

УДК 621.391

АЛГОРИТМ РЕГРЕССИВНОГО ВОЛНОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.В. РАБЦЕВИЧ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 10 ноября 2016

Предложен метод сегментации изображений на основе регрессивного волнового выращивания областей. Проведен анализ метода по сравнению с известными алгоритмами. Показано, что метод устойчив к изменению поворота и значительным перепадам яркости.

Ключевые слова: сегментация изображений, наращивание областей.

Введение

Цель сегментации заключается в упрощении и/или изменении представления изображения для облегчения его анализа. В стандартных задачах, сегментация обычно используется для того, чтобы выделить объекты и границы. Результатом сегментации является множество сегментов, которые вместе покрывают все изображение, или множество контуров, выделенных на изображении. Пиксели в сегменте похожи по некоторой характеристике или вычисленному свойству, например, по цвету, яркости или текстуре. Соседние сегменты значительно отличаются по этой характеристике.

Особенности рассматриваемых в данной статье АСМ-изображений (изображений полученных с помощью атомно-силовой микроскопии) заключается в том, что яркость каждого отдельного фрагмента несет информацию о высоте его расположения в пространстве (т.е. чем ярче точка на изображении, тем выше она находится, аналогично, самым тусклым точкам соответствуют элементы на подложке).

Современные методы сегментации берут начало от четырех базовых методов, основанных на формировании областей с использованием водораздела [1-4], квантовании по гистограмме [5], разделении и слиянии областей с использованием квадрата-дерева [6-8], выращивании областей [9-12]. Однако для описанных выше изображений все стандартные способы сегментации не работают. К недостаткам большинства алгоритмов можно отнести: необходимость определения центров кристаллизации или задания некоторого правила для их обнаружения; выращивание областей в отдельном процессе, без учета ситуации на других участках сегментируемого изображения, что для определенного класса изображений является существенным минусом; необходимость правила окончания выращивания областей. В этой связи актуальна задача разработки метода сегментации изображений, учитывающего недостатки вышеуказанных.

Целью работы является разработка алгоритма сегментации АСМ-изображений.

Алгоритм выращивания областей

Алгоритм выращивания областей в простейшей его реализации можно описать в несколько этапов:

1. На первоначальном этапе, на изображении выбираются точки роста, принадлежащие выделяемым областям (например, точки с максимальным уровнем яркости).

2. Далее вокруг выбранных точек начинается рост областей, то есть присоединение соседних с использованием определенного критерия близости (например, пороговая величина).

3. Остановка роста областей по критерию (например, превышение порога отклонения яркости новых точек от заданного уровня яркости центра кристаллизации).

Алгоритм волнового выращивания областей

Еще одним алгоритмом для сегментации изображений является алгоритм на основе волнового выращивания областей. Главное его отличие от предыдущего, является квазипараллельное выращивание областей вокруг выбранных точек кристаллизации, что предоставляет преимущество при разделении областей с плавным перепадом яркости.

Данный алгоритм реализуется в несколько этапов:

1. Выбор на первоначальном изображении точек роста.
2. После выбора стартовых точек рассматриваются соседние, при выполнении определенных условий происходит параллельное увеличение начальных областей.
3. После выполнения анализа всех соседних точек первоначального множества, производится анализ соседних точек для обновленных областей роста.
4. Точки роста, добавленные на каждом шаге, называются фронтом, а объединение данных точек называется волной.

Алгоритм регрессивного волнового выращивания областей

Предлагается алгоритм регрессивного волнового выращивания областей для сегментации АСМ-изображений на основе присоединения к областям новых элементов с учетом их уровня квантования. Отличие предложенного алгоритма от классического алгоритма выращивания областей [13] заключается в квазипараллельном увеличении размеров выделенных областей, что позволяет повысить точность сегментации изображений с плавными перепадами яркости. Предложенный алгоритм отличается от алгоритма волнового выращивания областей [13] выбором начальных точек роста областей по уровням квантования, начиная с наибольшего, и увеличением областей за счет постепенного присоединения к ним соседних элементов, принадлежащих нижнему смежному уровню квантования, что позволяет повысить точность сегментации топографических изображений при сопоставлении высоты точки сканирования со значением соответствующего пикселя.

