3500.

При тестировании программного обеспечения СКС «ЭКО» были проведены расчеты всех признаков, характеризующих текстуру изображения для десяти снимков УЗИ без патологий. Для каждого признака рассчитаны значения, которые далее используются в качестве эталонных.

Также, были проведены расчеты значений по всем признакам, характеризующим текстуру изображения для двадцати снимков УЗИ с патологиями.

Для таких признаков, как момент инерции, который дает текстурный признак, признак текстуры - вид среднего и признак текстуры, не зависящий от угла поворота, было вычислено среднее, максимальное и минимальное значение для каждого изображения, для всех снимков без патологических и с патологическими образованиями. По этим данным вычислялся процент различия между нормой и патологией.

Представим полученные результаты в виде таблиц и гистограмм для каждого признака.

Таблица 1. Показатели текстурных признаков: момент инерции, вид среднего и признак текстуры, не зависящий от угла поворота

	Изображение с патологией			Изображение без патологии			% различия между патологией и нормой		
	Среднее	Максимум	Минимум	Среднее	Максимум	Минимум	Среднее	Максимум	Минимум
<b>«Момент инерции, который дает текстурный признак»</b>									
Среднее	535,16	27772,77	47,74	492,32	27669,24	41,03	8,00	0,37	14,05
Максимум	917,76	60179,07	79,91	817,17	41257,59	57,56	10,96	31,5	27,98
Минимум	286,94	11557,99	2,69	320,6	13415,71	30,02	10,5	13,9	91,03
<b>«Признак текстуры - вид среднего»</b>									
Среднее	41,17	2136,4	3,87	37,87	2128,4	3,16	8,005	0,37	18,64
Максимум	70,6	4629,2	6,15	62,86	3173,66	4,43	10,96	31,44	27,98
Минимум	22,07	889,07	1,16	24,66	1031,98	2,31	10,5	13,85	49,93
<b>«Признак текстуры, не зависящий от угла поворота»</b>									
Среднее	281144,9	66768381,2	191,3	152802,4	59194076,5	117,1	45,6	11,3	38,8
Максимум	1105645,9	237368656	418,6	382756,1	111568104	217,1	65,3	52,9	48,1
Минимум	25428,1	8755833	14,8	42701,9	11796684	59,05	40,4	25,7	74,9

Полученные показатели текстурных признаков, таких как: момент инерции (рис. 2), вид среднего (рис.3), признак, не зависящий от угла поворота (рис. 4), представлены в виде гистограмм.

