

УДК 519.257

<https://doi.org/10.18503/2306-2053-2018-6-1-12-19>**СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЕННОГО ПРОДУКТА ФЛОТАЦИИ:
ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ ПУЗЫРЬКА ИХ БЛИКАМИ***Логунова О.С., Леднов А.В., Шилов Р.Э., Муслимов М.Б., Байбулатов Ф.Р.*

Аннотация. Целью исследования является обоснование замены при сегментации изображения пенного продукта пузырьков на их блики для повышения точности идентификации объектов. В работе приведены примеры мгновенных изображений пенного продукта из видеопотока, описан порядок проведения эксперимента по изучению взаимосвязей между линейными размерами пузырька и бликов, а также их площадями, приведены результаты обработки экспериментальных данных. Исследования проводились в период 2017-2018 гг. в условиях обогатительной фабрики АО «Учалинский горно-обогатительный комбинат». При проведении исследований использованы методы математической статистики и алгоритмы обработки экспериментальных данных. Результаты статистической обработки данных средствами универсального пакета Statistica показали наличие надежных взаимосвязей между линейными размерами пузырька и блика, а также их площадями. Наилучшей можно считать зависимость между площадями объектов, так как она имеет наибольшее значение коэффициента корреляции (0,956), уравнение является надежным на уровне значимости менее 5%, коэффициенты уравнения являются значимыми на уровне значимости менее 5% и гетероскеастичность остатков незначительна (значение коэффициента корреляции составляет 0,29). Наличие надежной взаимосвязи между площадями пузырька и блика делает достаточным распознавание сегмента изображения соответствующего блику, для которого области низкой контрастности отсутствуют и форма может быть выбрана близкой к эллиптической. В результате задача распознавания элементов пенного продукта флотации на изображениях видеопотока сводится к задаче сегментации объектов эллиптической формы в области высокой яркости, имеющих различную ориентацию на плоскости, и определения их линейных размеров.

Ключевые слова: пенный продукт, видеопоток изображений пенного продукта, пузырек, блик, сегментация изображения, линейные размеры, площадь, экспериментальные исследования.

Введение

В настоящее время уровень развития вычислительной техники позволяет в качестве источника информации о протекании технологических процессов использовать альтернативные варианты. К таким вариантам относится получение и обработка графической информации, которая требует установки специального оборудования и разработки специальных алгоритмов обработки информации. Изображения готовой продукции или состояния сопутствующих материалов являются индикаторами качества протекания технологического процесса и прогнозируемого качества готовой продукции. Известны автоматизированные системы идентификации параметров технологических процессов и качества продукции в металлургической области для:

- оценки качества макроструктуры непрерывнолитой заготовки [1-3], которая в качестве источника информации использует изображения серных отпечатков поперечного темплета непрерывнолитой заготовки;
- классификации и идентификации дефектов поверхности листового проката с использованием системы *Parsytec* на основе оценки видеопотока с линейных фотокамер [4-7].

Для решения задачи, связанной с обработкой и сегментацией изображений в автоматизированном режиме, разработано множество алгоритмов, которые ориентированы на различные виды изображений. Классические алгоритмы обработки и сегментации изображений в полном объеме изложены в трудах Гонсалеса Р., Вудса Р., Шапиро Л. и др. [8-10]. Активно развиваются методы обработки изображений, основанные на комбинации мягких вычислений и с известными детерминированными методами.

Одним из сложно управляемых процессов до настоящего время остается процесс пенной флотации при обогащении основных и драгоценных материалов. Пенная флотация основана на способности несмачиваемых водой минералов прилипать к пузырькам воздуха, образованным при аэрации пульпы, и всплывать вместе с ними на поверхности пульпы, образуя пенный продукт, а смачиваемых минералов – оставаться взвешенными в пульпе, образуя камерный продукт [11-13]. Одним из показателей работы флотационной машины

является структура пенного продукта, одним из характеристик которого является размер пузырька. Таким образом, при наличии графической информации о динамике геометрических размеров пузырей пенного продукта можно судить о стабильности процесса флотации и прогнозировать качество получаемого продукта.

В настоящей работе определена цель исследования, направленная на получение достоверной информации по изображению пенного продукта во флотационной машине о стабильности технологического процесса [14, 15].



Рис. 1. Вид рабочего пространства для наблюдения за потоком пенного продукта во флотационной машине

Одной из задач при достижении цели является построение гранулометрической гистограммы пенного продукта по фрагментам видеопотока.

