

Управление в технических системах Control in technical systems

Научная статья
УДК 004.932.2
DOI: 10.14529/ctcr220306

УЛУЧШЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕНЫ КАЛИЙНЫХ ФЛОТОМАШИН ЗА СЧЕТ УЧЕТА АНТИБЛИКОВ ПУЗЫРЕЙ

А.В. Затонский¹, z Xenon@narod.ru
С.А. Варламова¹, varlamovasa@mail.ru
К.А. Федосеева², kristya_0103@mail.ru

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения качества распознавания параметров пенного слоя в калийных флотационных машинах. Актуальность проблемы в последнее время подчеркивается необходимостью укрепления продовольственной безопасности России, для чего, в частности, требуются калийные удобрения. Бликовый метод распознавания параметров пенного слоя в калийных флотационных машинах позволяет исключить человеческий фактор из управления процессом, повысить качество продукции и снизить количество отходов. Однако он обладает рядом недостатков – большим разбросом результатов, чувствительностью к организации освещения и т. д. **Цель исследования:** повышение качества распознавания параметров пенного слоя за счет учета не только бликов, но и антибликов пузырьков. **Материалы и методы.** Антиблики распознаются с использованием двухуровневой адаптивной бинаризации изображения. Проведена обработка десятков видеорядов с шламовых, сальвиновых и пневмоэжекторных флотомашин двух калийных предприятий. Исследована возможность линейной аппроксимации не только верхнего, но и нижнего уровня бинаризации. Построены профили бинаризации для совместного распознавания бликов и антибликов. **Результаты.** Показана возможность использования антибликов пузырьков для улучшения их распознавания в среднем на 3,6 %. Наибольший рост качества достигается на пневмоэжекторных флотационных машинах. Оценка среднего отклонения позволяет предположить, что точность сигнализации отклонений из-за уменьшения шума улучшится на 1,4–4,8 %. Характер профилей антибликов показывает, что малое смещение адаптивного уровня бинаризации позволяет дополнительно улучшить распознавание в пределах 0,6–1,5 %. Выявлены характерные особенности метода, например, его превосходство над исходным бликовым методом в смысле меньшей чувствительности к ошибке вычисления уровня бинаризации. Двукратный рост времени распознавания является недостатком метода, но не препятствует его использованию, в том числе с применением многокадровой фильтрации шума. **Заключение.** Проведенное исследование позволяет утверждать, что учет антибликов пузырей при распознавании параметров пен калийных флотомашин позволяет улучшить показатели процесса и может применяться на практике, предпочтительно для пневмоэжекторных машин.

Ключевые слова: калийная промышленность, флотация, управление, сигнализация распознавание, блик, антиблик

Для цитирования: Затонский А.В., Варламова С.А., Федосеева К.А. Улучшение компьютерного распознавания параметров пены калийных флотомашин за счет учета антибликов пузырей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 57–67. DOI: 10.14529/ctcr220306

IMPROVEMENT OF COMPUTER RECOGNITION OF FOAM PARAMETERS IN POTASH FLOTATION MACHINES BY ANTI-GLARES FROM BUBBLES

A.V. Zatonskiy¹, z xenon@narod.ru

S.A. Varlamova¹, varlamovasa@mail.ru

K.A. Fedoseeva², kristya_0103@mail.ru

¹ Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Abstract. The article is about a problem of improving the quality of foam layer parameters recognition in potash flotation machines. The urgency of the problem has recently been emphasized by the need to strengthen Russia's food security, for which, in particular, potash fertilizers are required. The glare method of recognizing the parameters of the foam layer in potash flotation machines makes it possible to eliminate the human factor from control, improve product quality and reduce waste. However, it has a number of disadvantages – a large spread of results, sensitivity to the organization of lighting, etc. **The aim:** to improve the quality of foam layer parameters recognition by taking into account not only glare, but also anti-glare from bubbles. **Materials and methods.** Anti-glare is recognized by two-level adaptive binarization of the image. Dozens of video sequences were processed from slurry, silvin and pneumatic ejector flotation machines on two potash enterprises. The possibility of linear approximation of not only the upper one, but also the lower level of binarization is investigated. Binarization profiles for additional recognition of glare and anti-glare are constructed. **Results.** The possibility of using anti-glare bubbles to improve their recognition by an average of 3.6% is shown. The greatest increase in quality is achieved on pneumatic ejector flotation machines. The estimation of the average deviation suggests that the accuracy of alarm deviations due to noise reduction will improve by 1.4–4.8%. The anti-glare profiles character shows that a small shift in the adaptive level of binarization can further improve recognition in the range of 0.6–1.5%. The characteristic features of the method are revealed, for example, its superiority over the original glare method in the sense of a lower sensitivity to the error of calculating the binarization level. The double increase in recognition time is a disadvantage of the method, but it does not prevent one's using, including using of multi-frame noise filtering. **Conclusion.** The conducted research suggests that taking into account the anti-glare bubbles when recognizing the parameters of potassium foam flotation machines can improve the process performance and can be applied in practice, preferably for pneumatic ejector machines.