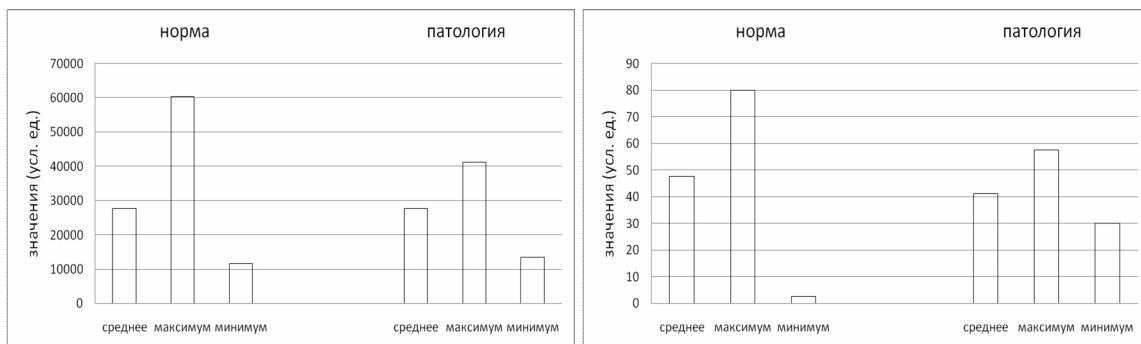


Рисунок 2. Значения Максимума и Минимума признака

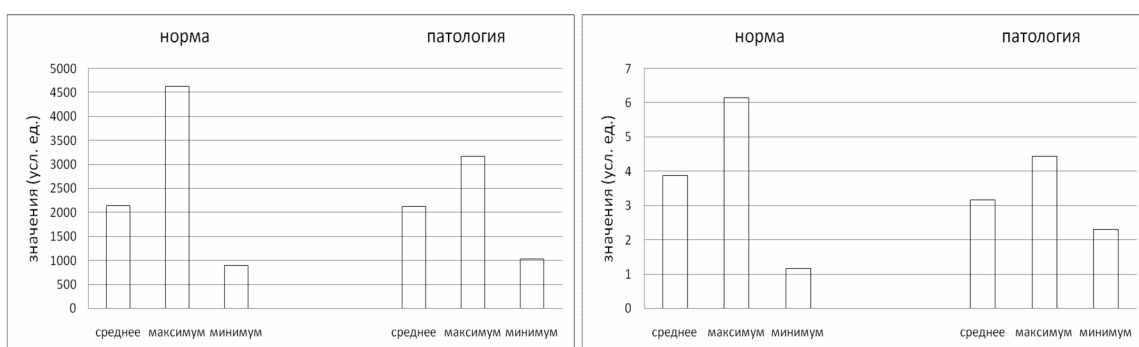


Рисунок 3. Значения Максимума и Минимума признака

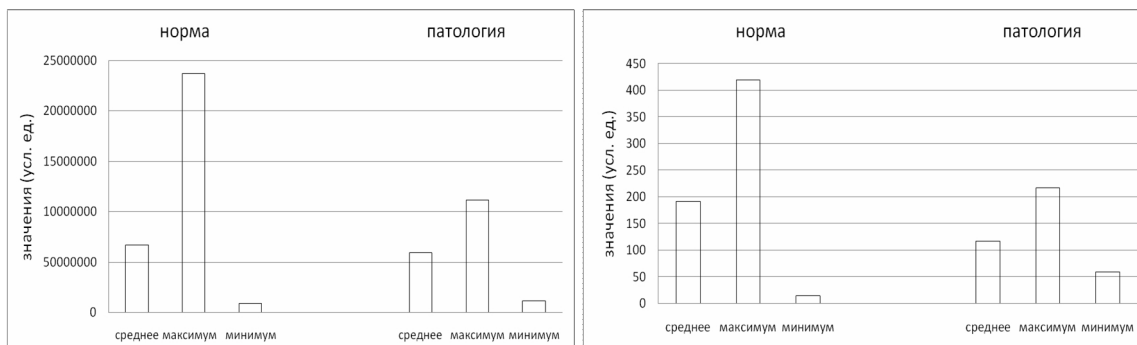


Рисунок 4. Значения Максимума и Минимума признака

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что эти текстурные признаки являются показательными и могут быть использованы при классификации изображений УЗИ.

Для таких текстурных признаков, как «размах» признака, степень однородности или энергия, максимальная вероятность, обратный момент разности, были вычислены значения признаков для всех изображений, из них выбраны среднее, максимальное и минимальное значения для изображений без патологических и с патологическими образованиями, подсчитаны проценты различия между ними (табл. 2).

Значения показателей текстурных признаков, таких как: «размах» признака, степень однородности или энергия (рис. 5), максимальная вероятность, обратный момент разности (рис. 6), представлены в виде гистограмм.

Таблица 2. Показатели текстурных признаков: «размах» признака, степень однородности или энергия, максимальная вероятность, обратный момент разности

	Изображение с патологией	Изображение без патологии	% различия между патологией и нормой
<b>«Размах» признака</b>			
Среднее	38119,02	38585,04	1,2
Максимум	60293,92	52776,35	12,46
Минимум	14082,72	23839,38	40,92
<b>«Степень однородности или энергия»</b>			
Среднее	0,0019	0,00039	79,33
Максимум	0,031	0,0016	94,81
Минимум	0,000177	0,000178	0,58
<b>«Максимальная вероятность»</b>			
Среднее	0,0136	0,0044	67,26
Максимум	0,177	0,037	79,01
Минимум	0,00044	0,00042	5,48
<b>«Обратный момент разности»</b>			
Среднее	2,9342E-05	2,8628E-05	2,43
Максимум	5,1938E-05	3,7474E-05	27,84
Минимум	1,8919E-05	1,9421E-05	2,58