Описание эксперимента и структура исходного изображения

В условиях действующего производства обогащения сульфидной медной руды для флотационной машины РИФ-25 проведена серия пассивных экспериментов для изучения структуры пенного продукта. Эксперименты проводились в ноябре 2017 года. На рис. 1 показано рабочее окно флотационной машины для наблюдения за потоком пенного продукта. Полученный видеопоток разделен на кадры и выделены области с изображением пенного продукта. На рис. 2

приведены кадры видеопотока, полученные с интервалом в 1 с. Изучение динамики структуры пенного продукта показало изменение количества и размера пузырьков в ходе процесса обогащения. Учитывая, что размер пузырька пенного продукта определяет качество выходного продукта обогащения [11-13], можно предположить, что гранулометрическую гистограмму можно использовать в качестве индикатора показателей динамики флотации.

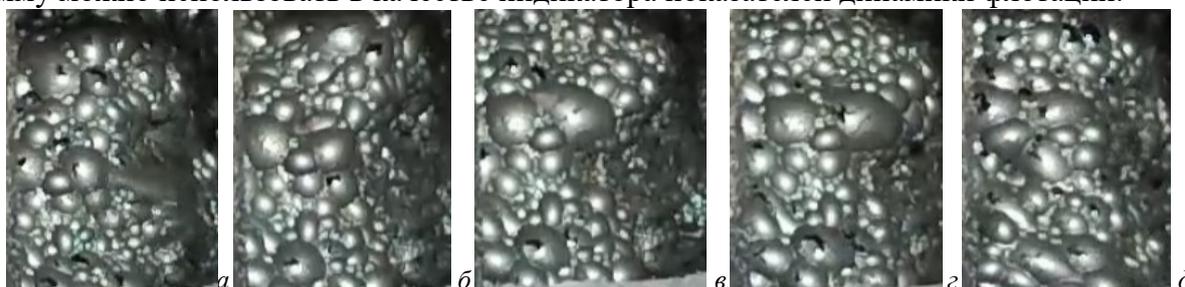


Рис. 2. Кадры видео потока пенного продукта с интервалом в 1 с для времени: а – 11:00:26; б – 11:00:27; в – 11:00:28; г – 11:00:29; д – 11:00:30

Для построения гранулометрической гистогораммы требуется определение количества пузырьков, имеющих геометрические размеры в заданных интервалах. Это приводит к задаче сегментации изображения с низкой контрастностью и элементами округлой формы, т.е. фигуры близкие по форме к эллипсу и кругу с разной ориентацией. Тонкие градации тона на границе пузырьков позволили определить форму объектов с высокой погрешностью [16]. В то же время на изображении пенного продукта ярко выделяются блики, образованные на каждом пузырьке.

Авторами выдвинута гипотеза о том, что для построения гранулометрической гистограммы пенного продукта достаточно установить зависимость между размерами пузырька и блика.

Для подтверждения гипотезы из всего видеопотока случайным образом выбраны 100 кадров и на каждом кадре – по шесть объектов, из которых два имеют крупный размер, два средний и два мелкий (рис. 3).

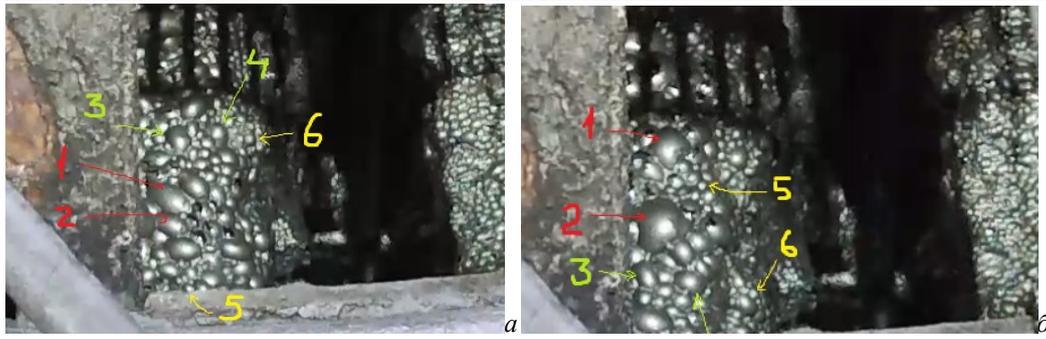


Рис. 3. Объекты, выбранные для исследования зависимости размеров блика и пузырька: 1, 2 – крупные пузырьки; 3, 4 – средние; 5, 6 – мелкие

Для каждого выбранного объекта выполнены измерения большого и малого радиуса пузырька и блика. В результате сформирована таблица исходных данных для исследования зависимости размеров блика и пузыря, а также их площадей, в предположении, что блик и пузырь имеют форму близкую к эллиптической. Количество измерений – 102. Наличие сведений о времени кадра позволяет также установить зависимость между значениями технологических параметров процесса флотации. Фрагмент исходных данных, полученных в ходе измерения, приведен в таблице.

