

УДК 004.932.4

**А.Ю. Титова, А.Н. Шушура (канд. тех. наук, доц.)**  
ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Красноармейск  
кафедра компьютерных наук  
E-mail: a.titova.wk@gmail.com; leshu@i.ua

## **МЕТОДЫ СЕГМЕНТАЦИИ ТЕРМОГРАММ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

*Определены цели и задачи исследования, описан объект диагностики. Рассмотрены современные методы обработки термограмм при диагностике онкологических заболеваний молочной железы. Реализована статистическая обработка температурных показателей с расчетом диагностических признаков. Выявлен наиболее результативный метод сегментации термограмм при диагностике онкологических заболеваний молочной железы у женщин, который повышает качество визуальной оценки. Приведен подробный алгоритм полученного метода. Охарактеризован алгоритм k-средних для обработки термограмм, реализованный в среде MATLAB. Предложен метод информационной технологии диагностики онкологических заболеваний молочной железы у женщин на основе термограмм, который повышает эффективность диагностирования.*

**Ключевые слова:** сегментация, термограмма, диагностические признаки, алгоритм k-средних.

**Общая постановка задачи.** Онкологические заболевания молочной железы (МЖ) у женщин по показателю смертности занимают второе место после рака легких. Поэтому диагностика заболеваний на ранней стадии позволяет значительно снизить смертность пациентов после лечения. Важную роль при этом играют информационные технологии, средства и методы диагностики, определение их возможностей и пределов, поиск значимых элементов в маммологии при массовом скрининге [6]. Использование термограмм является одним из методов дифференциальной диагностики заболеваний МЖ, который активно развивается и дает хорошие показатели по выявлению заболеваний. Существующие информационные технологии проводят только количественную оценку асимметрии термограмм правой и левой МЖ [10], в них не значительно используются методы сегментации и фильтрации термограмм, что не показывает высоких результатов предварительной диагностики. Разработка эффективного метода сегментации термограмм является актуальной проблемой.

**Постановка задач исследования.** Целью исследования является улучшение визуализации очагов воспаления заболеваний МЖ путем разработки комбинации методов сегментации и фильтрации термограмм. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор современных методов обработки термограмм;
- сформировать основные этапы совмещения метода сегментации и фильтрации термограмм;
- реализовать сравнительный анализ полученных результатов на контрольных изображениях;
- оценить результаты с помощью критерия эффективности.

**Результаты разработки и исследований.** Объектом исследования является термограмма – это температурная карта участка или всего тела человека, отображаемая в виде изображения [2]. Любые изменения, приводящие к увеличению или уменьшению теплообращения в прилегающих к коже органах и тканях, приводят к изменению температуры в ней.

Температура над опухолью, как правило, выше на  $1,5 - 2^{\circ}\text{C}$  и более, чем над здоровой тканью. По мнению авторов [5, 7], термограммы могут отразить размер опухоли, стадию ее развития, состояние лимфоузлов, границы роста опухоли. Авторы [5, 8] подтверждают, что на термограммах четко определяется граница, топография и зона распространения патологического процесса.

Качественные характеристики (температурные показатели, термограммы) получают первичную статистическую обработку. Можно выделить следующие современные методы моделирования и обработки термограмм:

- сканирование термограмм и увеличение резкости;
- сглаживающая фильтрация, контрастирование, кадрирование;
- методы Кенни, Собеля, Роберта и д.р для выделения областей интереса [1, 9];
- выделение границ бинарных объектов, вращение [1, 4];
- построение 3D модели МЖ [3].

Для данного исследования лучше выбрать такие методы сегментации, как алгоритмы Кенни, Собеля и д.р., выделение границ бинарных объектов на термограммах, потому что они позволяют точно отследить необходимые контуры, им свойственна простота в реализации. Для повышения качества термограмм следует использовать фильтрацию. Основные этапы комбинирования метода сегментации и фильтрации термограмм МЖ приведены на рисунке 1.