Исходными данными для алгоритма являются матрица $M_z = \|m_z(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ зондирования, в которой значение каждого B -разрядного элемента $m_z(y, x) \in [0, 2^B - 1]$ определяется высотой соответствующей точки поверхности, и пороги начала Δ_H и окончания Δ_N регистрации среза вертикального профиля поверхности, которые задают условия отделения локальных склонов поверхности от вершин и подложки, где Y, X – размеры матрицы сканирования по вертикали и горизонтали.

Алгоритм состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Инициализация матрицы сегментации. Формируется матрица $M_s = \|m_s(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ сегментации, элементы которой определяются с помощью выражения $m_s(y, x) \leftarrow 0$ при $y = 0, \overline{Y-1}, x = 0, \overline{X-1}$. Счетчику C_s сегментов присваивается нулевое значение: $C_s \leftarrow 0$.

Шаг 2. Инициализация счетчика циклов прогрессивной сегментации. Счетчику C_q циклов прогрессивной сегментации присваивается значение верхнего уровня квантования: $C_q \leftarrow 2^B - 1$.

Шаг 3. Начало цикла прогрессивной сегментации.

Формирование матрицы значимости для C_Q -го уровня квантования. Формируется матрица $M_Q(C_Q) = \|m_Q(C_Q, y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ значимости для C_Q -го уровня квантования, элементы которой определяются с помощью выражения

$$\begin{cases} (m_Z(y, x) = C_Q) \Rightarrow (m_Q(C_Q, y, x) \leftarrow 1), \\ (m_Z(y, x) \neq C_Q) \Rightarrow (m_Q(C_Q, y, x) \leftarrow 0) \end{cases}$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

Шаг 4. Проверка матрицы значимости C_Q -го уровня квантования на нуль. Вычисляется сумма всех элементов матрицы $M_Q(C_Q)$ значимости для C_Q -го уровня квантования с помощью выражения

$$S_Q = \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} m_Q(C_Q, y, x).$$

Если $S_Q = 0$, то осуществляется переход на окончание цикла прогрессивной сегментации (шаг 14).

Шаг 5. Проверка счетчика сегментов на нуль. Если $C_S = 0$, то переход на шаг 12 к поиску новых областей.

Шаг 6. Инициализация счетчика циклов волновой сегментации. Счетчику C_W циклов волновой сегментации присваивается нулевое значение: $C_W \leftarrow 0$.

Шаг 7. Начало цикла волновой сегментации.

Формируется матрица $M_T(C_Q, C_W) = \|m_T(C_Q, C_W, y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ наращивания существующих областей C_Q -го уровня квантования и C_W -уровня сегментации, элементы которой определяются с помощью выражения $m_T(C_Q, C_W, y, x) \leftarrow 0$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

Шаг 8. Волновое наращивание существующих областей. Элементы матрицы $M_T(C_Q, C_W)$ переопределяются с помощью выражения

$$\begin{aligned} (m_S(y, x) \neq 0) \wedge (m_Q(C_Q, y + j, x + i) = 1) \wedge (m_T(C_Q, C_W, y + j, x + i) = 0) \Rightarrow \\ \Rightarrow (m_T(C_Q, C_W, y + j, x + i) \leftarrow m_S(y, x)) \end{aligned}$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$, $j = \overline{-1, 1}$, $i = \overline{-1, 1}$.

Шаг 9. Проверка условия выхода из цикла волнового наращивания областей. Определяется число S_T значимых элементов матрицы $M_T(C_Q, C_W)$ с помощью выражения

$$S_T = \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} m_T(C_Q, C_W, y, x)$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

Если $S_T = 0$ (новых присоединяемых элементов нет) осуществляется выход из цикла волновой сегментации и переход на шаг 12. Значение счетчика C_W циклов волновой сегментации указывает на число слоев роста.