Фрагмент исходных данных, полученных в ходе изучения геометрических размеров пузырька пенного продукта и его блика

№	Длина пузырька, мм	Ширина пузырька, мм	Длина блика, мм	Ширина блика, мм	Площадь пузырька, мм ²	Площадь блика, мм ²
1	21	11	8	4	725,7	276,5
2	16	10	5	3	502,7	157,1
3	13	11	4	4	449,2	138,2
4	9	7	4	3	197,9	88,0
5	4	4	2	2	50,3	25,1
6	4	4	3	3	50,3	37,7
1	16	16	8	7	804,2	402,1
2	22	22	8	8	1520,5	552,9
3	13	10	5	4	408,4	157,1
4	13	8	5	5	326,7	125,7
5	4	4	3	2	50,3	37,7
6	5	5	3	3	78,5	47,1

Для построения зависимости между геометрическими размерами пузырька пенного продукта и блика использованы средства статистической обработки данных.

Результаты обработки экспериментальных данных

Для описания результатов обработки накопленных статистических данных введем обозначения: *LB* (the length of the bubble), *WB* (the width of the bubble) – максимальный геометрический размер длины и ширины пузырька соответственно, мм; *LG* (the length of the glare), *WG* (the width of the glare) – максимальный геометрический размер длины и ширины блика соответственно, мм;

Variable	Means	Std.Dev.	LB	WB	LG	WG
LB	11,71569	6,476733	1,000000	0,929105	0,893746	0,819701
WB	9,58824	4,783124	0,929105	1,000000	0,862506	0,874429
LG	5,47059	2,440199	0,893746	0,862506	1,000000	0,907544
WG	4,50000	1,806205	0,819701	0,874429	0,907544	1,000000

AB (bubble area), *AG* (glare area) – площадь пузырька и площадь блика соответственно, мм²; *E* – остатки, мм

или мм² в зависимости от рассматриваемой величины. В качестве инструмента обработки использовался универсальный пакет *Statistica 6.0*.

1. Исследование зависимости линейных размеров пузырька и блика пенного продукта

Для качественной оценки зависимости между линейными размерами пузырька и его блика в пенном продукте выполнено построение матрицы парной корреляции (рис 4). Результаты, приведенные на рис. 4, показывают, что существует значимая стохастическая зависимость между линейными размерами пузырька и блика между всеми парами признаков. Уровень значимости составляет менее 5%. Наличие высокой значимости для коэффициента корреляции позволяет рассмотреть возможность использования линейной зависимости между линейными размерами пузырька и его блика:

$$LB' = -1,26 + 2,37 \cdot LG \text{ и } WB' = -0,83 + 2,32 \cdot WG, \quad (1)$$

где штрихом обозначены прогнозируемые значения линейных размеров пузырька и блика.

Уравнения (1) являются надежными и коэффициенты значимы на 5% уровне. Визуализация результатов с помощью поля корреляции представлена на рис. 5.