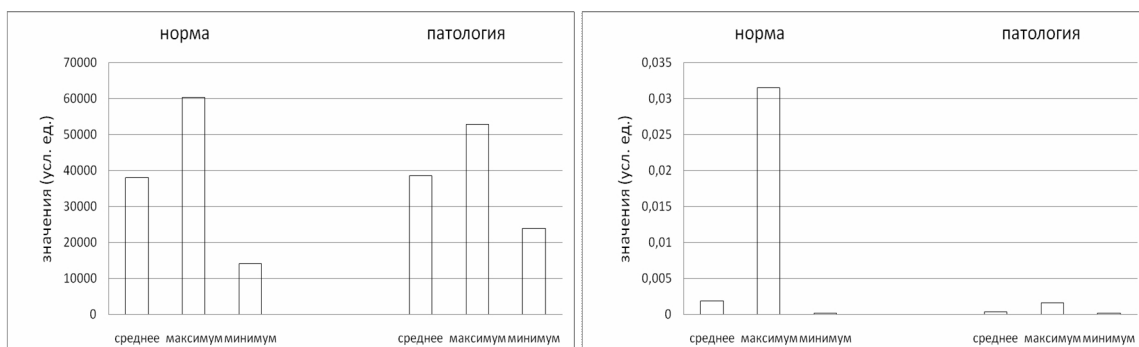


Рисунок 5. Показатели признаков «размах» признака и степень однородности или энергия

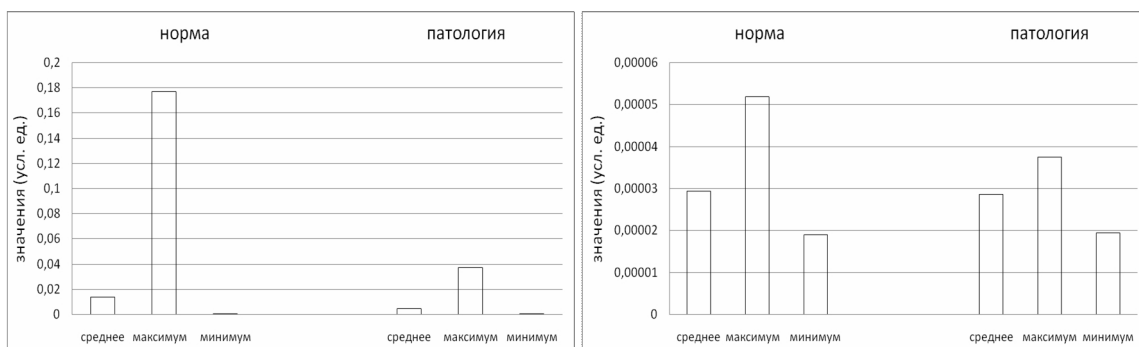


Рисунок 6. Показатели признаков максимальная вероятность и обратный момент разности

Анализ полученных результатов показал, что данные текстурные признаки могут быть использованы при классификации изображений.

Значения текстурных признаков энтропия и контраст получены аналогичным образом, что и для предыдущих признаков.

Значения показателей текстурных признаков контраст и энтропия представлены в виде гистограмм (рис. 7).