Шаг 10. Обновление матрицы сегментации. В матрицу сегментации M_S добавляются новые значимые элементы с помощью выражения

$$m_s(y, x) \leftarrow m_s(y, x) + m_T(C_Q, C_W, y, x)$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

Шаг 11. Окончание цикла волновой сегментации. Значение счетчика C_W циклов волновой сегментации увеличивается на единицу: $C_W \leftarrow C_W + 1$ и осуществляется переход в начало цикла волновой сегментации на шаг 7.

Шаг 12. Формирование новых областей. Элементы матрицы $M_Q(C_Q)$, удовлетворяющие условию

$$(m_Q(C_Q, y, x) = 1) \wedge (m_s(y, x) = 0)$$

сегментируются с помощью алгоритма выращивания областей [13]. В результате формируется матрица $M_N(C_Q) = \left\| m_N(C_Q, y, x) \right\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ новых областей C_Q -го уровня квантования, номера элементов которой $m_N(C_Q, y, x) \in [1, C_N(C_Q)]$ указывают на изолированные совокупности единичных элементов матрицы $M_Q(C_Q)$, удовлетворяющих условию (1), где $C_N(C_Q)$ – число сегментов, выделенных в матрице $M_Q(C_Q)$.

Шаг 13. Дополнение матрицы сегментации новыми областями. Осуществляется перенос номеров из матрицы $M_N(C_Q)$ новых областей в матрицу сегментации M_S и приращение счетчика сегментов с помощью выражений

$$(m_N(C_Q, y, x) > 0) \Rightarrow (m_s(y, x) \leftarrow m_N(C_Q, y, x) + C_S)$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$,

$$C_S = C_S + C_N(C_Q).$$

Шаг 14. Окончание цикла прогрессивной сегментации. Значение счетчика C_Q циклов прогрессивной сегментации уменьшается на единицу: $C_Q \leftarrow C_Q - 1$. Затем счетчик C_Q циклов проверяется на отрицательное значение. Если $C_Q \geq 0$, то осуществляется переход в начало цикла прогрессивной сегментации (шаг 3 алгоритма). Если $C_Q < 0$, то осуществляется выход из цикла и завершение алгоритма.

В результате выполнения данного алгоритма формируется матрица M_S сегментации, номера элементов которой $m_N(C_Q, y, x) \in [1, C_N(C_Q)]$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$ указывают на сегменты, к которым они принадлежат.

Оценка эффективности алгоритмов выращивания областей для сегментации топографических изображений

На рис. 1 показаны АСМ-изображения для которых разрабатывался алгоритм регрессивного волнового выращивания. Как говорилось ранее, самые светлые участки являются самыми высокими. Также на всех изображениях имеются погрешности измерительного метода, с помощью которого эти изображения были получены, в виде продолговатых светлых линий, которые могут вносить значительные искажения в стандартные алгоритмы сегментации.

Далее на рис. 2 показаны результаты для алгоритма выращивания областей, из которых можно сделать вывод, что области, имеющие вершины на разных уровнях слипаются, а однородные области с перепадами яркости разделяются на отдельные сегменты. К тому же в данный алгоритм чувствителен к вносимым при сканировании помехам (рис. 2, в).

На рис. 3 представлены результаты для алгоритма волнового выращивания областей. На полученных изображениях видно, что данный алгоритм разделяет одинаковые области при наличии плавного изменения яркости, что приводит к разбиению одинаковых участков.

На рис. 4 показаны результаты для разработанного регрессивного волнового алгоритма сегментации. Как видно на полученных изображениях при квазипараллельном выращивании сохраняется большее количество информации о разрастании области начиная с ее вершины. Так же данный метод более устойчив к искажениям, которые видны на рис. 1.