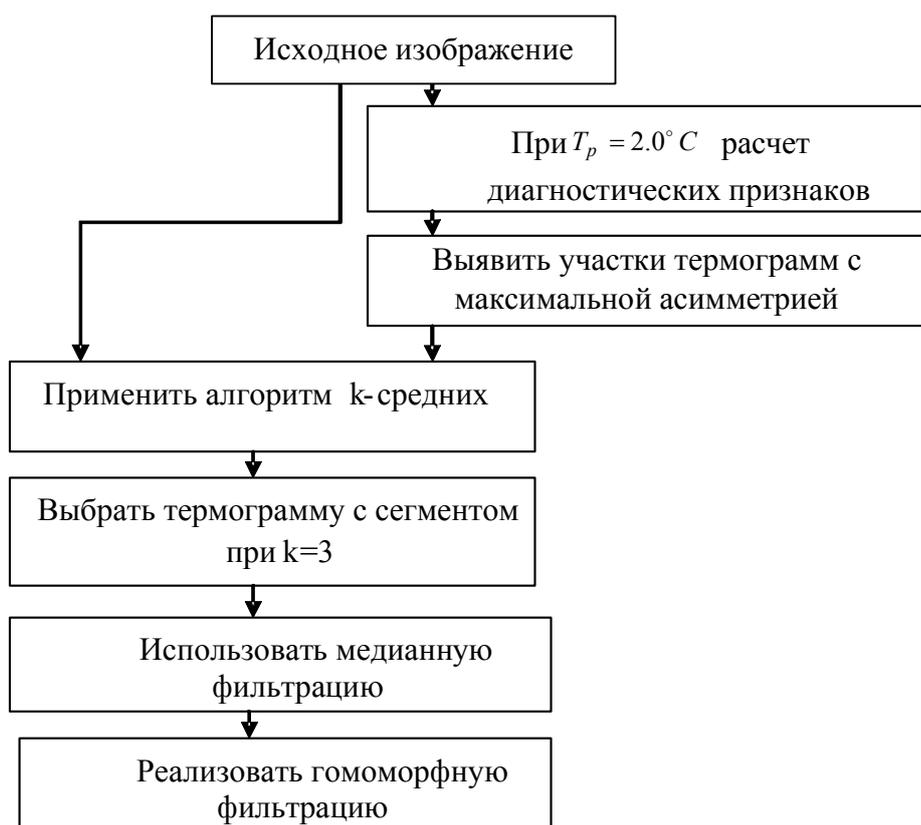


Рисунок 1 – Этапы разработанного метода сегментации термограмм

Детально охарактеризуем данные этапы:

1. Определить температурные показатели, которые превышают выбранный температурный порог  $T_p=2.0^{\circ}\text{C}$ .

2. Статистическая обработка температурных показателей, получение диагностических признаков: максимального локального превышения над средней температурой правой и левой МЖ и максимальной локальной асимметрии.

3. Выбрать термограмму с участками, где получены диагностические показатели. К исходной термограмме применить алгоритм  $k$ -средних.

4. Термограмму после кластеризации с кластерным сегментом  $k=3$  следует использовать в дальнейшей обработке. Данный сегмент максимально точно характеризует очаг воспаления МЖ.

5. Применить медианную фильтрацию с маской  $[3 \times 3]$  несколько раз.

6. Затем дважды на полученном изображении реализовать гомоморфную фильтрацию со сверткой:

$$h = [-1 \ -1 \ -1; -1 \ 8 \ -1; -1 \ -1 \ -1]. \quad (1)$$

Необходимо выполнить статистическую обработку температурных показателей, получая количественную оценку. За нее отвечают такие диагностические признаки, как максимальное локальное превышение над средней температурой правой и левой МЖ и максимальная локальная асимметрия. Первый параметр вычисляется следующим образом: рассчитываются средние температуры локальных областей термограммы, ограниченных сканирующим пятном выбранного размера, и определяются превышения этих локальных средних над средней температурой железы; максимальное из этих превышений и является значением параметра:

$$Lp = \max_{i=1,n} \max_{j=1,2} (Tav - Tavl_j(i)), \quad (2)$$

где  $Lp$  – максимальное локальное превышение;  $Tav$  – средняя температура МЖ;  $Tavl_j(i)$  – средняя температура  $i$ -ой локальной области всей МЖ;  $j$  – номер МЖ (1 – левая МЖ, 2 – правая).

Для найденного максимального локального превышения определяется квадрант, в котором оно расположено, и расстояние от его центра до центра соска. Второй признак вычисляется следующим образом: последовательным сканированием термограммы рассчитываются средние температуры симметричных локальных областей, ограниченных сканирующим пятном выбранного размера, и определяются разности этих средних [3]. Из всех разностей выбирается наибольшая:

$$as = \max_{i=1,n} (Tavl_1(i) - Tavl_2(i)), \quad (3)$$

где  $i$  – позиция текущей области;  $Tavl_1(i), Tavl_2(i)$  – средняя температура  $i$ -ой области в левой и правой МЖ соответственно;  $as$  – максимальная локальная асимметрия.