Таблица 3. Показатели текстурных признаков «контраст» и энтропия

	Изображение с патологией	Изображение без патологии	% различия между патологией и нормой
<b>Контраст</b>			
Среднее	0,0368	0,0368	0,212
Максимум	0,059	0,0526	10,94
Минимум	0,0239	0,026	8,147
<b>Энтропия</b>			
Среднее	11,1	10,51	5,3
Максимум	15,36	15,59	1,46
Минимум	3,63	3,29	9,28

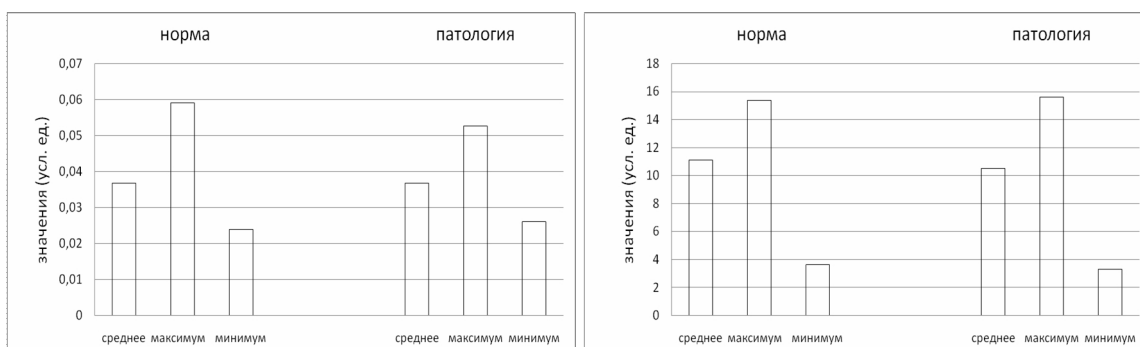


Рисунок 7. Показатели признаков контраст и энтропия

Анализ результатов данных признаков показал, что их использование в СКС «ЭКО» нецелесообразно, так как для сравниваемых изображений они имеют мало различные значения и по ним классификация изображения УЗИ полости матки правильно выполнена быть не может.

Для Евклидовой метрики и взвешенной Евклидовой метрики были вычислены значения суммы расстояний, среднего и максимального значения расстояния для всех изображений, затем усреднены значения для нормы и патологии. Результаты вычислений представим в виде таблиц и гистограмм.

Таблица 4. Показатели Евклидовой метрики и Взвешенной Евклидовой метрики

	Изображение с патологией			Изображение без патологии			% различия между патологией и нормой		
	Сумма	Среднее	Максимум	Сумма	Среднее	Максимум	Сумма	Среднее	Максимум
<b>Евклидова метрика</b>									
Среднее	5,56	2,88	6,61	58,15	0,00088	0,0035	72,08	72,08	61,81
Максимум	12,17	17,13	25,47	59,93	0,00091	0,0039	96,13	96,13	93,35
Минимум	24,21	24,21	20,72	54,48	0,00083	0,0028	1,113	1,113	0
<b>Взвешенная Евклидова метрика</b>									
Среднее	0,0026	4,0028E-08	0,0001018	0,0027	4,1217E-08	9,5072E-05	5,56	2,88	6,61
Максимум	0,0035	5,4048E-08	0,000153	0,0031	4,4791E-08	0,00011451	12,16	17,12	25,47
Минимум	0,0016	2,4915E-08	3,6301E-05	0,0021	3,2872E-08	4,5787E-05	24,21	24,21	20,72

Значения показателей Евклидовой метрики (рис.8) и Взвешенной Евклидовой метрики (рис. 9) представим в виде гистограмм.