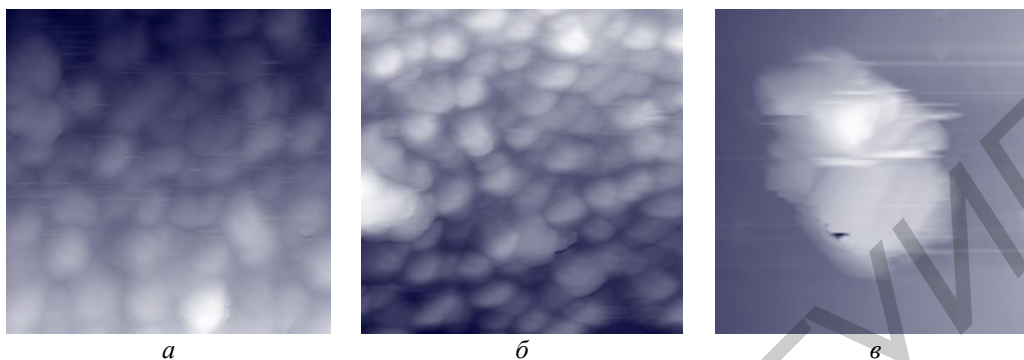


Рис. 1. Исходные АСМ-изображения

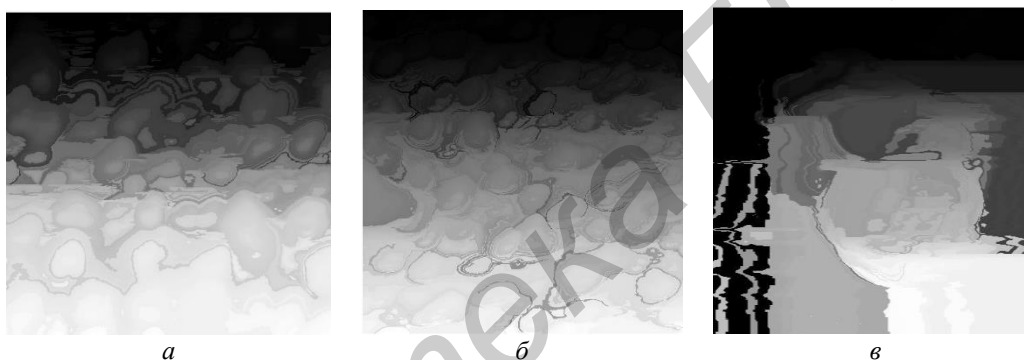


Рис. 2. Результат применения алгоритма выращивания областей

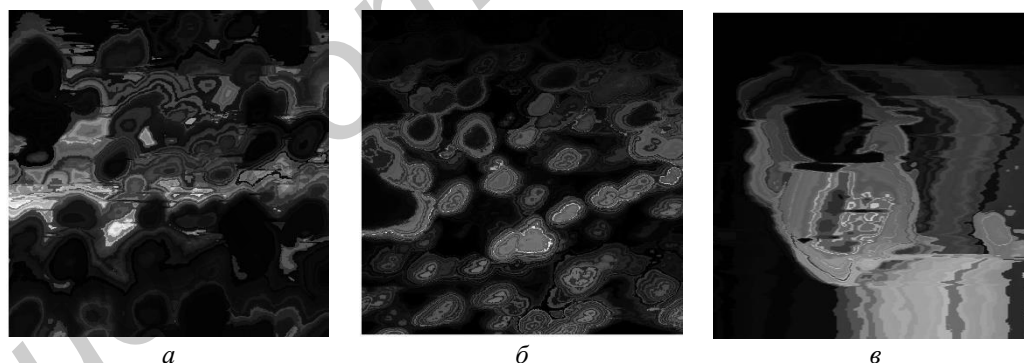


Рис. 3. Результат применения алгоритма волнового выращивания областей

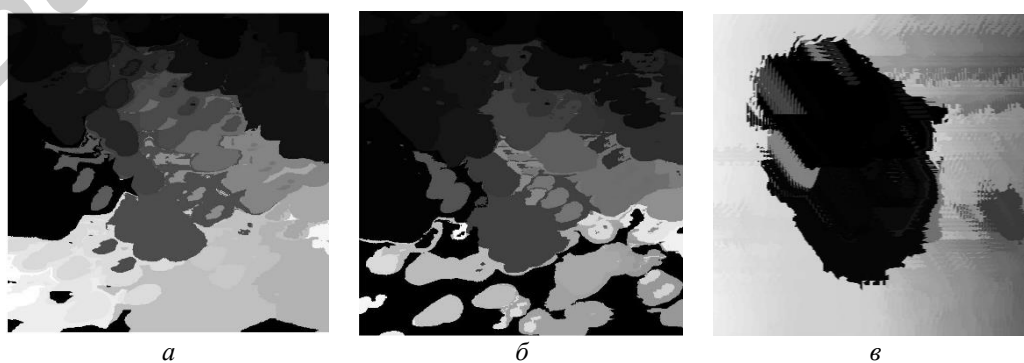


Рис. 4. Результаты сегментации разработанного алгоритма

На рис. 5 приведена зависимость количества сегментов от изменения поворота изображения, характеризующая устойчивость границ сегментов. Устойчивость оценивается по отношению количества сегментов базового изображения к количеству сегментов модифицированного изображения. Установлено, что предложенный алгоритм проигрывает в стабильности числа сегментов в 1,5 раза при изменении угла поворота по сравнению с алгоритмом сегментации на основе выращивания областей. По сравнению с алгоритмом волнового выращивания областей выигрывает в стабильности количества числа сегментов в 1,05 раза при изменении поворота изображения.