Keywords: potash industry, flotation, control, alarm, recognition, glare, anti-glare

For citation: Zatonskiy A.V., Varlamova S.A., Fedoseeva K.A. Improvement of computer recognition of foam parameters in potash flotation machines by anti-glare from bubbles. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):57–67. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220306

Введение

Продовольственная безопасность в мире, странах и регионах в настоящее время стала важной проблемой. От ее уровня зависит стабильность и благополучие России и других стран. Продовольственная безопасность занимает важное место в осуществлении национальной безопасности РФ и демографической политики [1]. Особенно остро эта проблема встает в условиях множественных экономических и социальных санкций, наложенных на РФ зарубежными странами и организациями в последнее время. «Продовольственная самодостаточность – это реальное конкурентное преимущество в России, и оно должно работать в интересах наших граждан», – заявил Президент РФ во время совещания по вопросам агропромышленного комплекса 5 апреля 2022 года [2]. В этом смысле все большее значение приобретает производство в РФ калийных удобрений, повышающих урожайность, внешний вид и лежкость сельскохозяйственной продукции [3].

Калийные удобрения производятся в России в основном в Верхнекамском промышленном районе на предприятиях ПАО «Уралкалий» и ООО «Еврохим – Усольский калийный комби-

нат» [4]. В цепочке основных технологических операций (добыча, транспортировка, дробление, растворение и т. д.) наиболее сложными являются стадии флотации. В ПАО «Уралкалий» применяются многостадийная шламовая и сильвиновая флотации, в ООО «Еврохим – Усольский калийный комбинат» они дополнены стадией колонной, или пневмоэжекторной, флотации [5].

Сложность анализа параметров пены калийных флотомашин, включая даже определение уровня [6], является причиной того, что контроль за их работой и управление подачей реагентов производится только вручную технологом (флотатором). При этом множество проблем появляется из-за человеческого фактора. Распознавание параметров пены с использованием компьютерного зрения может эти проблемы исключить. Однако методы, основанные на распознавании границ пузырьков, эффективны применительно к полиметаллическим или угольным флотомашинам [7–10], для низкоконтрастных пен калийных машин применимы с трудом (рис. 1). Замена распознавания края пузырька на распознавание блика, возникающего на его поверхности от естественного или дополнительного точечного источника света, позволяет во много раз упростить и ускорить обработку видео как с калийных машин [11], так и с машин других типов [12]. Бликовый метод не лишен недостатков, однако на его основе можно строить хотя бы системы сигнализации отклонений, исключающие человеческий фактор [13].

Одна из проблем, возникающих при распознавании параметров пен флотационных машин бликовым методом, вызвана неидеальной формой пузырьков. Пенонгон, воздействуя на слой пены, искажает их сферическую форму. К тому же приводит разница в размерах пузырьков. Сила поверхностного натяжения удерживает в более-менее сферической форме маленькие пузырьки, но при их взаимодействии с большими форма последних искажается.

Некруглость пузырьков приводит к тому, что их поверхность, обращенная к почти соосным камере и источнику освещения, перестает быть перпендикулярной к оси съемки. Поэтому блик от источника направляется не в сторону камеры и не виден в кадре. При этом задняя стенка пузырька, более темная по сравнению с окружающей пеной, хорошо видна. Назовем это явление формированием «антиблика» (см. рис. 1).



Рис. 1. Примеры возникновения антибликов в разных пенах при разном освещении
Fig. 1. Examples of anti-glare occurrences in different foams under different lighting conditions

Колебания формы пузырька вызывают также большую погрешность распознавания, или шум. В зависимости от момента съемки пузырек может быть бликующим или антибликующим. Фильтрация предварительно обработанных данных [14] позволяет улучшить распознавание, но при ее использовании априорно отбрасывается информация о «темных пузырьках», антибликах, которая потенциально может улучшить распознавание независимо от фильтрации.

Представляется разумным разработать такой метод обработки кадра, который воспринимал бы в качестве индикатора наличия пузырька как блик, так и антиблик. Потенциально это может повысить качество распознавания параметров пенного слоя. Решение этой проблемы является целью настоящей статьи. Кроме того, как показано в [15], необходимо одновременно исследовать возможности подстройки метода под условия освещения и определить, есть ли необходимость исключать из обработки кадры при каких-то условиях.