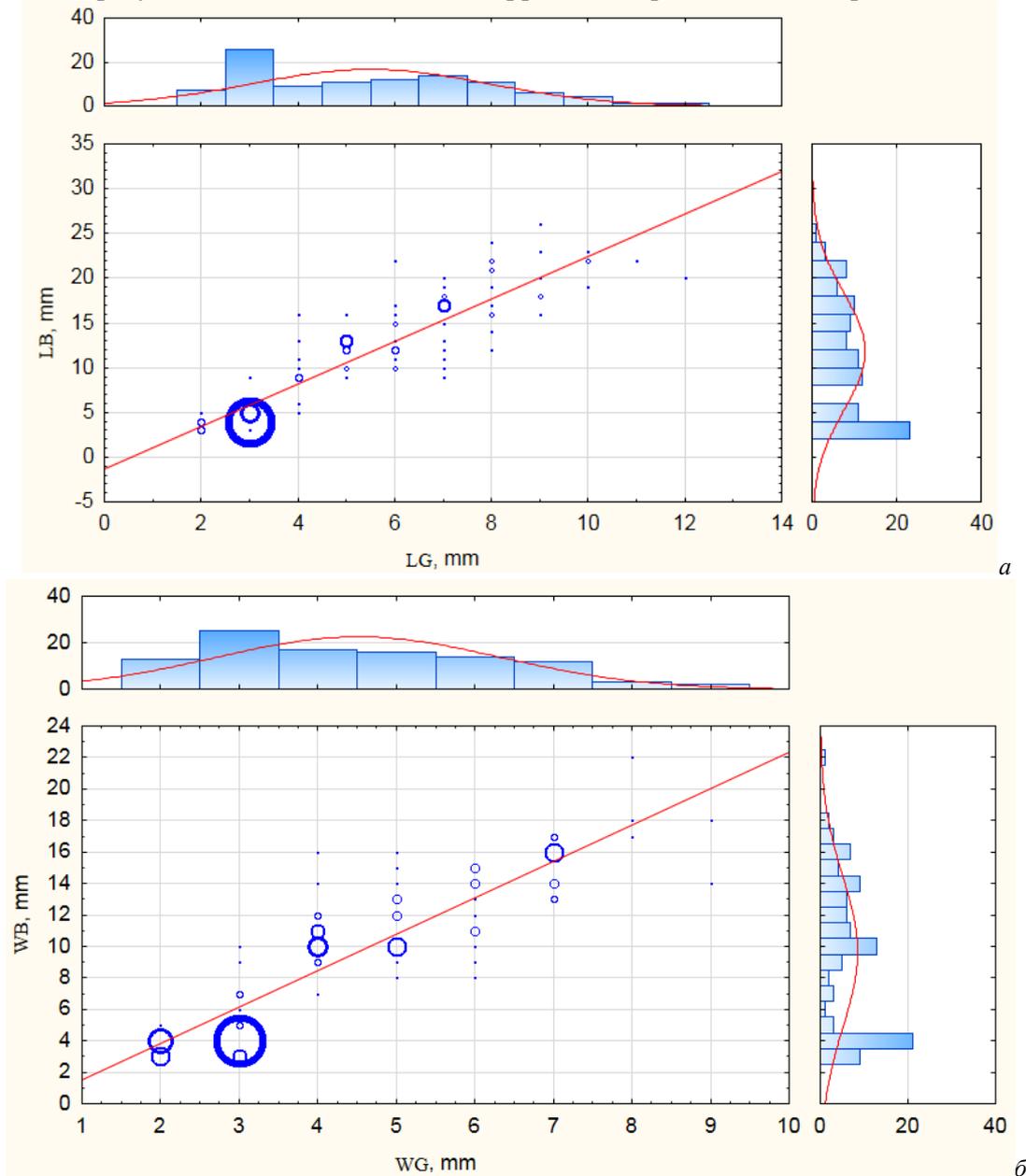


Рис. 5. Комбинированная диаграмма для отображения поля корреляции и гистограмм частот для:
 а – длины пузырька и его блика; б – ширины пузырька и его блика

Анализ остатков показал, что существует незначительная гетероскедастичность для остатков со значением коэффициента корреляции 0,49, характеризующих зависимость ширины пузырька и его блика (рис. 6,в). Вероятностное распределение остатков близко к нормальному (рис. 6,б,д)