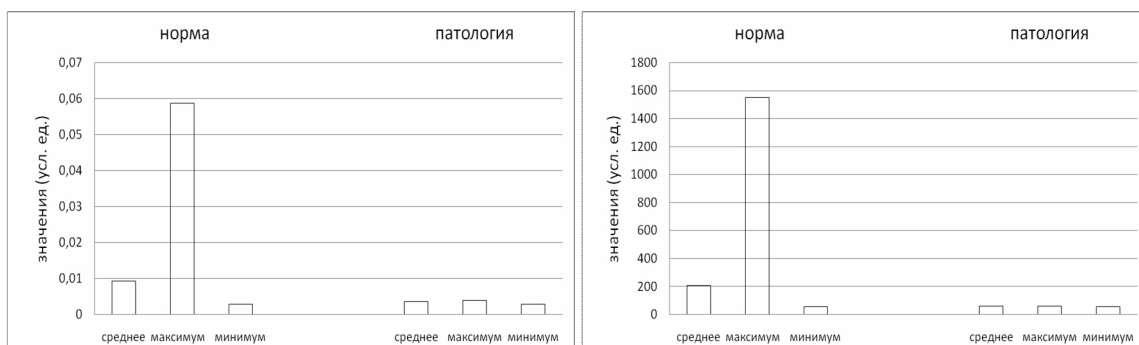


Рисунок 8. Значения Максимального и Суммы расстояний

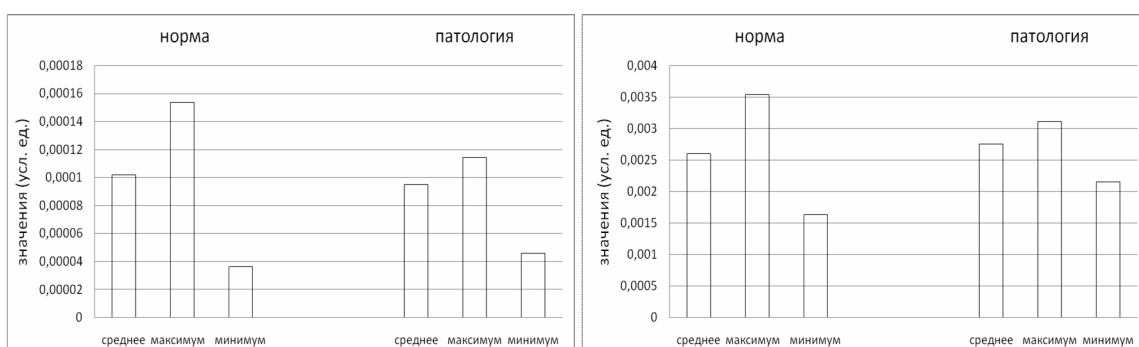


Рисунок 9. Значения Максимального и Суммы расстояний

Анализ результатов показал, что в СКС «ЭКО» с помощью рассмотренных квадратичных метрик можно определить, имеется ли на снимке УЗИ патология.

Тестирование СКС было проведено с использованием выбранных текстурных признаков и метрик на других снимках УЗИ. Тестируемые изображения разбиты на два вида «Норма» и «Патология». На приведенных графиках (рис. 10 и рис. 11) показаны результаты проведенного тестирования. Количество делений соответствует количеству признаков, с помощью которых изображение было правильно классифицировано.

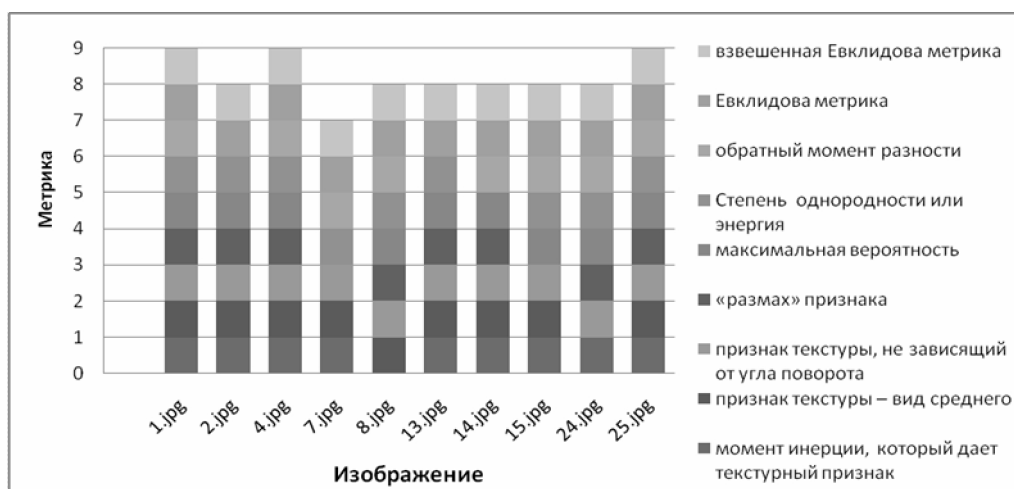


Рисунок 10. Результаты классификации изображений без патологии

Процент правильной классификации по каждому виду признака и метрик, для изображений без патологий и с патологиями представлен в табл. 7.