1. Обработка кадров

Для распознавания блика пузырька используется адаптивная бинаризация. Все пиксели обесцвеченного кадра яркостью ниже некоторого уровня считаются черными, выше – белыми. В зависимости от освещенности кадра уровень бинаризации желательно выбирать таким, чтобы распознавалось максимальное количество бликов. Однако оптимизация уровня может быть выполнена только полным перебором и занимает продолжительное время. В [16] доказано, что с достаточной точностью уровень бинаризации L может быть аппроксимирован линейной зависимостью

$$L = a \cdot x + b, \quad (1)$$

где x – среднеарифметическая освещенность обрабатываемого участка кадра; a, b – коэффициенты. В [2] предложено для флотомашин разных конструкций искажать значение коэффициента a , полученное в ходе решения задачи оптимизации:

$$L = (a \pm \Delta a) \cdot X + b, \quad (2)$$

где $\Delta a \approx (0,5 \dots 2) \% \cdot a$. Это позволяет уменьшить чувствительность метода к ошибке определения коэффициента a . Для флотационных машин с пеногоном знак Δa положительный, для пневмоэжекторных – отрицательный.

При обработке кадра будем определять не один уровень бинаризации, а два ($L1$ и $L2$, $255 > L1 > L2 > 0$). Все пиксели светлее $L1$ будем считать бликами и обрабатывать ранее разработанными алгоритмами. Все пиксели темнее $L2$ будем считать антибликами, инвертировать (из черного в белое) и обрабатывать, как будто это блики. Значения $L1$ и $L2$ будем определять максимизацией суммы распознанных бликов и антибликов, затем, как в [15], исследуем чувствительность метода к ошибке расчета линейных приближений уровней бинаризации.

2. Исследование улучшения распознавания с учетом антибликов

Описанным методом обработаны результаты 17 опытных съемок камер шламовой, перечистой сильвиновой и пневмоэжекторной калийных флотационных машин, из которых в одном случае был искусственно вызван переходный процесс. В результате получено улучшение распознавания (увеличение суммарного количества бликов и антибликов) примерно на 3,6 %. В табл. 1 приведены данные об улучшении при подборе оптимальных уровней бинаризации (колонка 4) и при «прогоне», то есть при вычислении уровней бинаризации согласно (1).

Таблица 1
Улучшение распознавания на разных видах ФМ и с разным освещением

Table 1

Recognition improvement with different types of flotation machines and different lighting

№ видео	Флотомашина, освещение	Средняя освещенность	Улучшение при подборе	Улучшение при прогоне	Уменьшение отклонения S
15	Сильвиновая, серая пена, без освещения	101,90	1,016	1,028	1,0109
18	Шламовая, освещение	88,21	1,056	1,038	0,9690
19	Шламовая, освещение	112,19	1,023	1,021	0,8510
20	Сильвиновая, красная пена, освещение	107,35	1,004	1,004	0,9848
21	Сильвиновая, серая пена, освещение	96,77	1,016	1,040	1,0583
22	Сильвиновая, красная пена, освещение	62,12	1,045	1,031	0,9981
23	Сильвиновая, серая пена, освещение	53,52	1,044	1,026	0,9595
23	Сильвиновая, серая пена, освещение	69,55	1,066	1,046	–
24	Пневмоэжекторная, без освещения	141,50	1,104	1,122	1,0662

Окончание табл. 1
Table 1 (end)

№ видео	Флотомашина, освещение	Средняя освещенность	Улучшение при подборе	Улучшение при прогоне	Уменьшение отклонения S
24	Пневмоэжекторная, освещение	139,40	1,014	1,060	0,9283
25	Пневмоэжекторная, без освещения	127,19	1,056	1,054	1,0994
25	Пневмоэжекторная, освещение	137,68	1,012	1,025	0,9878
26	Пневмоэжекторная, без освещения	100,89	1,029	1,022	1,1054
26	Пневмоэжекторная, освещение	104,05	1,018	1,018	0,9738
33	Сильвиновая, светлая пена, освещение	118,39	1,001	1,011	–
34	Сильвиновая, светлая пена, освещение	142,56	1,002	1,012	0,9990
35	Сильвиновая, светлая пена, освещение	149,76	1,000	1,018	0,9686
36	Сильвиновая, светлая пена, без освещения	102,81	1,051	1,053	0,9569
37	Сильвиновая, светлая пена, без освещения	115,28	1,119	1,073	0,8426
	Среднее значение		1,036	1,037	0,986

В обоих случаях зависимость улучшения от освещенности кадра незначительная (рис. 2). Следовательно, наиболее значимым фактором являются именно цеховые условия, а не сама освещенность кадра.