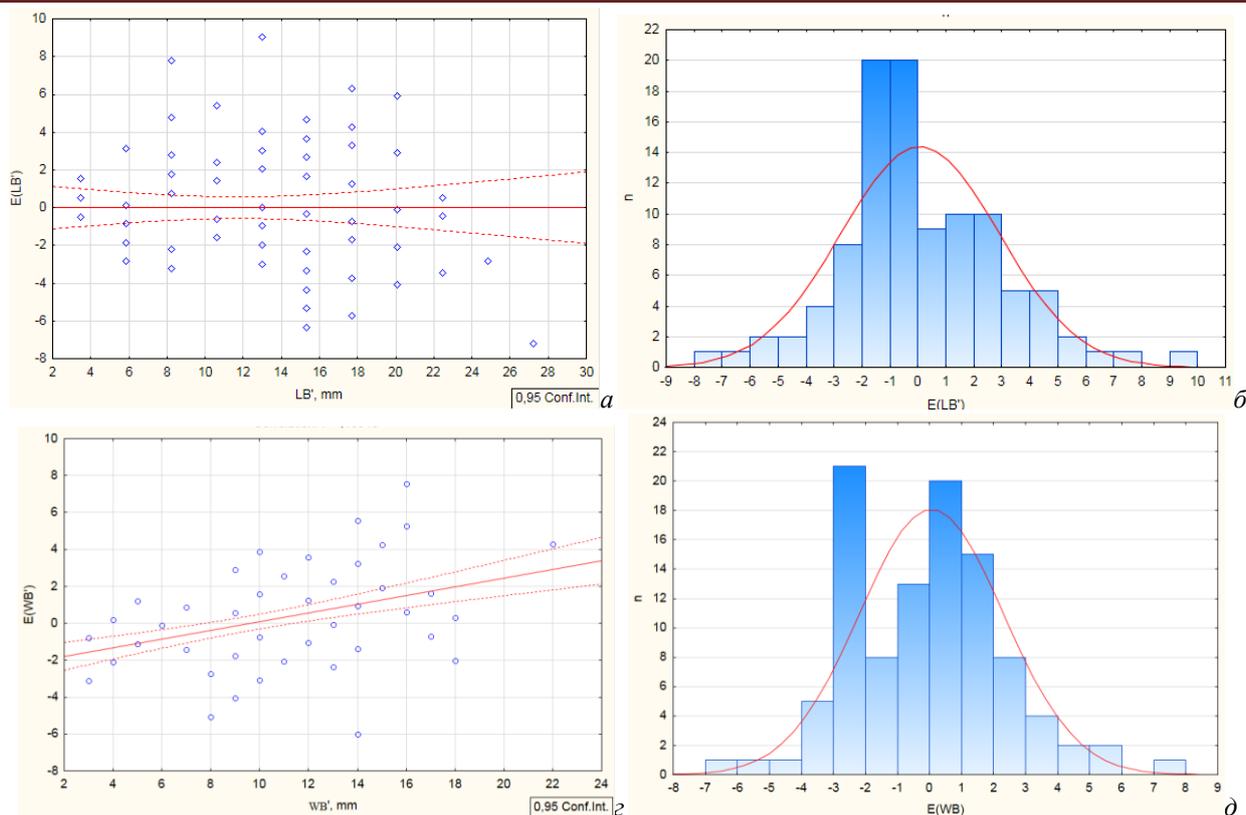


Рис. 6. Оценка остатков при исследовании зависимостей линейных размеров пузырька и его блика для пенного продукта при флотации: а – диаграмма рассеяния остатков для длины; б – гистограмма распределения остатков для длины; г – диаграмма рассеяния для ширины; в – гистограмма распределения остатков для ширины

Ошибка аппроксимации для зависимости длины пузырька и его блика принимает значение из диапазона [4%; 16%], медиана – 11 %, для ширины – [9%; 26%] и медиана – 15%.

2. Исследование зависимости между площадями пузырька и блика пенного продукта

При оценке взаимосвязи между площадью пузырька и его блика для пенного продукта установлена резко возрастающая зависимость (рис. 7) со значением коэффициента корреляции 0,956. Зависимость может быть описана уравнением

$$AB' = -11,76 + 2,326 \cdot AG, \quad (2)$$

где штрихом обозначены прогнозируемые значения площади пузырька.

Анализ остатков показал, что существует незначительная гетероскедастичность для остатков со значением коэффициента корреляции 0,29, характеризующих зависимость площади пузырька и его блика (рис. 8).

Ошибка аппроксимации для зависимости длины пузырька и его блика принимает значение из диапазона [6%; 13%] и медиана – 8%.

Выводы

1. Определена необходимость и возможность получения и использования мгновенных кадров видеопотока для изображения пенного продукта при флотации для индикации стабильности технологического процесса.

2. Приведены результаты пассивного эксперимента получения видеопотока пенного продукта при флотации. Изучение структуры изображений показало, что границы пузырьков располагаются в области низкой контрастности и использование алгоритмов распознавания приводит к высокой погрешности.

3. Выдвинута гипотеза о взаимосвязи линейных размеров пузырька и бликов на изображениях пенного продукта, а также для их площадей. Для доказательства гипотезы выполнены замеры линейных размеров пузырьков и их бликов крупного, среднего и мелкого размера. По результатам измерения сформирована экспериментальная база данных.