Следует отметить, что для более эффективного и информативного результата необходимо использовать: температурный порог патологий равный  $2^\circ\text{C}$ , а размер сканирующего пятна – 2, т.е. 4 кв. см. Так количественно получен участок с явным воспалительным процессом, который необходимо сегментировать и визуально выделить.

Предварительным этапом обработки термограмм является улучшение качества изображения: подавление шумов, контрастирование. Важнейшим этапом обработки термограмм является их сегментация. При сегментации на изображении можно обнаружить границы объектов, представленные участком, на котором происходит перепад яркости. Для определения границ использовались метод Кэнни, Собеля, выделение границ бинарных объектов [1]. Впервые предложено применить алгоритм  $k$ -средних для поиска значимых сегментов термограммы. Затем можно повторно использовать алгоритмы шумоподавления: медианную фильтрацию и N-D фильтрацию (гомоморфная фильтрация).

Программная реализация обработки тестовых изображений выполнена в среде MATLAB. Сначала необходимо воспользоваться алгоритмами выделения границ объектов для определения участков патологии на термограмме. Далее (см. рис. 2) показаны результаты реализации нескольких методов обработки термограмм.

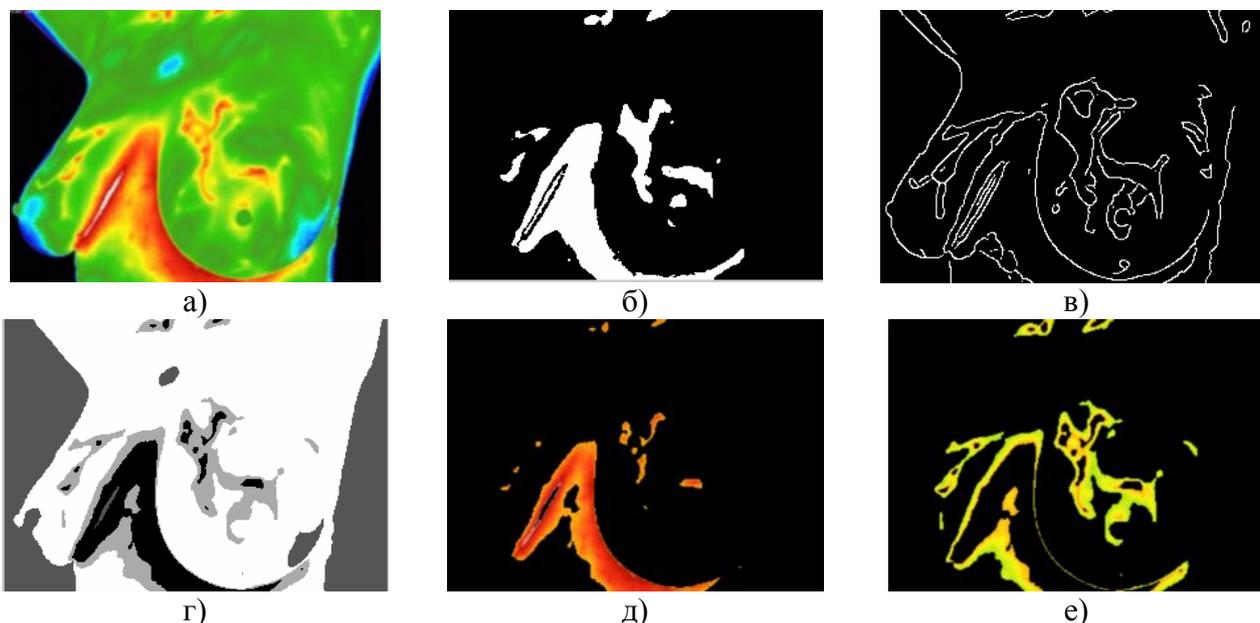


Рисунок 2 – Термограммы с различными методами сегментации:

- а) исходное изображение; б) термограмма с выделением границ бинарных объектов; в) выделение границ с помощью метода Кэнни; г) термограмма, отмеченная кластерными индексами при кластеризации; д, е) термограмма с различными кластерными сегментами

Алгоритм  $k$ -средних:

1. Выбирается  $k$ -центров кластеров, случайно или на основе некоторых предположений.
2. Назначается каждый пиксель изображения кластеру, чтобы свести к минимуму разницу между пикселем и центром кластера, посчитать полученное количество пикселей  $x_i$ .
3. Пересчитываются центры кластера путем усреднения всех точек в кластере.