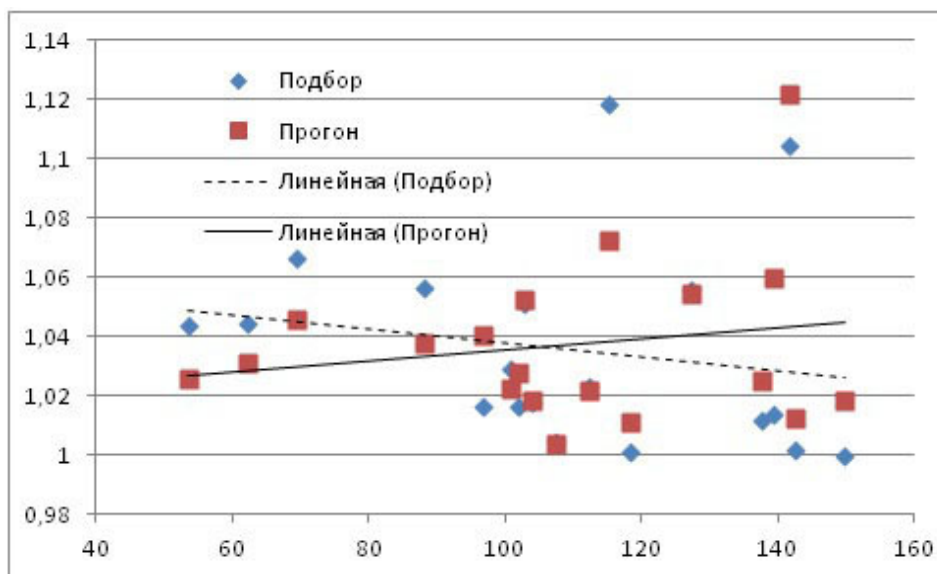


Рис. 2. Зависимость улучшения распознавания от средней освещенности кадра
Fig. 2. The dependence of the recognition improvement on the average illumination of the frame

Время обработки кадра в режиме «прогона» по сравнению с аналогичным без учета антибликов ожидаемо изменилось примерно вдвое безотносительно того, распознаются ли антиблики на изображении (табл. 2).

Изменение времени обработки изображения и улучшения распознавания
для видео № 22 (фрагмент)

Changing the image processing time and recognition improvement
for video No. 22 (fragment)

Время обработки	Бликов и антибликов	Время обработки	Бликов	Рост времени обработки	Улучшение распознавания
0,705	146	0,344	142	2,05	1,03
0,924	176	0,468	158	1,97	1,11
0,693	133	0,356	133	1,95	1,00
0,606	128	0,312	128	1,94	1,00

Наибольшее улучшение ожидаемо получено на самых «темных» пенах – шламовой, пневмоэжекторной и сальвиновой без дополнительного источника освещения. Антиблики в данных случаях формируются источниками рассеянного естественного освещения. Наименьшее улучшение (в пределах 0,4 %) получено на самых «светлых» машинах, сальвиновых со светлой или насыщенно красной пеной при использовании источника освещения. В этом случае антибликов формируется мало, поскольку почти все пузыри пены «бликуют», отражают свет точечного источника. Видеоряды без источника освещения снимались, скорее, с целью показать, что так результат получается хуже, чем с источником, поэтому улучшения на них носят справочный характер. Рост выше среднего значения получен на сальвиновых машинах, работающих в условиях яркого цехового освещения, где точечный источник достаточно мало добавлял к средней освещенности кадра (рис. 3).