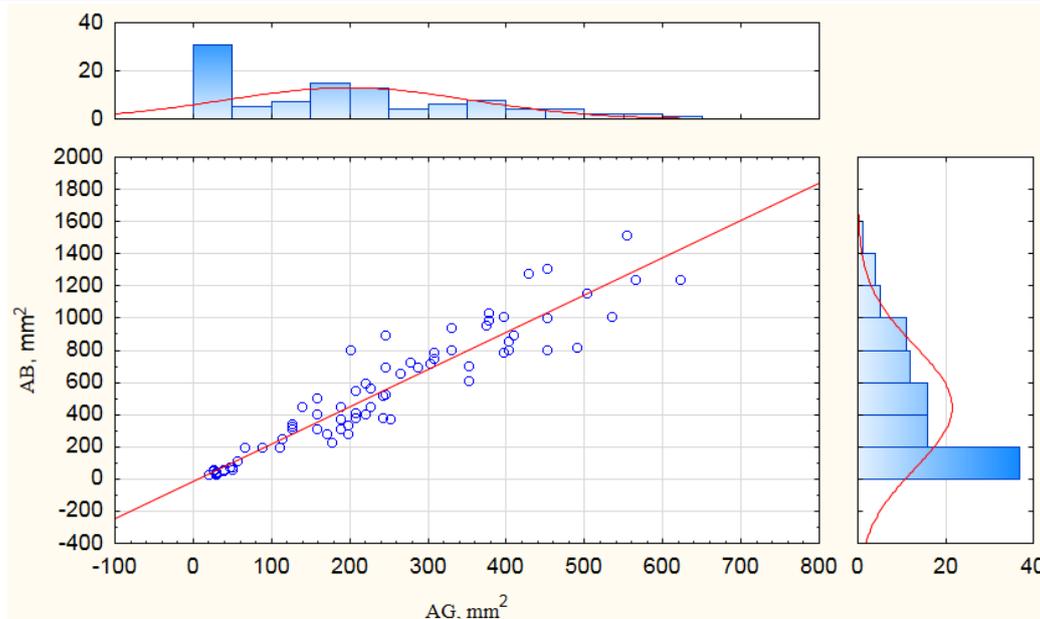


Рис. 7. Комбинированная диаграмма зависимости площади пузырька и площади блика

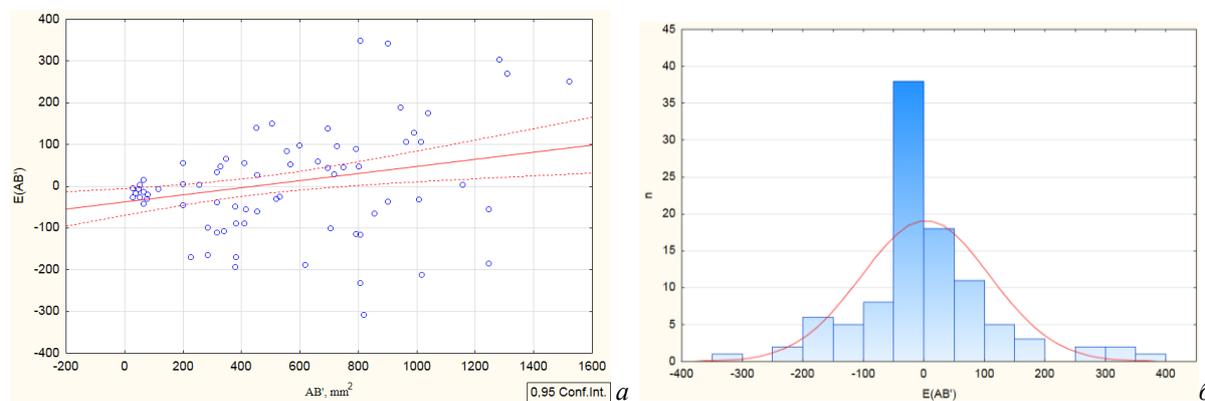


Рис. 8. Оценка остатков при исследовании зависимостей площади пузырька и его блика для пенного продукта при флотации: а – диаграмма рассеяния остатков; б – гистограмма распределения остатков

4. Результаты статистической обработки данных средствами универсального пакета *Statistica* показали наличие надежных взаимосвязей между линейными размерами пузырька и блика, а также их площадями. Наилучшей можно считать зависимость между площадями объектов, как она имеет наибольшее значение коэффициента корреляции (0,956), уравнение является надежным на уровне значимости менее 5%, коэффициенты уравнения являются значимыми на уровне значимости менее 5% и гетероскеастичность остатков незначительна (значение коэффициента корреляции составляет 0,29).

5. Наличие надежной взаимосвязи между площадями пузырька и блика делает достаточным распознавание сегмента изображения, соответствующего блику, для которого области низкой контрастности отсутствуют и форма может быть выбрана близкой к эллиптической.

6. Задача распознавания элементов пенного продукта флотации на изображениях видеопотока сводится к задаче сегментации объектов эллиптической формы в области высокой яркости, имеющих различную ориентацию на плоскости, и определения их линейных размеров.