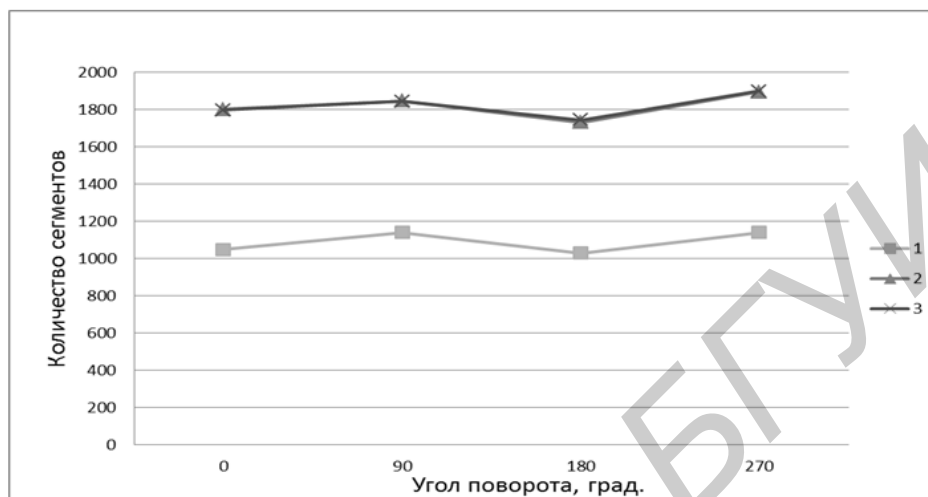


Рис. 5. Зависимости количества сегментов от изменения угла поворота изображения (1 – алгоритм выращивания областей; 2 – алгоритм волнового выращивания областей; 3 – предложенный алгоритм)

На рис. 6 приведена зависимость числа сегментов от изменения яркости, характеризующая устойчивость результатов сегментации. Устойчивость оценивается по отношению числа сегментов для базового изображения к числу сегментов для модифицированного изображения, подвергнутого изменению яркости. Установлено, что предложенный алгоритм выигрывает в стабильности числа сегментов в 3,3 раза при изменении яркости по сравнению с методом сегментации на основе алгоритма выращивания областей. По сравнению с алгоритмом волнового выращивания областей, предложенный алгоритм проигрывает по устойчивости числа сегментов при изменении яркости в 1,03 раза.