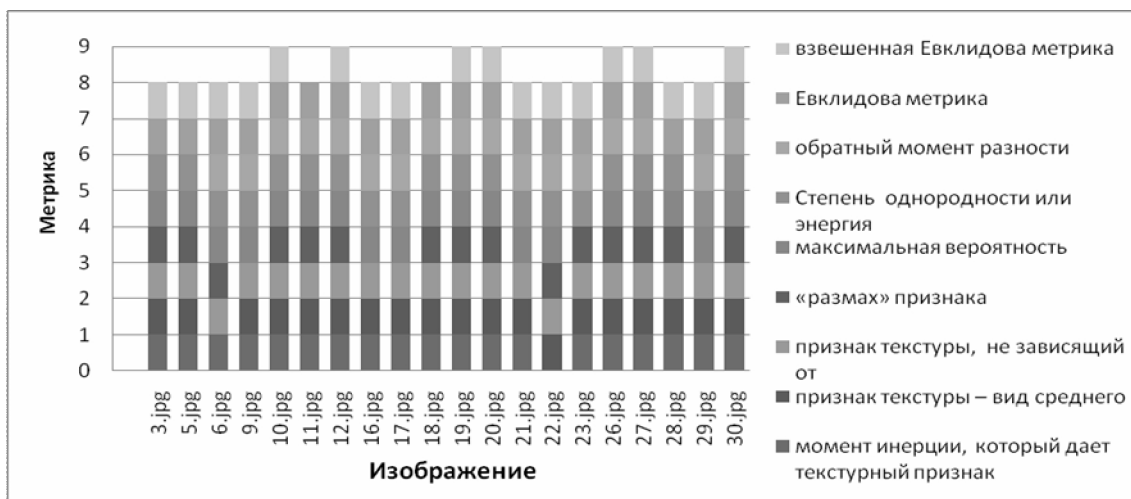


Рисунок 11. Результаты классификации изображений с патологиями

Таблица 7. Результаты классификации изображений

Имя файла	момент инерции, который дает текстурный признак	признак текстуры – вид среднего	признак текстуры, не зависящий от угла поворота	«размах» признака	максимальная вероятность	степень однородности или энергия	обратный момент разности	Евклидова метрика	взвешенная Евклидова метрика	Процент правильно классифицированных изображений, %
% для «Норма»	90	90	100	80	90	90	80	100	100	91,11
% для «Патология»	95	95	100	75	90	100	85	100	90	92,22

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что в 91,11% изображения без патологических образований классифицировались правильно, и в 92,22% случаев изображения с патологическими образованиями.

**Выводы.** Тестирование разработанной СКС показало, что система выполняет поставленную задачу. Применение Марковской модели, выбранных текстурных признаков и метрик эффективно при обработке и классификации изображений УЗИ. Т.о. применение Марковских моделей в обработке изображений УЗИ имеет большое будущее.

### Литература

1. Экстракорпоральное оплодотворение / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: [http://infertility.porped.ru/IVF/regimen\\_IVF](http://infertility.porped.ru/IVF/regimen_IVF)
2. Теория скрытых Марковских моделей и ее применение для оптического распознавания печатных символов / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: <http://kungurka.imm.uran.ru/inf/history33/sbornik/pdf/tsopkalo.pdf>
3. Цифровая обработка изображений в информационных системах / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: <http://www.optdesign.ru/book/242.pdf>
4. Методы анализа и синтеза текстур / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: <http://jakovlev.boom.ru/science/paper/paper1.pdf>
5. Кластерный анализ как средство типологического анализа / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: <http://www.sati.archaeology.nsc.ru/Home/pub/Data/?html=Chap721.htm&id=21>