Список использованных источников

1. Логунова, О.С. Автоматизированная оценка качества непрерывнолитой заготовки / О.С. Логунова, Б.Н. Парсункин, В.Г. Суспицын // Сталь. – 2004. – № 12. – С. 101-104.
2. Логунова, О.С. Оценка качества непрерывнолитой заготовки статистическими методами с использованием программных средств / О.С. Логунова, Д.Х. Девятов, Х.Х. Нуров // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2005. – № 9. – С. 54-58.

3. Алгоритмы обработки изображений серных отпечатков в системе оценки качества непрерывнолитой заготовки / И.А. Посохов [и др.]. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – 131 с.
4. Кузьмин, М.И. Метрологическое обеспечение выделения областей для решения задачи распознавания дефектов / М.И. Кузьмин, Н.А. Соловьев // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии. – Оренбург: ОГУ, 2013. – С. 152-156.
5. Маасс, Г. Защита от разрывов полосы на прокатных станах с помощью автоматизированного оптического контроля качества поверхности // Г. Маасс, С. Синюхин // Сталь. – 2013. – № 11. – С. 47-51.
6. Хорошилов, А.Д. Разработка эффективных способов снижения отсортировки по дефектам поверхности холоднокатаного проката из сверхнизко-углеродистых сталей в условиях конвертерного производства / А.Д. Хорошилов // Научно-Технический Прогресс В Чёрной Металлургии. – Череповец: ЧГУ, 2013. – С. 369-382.
7. Миков, А.Ю. Математическое обеспечение и структура системы интеллектуальной поддержки системы управления оценкой качества поверхности холоднокатаного проката / А.Ю. Миков, О.С. Логунова, А.В. Маркевич // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 1 (30). – С. 45-51.
8. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
9. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с.
10. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: Бином, 2006. – 752 с.
11. Бадеников, В.Я. Задачи, решаемые в системе управления флотацией / В.Я. Бадеников, С.А. Сидоров // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2004. – Т. 1. – № 1. – С. 13-16.
12. Абиди, А. Механический вынос и истинная флотация природной полиметаллической сульфидной руды / А. Абиди, К. Эламари, А. Бакауи, А. Якуби // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 6. – С. 181-189.
13. Мелик-Гайказян, В.И. Влияние капиллярного давления в пузырьках на их прилипание к частицам при пенной флотации / В.И. Мелик-Гайказян, Н.П. Емельянова, Т.И. Юшина // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2013. – № 1. – С. 1-12.
14. Логунова, О.С. Предпосылки разработки программного модуля для распознавания и восстановления формы объекта на изображении пенного продукта флотационной машины. / О.С. Логунова, А.В. Леднов, Р.Э. Шилов. // Ab ovo ... (С самого начала...). – Магнитогорск: Из-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. С. 84-86.
15. Титков, С.Н. Развитие технологии флотационного обогащения водорастворимых полезных ископаемых / С.Н. Титков // Горный журнал. – 2007. – № 8. – С. 20-24.
16. Логунова, О.С. Алгоритмы распознавания и восстановления объектов округлой формы на изображении / О.С. Логунова, Р.Э. Шилов. // Ab ovo ... (С самого начала...). – Магнитогорск: Из-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. С. 89-91.

Материал поступил в редакцию: 13.02.2018

Материал принят к публикации: 06.03.2018

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SEGMENTATION OF THE IMAGE OF THE FOAM PRODUCT OF FLOTATION: SUBSTANTIATION FOR REPLACEMENT OF THE BUBBLE OF THEIR GLARES

Logunova O.S., Lednov A.V., Shilov R.E., Muslimov M.B. and Baybulatov F.R.

Abstract. The purpose of the study is to substantiate the replacement of the foam product with bubbles to their glare when segmenting the image to improve the accuracy of object identification. Examples of instantaneous images of a foam product from a video stream are given, the order of carrying out of the experiment on the study of the interrelations between the linear dimensions of a bubble and glares, and also their areas is given, and the results of experimental data processing are presented. The research was carried out during the period 2017-2018 in the conditions of the company. During the research, methods of mathematical statistics and algorithms for processing experimental data were used. The results of statistical data processing with use of the universal package Statistica showed the existence of reliable correlation between the linear dimensions of the bubble and the glare, as well as their areas. The best is the correlation between the areas of objects, since it has the largest value of the correlation coefficient (0.956), the equation is reliable at a significance level of less than 5%, the coefficients of the equation are significant at a significance level of less than 5% and the heteroskeasticity of the residuals is not significant (the value of the correlation coefficient is 0.29). The presence of a reliable correlation between the areas of the bubble and the glare makes it sufficient to recognize the segment of the image corresponding to the glare, for which regions of low contrast are absent and the shape can be chosen close to elliptical. As a result, the task of recognizing the elements of a flotation foam product on images of a video stream is reduced to the task of segmenting objects of the elliptic shape in the region of high brightness having different orientations on the plane and determining their linear dimensions.