Повторяются шаги 2 и 3 до тех пор, пока не достигается конвергенция (например, нет пикселей, изменяющих кластера). В этом случае разница будет в квадрате или абсолютная разницей между пикселем и центром кластера. Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать дисперсию на точках каждого кластера:

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2, \quad (4)$$

где  $k$  – число кластеров;  $S_j$  – полученные кластеры;  $x_j$  и  $\mu_i$  – центры масс векторов  $x_j \in S_i$ . Качество решения зависит от исходного набора кластеров и значение  $k$  [9].

При визуальной оценке и сравнительном анализе полученных термограмм после обработки алгоритмами Кэнни, выделения границ бинарных объектов,  $k$ -средних наиболее успешное выделение объекта гипертермии получено при кластеризации.

Термограмма с кластерным сегментом  $k=3$  (см. рис. 2, г) используется в дальнейшей обработке. Данный сегмент максимально точно характеризует очаг воспаления МЖ. Поэто-

му следует применить к нему медианную фильтрацию с маской [3x3] несколько раз. Затем дважды на полученном изображении реализовать гомоморфную фильтрацию со сверткой (1). Необходимо рассчитать количество пикселей определенной яркости на полученном изображении  $x_i$ .

При такой последовательности медианной и гомоморфной фильтрации получилось убрать шум на термограмме, получая четкие границы объекта гипертермии (см. рис. 3, в).



Рисунок 3 – Термограммы с применением фильтрации: а) медианная фильтрация к термограмме, отмеченной кластерными индексами; б) медианная фильтрация к термограмме, с 3-м кластерным сегментом; в) медианная и гомоморфная фильтрация к термограмме, с 3-м кластерным сегментом.

Полученный метод сегментации и фильтрации позволяет обнаружить границы очага воспаления, зону распространения патологического процесса. Упрощает дальнейшую работу с термограммой, дает возможность нахождения площади очага и наиболее пиковых точек гипертермии или гипотермии. Для оценки эффективности разработанного метода сегментации и фильтрации используется такой критерий:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (x_i - y_i)^2}, \quad (5)$$

где  $x_i$  – количество пикселей превышающих порог яркости в выбранном кластере при кластеризации;  $y_i$  – количество пикселей превышающих порог температуры;  $l$  – количество термограмм с применением комбинации метода сегментации и фильтрации.

При эффективности предложенного метода сегментации и фильтрации термограмм значение критерия должно стремиться к нулю. Оценка эффективности была проведена на около 200 термограммах. Сначала рассчитали критерий для 50, затем для 100 и 200 термограмм. Полученные критерии имеют следующее значение:

$$\sigma_{50} = 0,1506; \sigma_{100} = 0,089; \sigma_{200} = 0,062.$$

Значения данного критерия показывают, что реализованный метод является эффективным. Результаты, полученные после апробации метода сегментации и фильтрации на различных термограммах, следует использовать для повышения эффективности дифференциальной диагностики, и дают основу для метода информационной технологии диагностики онкологических заболеваний МЖ у женщин на основе термограмм.

#### **Выводы.**

В процессе исследования произведен анализ современных методов обработки термограмм. Реализована статистическая обработка термограмм с расчетом диагностических при-

знаков – максимальное локальное превышение и максимальная локальная асимметрия. Программная реализация методов сегментации термограмм показала, что методы выделения бинарных границ объектов и алгоритм Кэнни дают хорошие результаты. Впервые примененный алгоритм к-средних с последующей медианной и гомоморфной фильтрацией показывает самые лучшие результаты при визуальной оценке. При оценке эффективности получены минимальные значения критерия, что говорит об эффективности разработанного метода. Планируется дальнейшая экспериментальная проверка метода с целью создания информационной технологии диагностики онкологических заболеваний МЖ, позволяющей повысить эффективность процесса дифференциальной диагностики.