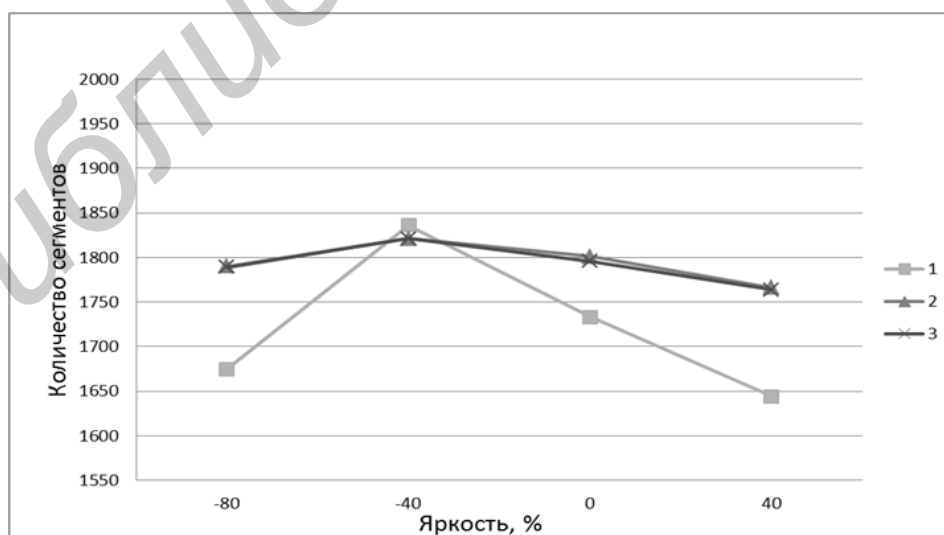


Рис. 6. Зависимости количества сегментов от изменения угла поворота изображения (1 – алгоритм выращивания областей; 2 – алгоритм волнового выращивания областей; 3 – предложенный алгоритм)

Заклучение

Для сегментации АСМ-изображений предложен алгоритм на основе регрессивного волнового выращивания областей. Сущность алгоритма заключается в квазипараллельном, послойном выращивании областей вокруг максимальных для каждого слоя точек роста, что обеспечивает автоматическое разделение областей по высоте, которые известные методы сегментируют с ошибками. Показано, что разработанный алгоритм выигрывает в стабильности количества числа сегментов в 3,3 раза по сравнению с классическим алгоритмом выращивания при изменении яркости и проигрывает в 1,5 при повороте изображения. В сравнении с волновым алгоритмом выращивания областей, показал практически одинаковую устойчивость.

REGRESSIVE WAVE GROWING AREAS ALGORITHM OF THE AFM-PICTURES

V.V. RABTSEVICH, V.Yu. TSVIATKOU

Abstract

Suggested method for segmentation of images based on the quasi-parallel wave region growing. In contrast to known methods of segmentation that the proposed method allows to divide the regions according to its location in depth.

Keywords: image segmentation, region growing.

Список литературы

1. Lalitha M., Kiruthiga M., Loganathan C. // International Journal of Science and Research (IJSR). 2013. Vol. 2. №2. P. 348-358.
2. Gauch J.M. // IEEE Transactions On Image Processing. 1999. Vol. 8. №1. P. 69-79.
3. Khiyal M.S.H., Khan A., Bibi A. // Informing Science and Information Technology. 2009. Vol. 6. P. 876-886.
4. Arindrajit Seal, Arunava Das, Prasad Sen // International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT). 2015. Vol. 6. №3. P. 2295-2297.
5. Chang J.H., Fan K.Ch., Chang Y.L. // Image and Vision Computing. 2002. Vol. 20. P. 203-216.
6. Muhsin Z.F., Rehman A., Altameem A. et. al // The Imaging Science Journal. 2014. Vol. 62. №1. P. 56-62.
7. Xiaolin Wu // IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence. 1993. Vol. 15. №8. P. 808-815.
8. Dass R., Priyanka, Devi S. // International Journal of Electronics & Communication Technology (IJECT). 2012. Vol. 3. Issue 1. P. 66-70.
9. Singh K.K., Singh A. // International Journal of Computer Science Issues. 2010. Vol. 7. №5. P. 414-417.
10. Shih F.Y., Cheng S. // Image and Vision Computing. 2005. №23. P. 877-886.
11. Sharma Ritu, Sharma Rajesh // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2014. Vol. 2. Issue 9. P. 5686-5692.
12. Mohd Saad N., Abu-Bakar S.A.R., Sobri Muda et. al // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. Hong Kong, 14-16 March 2012. P. 674-677.
13. Альмияхи О.М., Цветков В.Ю., Конопелько В.К. // Докл. БГУИР. 2016. №8(102). С. 82-88.