Keywords: Foam product, video stream images of foam product, bubble, glare, image segmentation, linear dimensions, area, experimental research.

References

1. Logunova O.S., Parsunkin B.N., Suspitsin V.G. *Steel*, 2004, no. 12, pp. 101-104. (In Russ.)
2. Logunova O.S., Devyatov D. Kh., Nurov Kh.Kh. *Izvestiya visshikh uchebnikh zavedeniy. Chernaya metallurgiya*, 2005, no. 9, pp. 54-58. (In Russ.)

3. Posokchov I.A., Logunova O.S., Arkulis M.B. and all. *Algoritmi obrabotki izobrazheniy sernih otechatkov v sisteme otsenki kachestva neprerivnolitoi zagotovki*. NMSTU. Magnitogorsk, 2017. (In Russ.)
4. Kuzmin, M.I., Solovyov N.A. *Metrologicheskoe obespechenie videleniya oblastey dlya resheniya zadachi raspoznavaniya defektov*. OGU. Orenburg, 2013, pp. 152-156. (In Russ.)
5. Maass G., Sinyukhin S. *Steel*, 2013, no. 1, pp. 47-51. (In Russ.)
6. Khoroshilov A.D. *Nauchno-tekhnicheskii progress v chernoy metallurgii*. CHGU. Cherepovetz, 2013, pp. 369-382. (In Russ.)
7. Mikov A.U., Logunova O.S., Markevitch A.V. *Elektrotekhnicheskiye sistemi i kompleksu*, 2016, no. 1(30), pp. 45-51. (In Russ.)
8. Gonsales R., Vuds R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy*. Tekhnosfera. Moscow. 2005. (In Russ.)
9. Prett U. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy*. Mir. Moscow. 1982. (In Russ.)
10. Shapiro L., Stockman Dzh. *Kompyuternoye zreniye*. Binom. Moscow. 2006. (In Russ.)
11. Badenikov V. Ya., Sidorov S.A. *Sovremenniy tekhnologii i nauchnotekhnicheskii progress*, 2004, no. 1(1), pp.13-16. (In Russ.)
12. Abidi A., Elamari L., Bakau A., Yakubi A. *Fiziko-tekhnicheskie problem razrabotki poleznikh iskopaemikh*, 2014, no. 6, pp. 181-189. (In Russ.)
13. Melik-Gaikazyan B.I., Emelyanova N.P., Yushina T.I. *Izvestiya visshikh uchebnikh zavedeniy. Tsvetnaya metallurgiya*, 2013, no. 1, pp. 1-12. (In Russ.)
14. Logunova O.S., Lednov A.V., Shilov R.E. *Ab ovo ... (s samogo nachala...)*. NMSTU. Magnitogorsk, 2017, pp. 84-86. (In Russ.)
15. Titkov S.N. *Gorniy zhurnal*, 2007, no.8, pp. 20-24. (In Russ.)
16. Logunova O.S., Shilov R.E. *Ab ovo ... (s samogo nachala...)*. NMSTU. Magnitogorsk, 2017, pp. 89-91. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ:

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: logunova66@mail.ru

Леднов Анатолий Викторович – канд. техн. наук, профессор, доцент кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: alednov@mail.ru

Шилов Роман Эдуардович – магистрант кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: green96_man174rus@mail.ru

Муслимов Марат Булатович – начальник СА и М УСА и И, главный метролог АО «Учалинский ГОК», г. Учалы. E-mail: zla_muslimov_mb@ugok.ru

Байбулатов Фанис Рауфович – начальник УСАиИ АО «Учалинский ГОК», г. Учалы. E-mail: fanis@ugok.ru

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сегментация изображения пенного продукта флотации: обоснование замены пузырька их бликами / О.С. Логунова, А.В. Леднов, Р.Э. Шилов, М.Б. Муслимов, Ф.Р. Байбулатов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2018. – Т.6. – №1. – С. 12-19.

Logunova, O.S., Lednov, A.V., Shilov R.E., Muslimov M.B. and Baybulatov F.R. (2018) Segmentation of the image of the foam product of flotation: substantiation for replacement of the bubble of their glares. Software of systems in the industrial and social fields, 6 (1): 12-19.