### Список использованной литературы

1. Титова А.Ю. Цифровая обработка изображений в маммографии / А.Ю. Титова // Сборник материалов II Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Донецк, 2011. № 3. – С.111 – 117.
2. Титова А.Ю. Специализированная компьютерная система диагностики заболеваний молочной железы / А.Ю. Титова // Сборник материалов VIII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. «Информатика и компьютерные технологии – 2012». – Донецк, 2012. – С.116 – 121.
3. Титова А.Ю. Специализированная компьютерная система обработки термомаммографических изображений / А.Ю. Титова // Сборник материалов III Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Донецк, 2012. – С. 87 – 92.
4. Хмелевой С.В. Детектирование изображений объектов с известной геометрией / С.В. Хмелевой, С.Ю. Землянская, А.Ю. Титова // Збірник тез VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці». – Луганск, 2014. – С.122 – 127.
5. Приходченко В.В. Применение контактного цифрового термографа ТКЦ-1 в диагностике заболеваний молочных желез / В.В. Приходченко, Ю.В. Думанский, О.В. Приходченко, В.А. Белошенко //Руководство для врачей. – Донецк, 2007. – 191 с.
6. Белошенко В.А. Комплекс аппаратуры для ранней диагностики онкологических заболеваний методом контактной цифровой термографии / В.А. Белошенко, В.Д. Дорошев, [ и др.]// Наука та інновації. – Донецк, 2007. № 5.– С. 11 – 25.
7. Чаплюк М.И. Опыт применения отечественных тепловизоров для диагностики рака / М.И. Чаплюк, О.Г Семенов – Тепловидение в медицине. – 1981. – Ч.II. – С.10 – 14.
8. Head J.F. Breast thermography is a noninvasive prognostic procedure that predicts tumor growth rate in breast cancer patients / J.F. Head, F.Wang, [etc.]// Annals New York Academy of sciences. – 1993. – P.153 – 158.
9. Эль-Хатиб С.А. Сравнительный анализ алгоритмов выделения контуров медицинских изображений / С.А. Эль-Хатиб, Ю.А. Скобцов // Сборник материалов к I Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг 2011». – Донецк, 2011 – С.52 – 57.
10. Скрипаль А.В. Тепловизионная биомедицинская диагностика. [учеб. пособие для студ. фак. нано– и биомед. технологий, обучающихся по спец. «Медицинская физика» и направлению «Биомедицинская инженерия»] / А.В. Скрипаль, А.А. Сагайдачный, Д.А. Усанов. – Саратов, 2009. – 118 с.

### References

1. Titova A.Yu. (2011), “Digital image processing in mammography”, II *Vseukrainskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [II All-

- Ukrainian scientific-technical conference of students, graduate students and young scientists], Donetsk, Ukraine, pp. 111 – 117.
2. Titova A. Yu. (2012), “Specialized computer system for the diagnosis of breast disease”, *VIII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [VIII International Scientific Conference of students and young scientists.], *Informatika i komp'yuternye tekhnologii – 2012* [Computer science and computer technology – 2012], Donetsk, Ukraine, pp. 116 – 121.
  3. Titova A.Yu. (2012), “Specialized computer system for processing of thermomammographic images”, *III Vseukrainskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [II All-Ukrainian scientific-technical conference of students, graduate students and young scientists], Donetsk, Ukraine, pp. 87 – 92.
  4. Khmelevoy S.V., Zemlyanskaya S.Yu., Titova A.Yu. (2014), “Detection of images of objects with known geometry”, *VIII Vseukrainskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [VIII All-Ukrainian scientific-practical conference], *Suchasni tendentsii rozvitku informatsiynikh tekhnologiy v nauksi, osviti ta ekonomitsi* [Modern trends in information technologies in science, education and the economy], Lugansk, Ukraine, pp. 122 – 127.
  4. Prihodchenko V.V., Dumanskij Ju.V., Prihodchenko O.V., Beloshenko V.A. (2007), “The use of contact digital thermograph TCD-1 in the diagnosis of breast diseases”, *Rukovodstvo dlya vrachey*, Donetsk, Ukraine.
  5. Beloshenko V.A., Doroshev V.D., Karchanov A.S., Prihodchenko V.V. (2007), “The use of contact digital thermograph TCD-1 in the diagnosis of breast diseases”, *Science and Innovation*, vol. 3, no.5, pp. 11 – 25.
  6. Chaplyuk M.I. and Semenov O.G. (1981), “Experience of application domestic thermal imager for cancer diagnosis”, *Teplovidenie v meditsine*, Vol. 2, pp. 10 – 14.
  7. Head J.F., Wang F., Elliott R.L. (1993) “Breast thermography is a noninvasive prognostic procedure that predicts tumor growth rate in breast cancer patients”, *Annals New York Academy of sciences*, pp.153 – 158.
  8. El'-Khatib S.A. and Skobtsov Yu.A. (2011) “Comparative analysis of algorithms for edge detection of medical images”, *I Vseukrainskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [I All-Ukrainian scientific-technical conference of students, graduate students and young scientists], Donetsk, Ukraine, pp.52-57.
  9. Skripal' A.V., Sagaydachnyy A.A., Usanov D.A. (2009), “Thermal biomedical diagnostics”, *Publishing Saratov State University*, Saratov, Russia.

Поступила в редакцію:  
25.03.2015

рецензент:  
д-р техн. наук, проф. Е.Е. Федоров

**А.Ю. Тітова, О.М. Шушура**

**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»**

**Методи сегментації термограм під час діагностики онкологічних захворювань молочної залози.** Визначено мету і завдання дослідження, описаний об'єкт діагностики. Розглянуто сучасні методи обробки термограм під час діагностики онкологічних захворювань молочної залози. Реалізована статистична обробка температурних показників з розрахунком діагностичних ознак. Виявлено найбільш результативний метод сегментації термограм під час діагностики онкологічних захворювань молочної залози у жінок, який підвищує якість візуальної оцінки. Наведено докладний алгоритм отриманого методу. Охарактеризований алгоритм *k*-середніх для обробки термограм, реалізований у середовищі MATLAB. Запропоновано метод інформаційної технології діагностики онкологічних захворювань молочної залози у жінок на основі термограм, який підвищує ефективність діагностування.

**Ключові слова:** сегментація, термограма, діагностичні ознаки, алгоритм *k*-середніх.

**A. Yu. Titova, A.N. Shushura**

**Donetsk National Technical University**

**Segmentation methods of thermograms in breast cancer diagnosis.** Information technologies, means and methods of diagnostics, determination of their opportunities and limits, search of significant elements play an important role in diagnostics process of breast oncological diseases in mammology in case of mass screening. The existing information technology did not show great results in preliminary diagnosis, it did not use the methods of segmentation and filtering thermograms. Purpose of the research is the improvement of visualization of inflammation focuses of breast disease by developing a method of segmentation and filtering thermograms. To reach the goal we need to review the modern methods of processing of thermal images, to form the main steps of the method of segmentation and filtering thermograms and to realize a comparative analysis of the results obtained in the reference image. Modern methods of processing of thermal images in diagnosing of breast cancer were reviewed. Statistical processing of thermograms with the calculation of diagnostic features was implemented - the maximum local exceeding and the maximum local asymmetry. Program implementation of methods of segmentation of thermal images showed that methods of separation of binary boundaries objects` and Canny's algorithm yield good results. The most productive method of segmentation of thermal images in diagnostics process of breast oncological diseases in women which increases quality of a visual assessment is revealed. The detailed algorithm of the received method is given. The algorithm of  $k$ -averages is applied to segmentation of the thermal images. The thermal images with the cluster  $k=3$  segment needs to be used in later processing. This segment most precisely characterizes the center of an inflammation of a breast. Therefore it is necessary to apply to it median filtering with the mask  $[3 \times 3]$  several times. Then twice the image obtained to realize homomorphic filtering with convolution. The developed method shows the best results in comparison with the existing methods of segmentation of thermal images. This method needs to be used for testing of accuracy of differential diagnostics process of breast oncological diseases on its basis. Further experimental check of the method for the purpose of creation of diagnostics process of breast oncological diseases, allowing increasing efficiency of diagnostics was planned.

**Keywords:** segmentation, thermogram, diagnostic features,  $k$ -means algorithm.



**Титова Анастасия Юрьевна**, Украина, окончила Донецкий национальный технический университет, аспирант кафедры компьютерных наук, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (пл. Щибанкова, 2, г. Красноармейск, 85300, Украина). Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и исследование методов информационных технологий диагностики онкологических заболеваний на основе термограмм



**Шушура Алексей Николаевич**, Украина, окончил Донецкий национальный университет, канд. тех. наук, доцент кафедры компьютерных наук, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (пл. Щибанкова, 2, г. Красноармейск, 85300, Украина). Основное направление научной деятельности – системный анализ, моделирование, нечеткое управление, информационные технологии