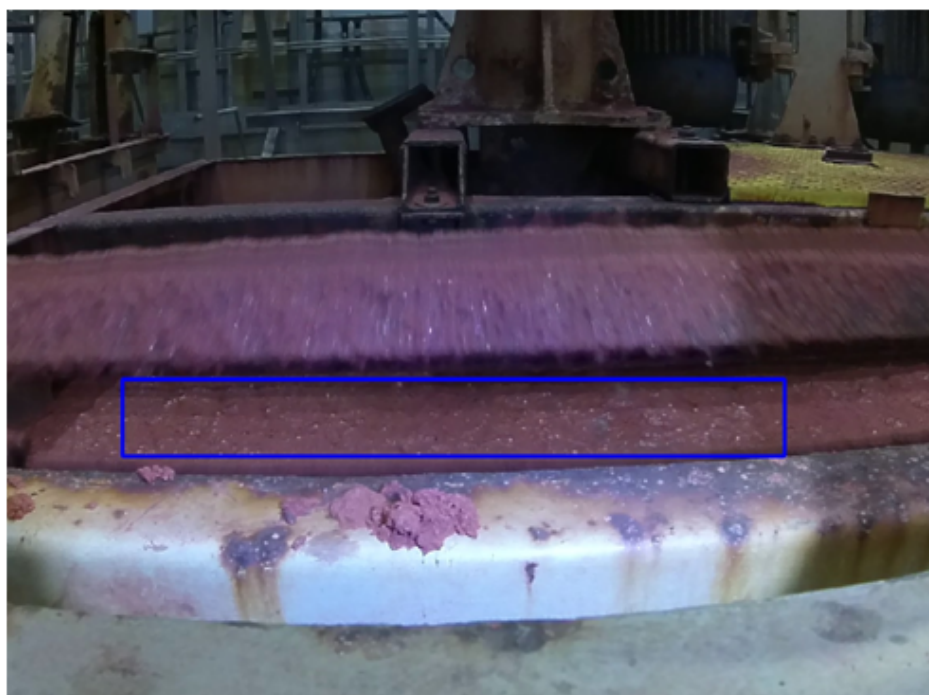


Рис. 3. Условия съемки, приводящие к наибольшему росту распознавания
Fig. 3. Shooting conditions leading to the greatest recognition improvement

Кроме увеличения количества распознаваемых объектов в пене имеет значение также отклонение от среднего значения (или любой близкий по смыслу параметр: дисперсия, среднее квадратичное отклонение и т. п.). В большинстве случаев при съемке пены переходный процесс не создавался, за исключением видео 23 и 33. Следовательно, в идеале значения статистической характеристики Y пены не должны зависеть от номера кадра и не должны изменяться, то есть должны быть все равны собственному среднему значению:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i,$$

где n – количество обработанных кадров; Y_i – значение статистического показателя (в данном случае количества бликов или количества бликов и антибликов) в i -м кадре.

В реальности постоянные изменения в пене приводят к существенному шуму, изменениям статистических характеристик [17]. Например, для видео 25 тренды бликов и суммы бликов и антибликов выглядят следующим образом (рис. 4).

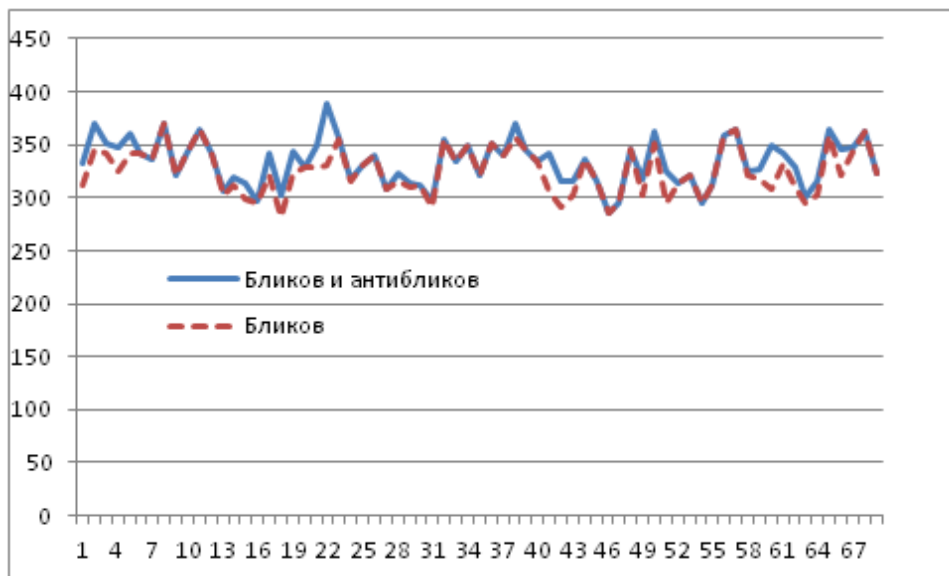


Рис. 4. Тренды распознанных бликов и антибликов в видео 25
Fig. 4. Trends of recognized glares and anti-glares in video 25

Система сигнализации отклонений (или поддержки принятия решений) неизбежно будет сравнивать разбросы значений в разные моменты времени, иначе говоря, динамику изменения среднего отклонения:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{Y}|.$$

Выше в табл. 1 в последней колонке приведено значение S в тех съемках, в которых не создавался переходный процесс. Видно, что в 12 случаях из 17 (70 %) среднее отклонение с учетом антибликов уменьшилось в среднем на 4,8 % (из видео, полученных с дополнительным источником света, – максимально на 15 % у видео 19 с шламовой машины). Среднее улучшение с учетом тех видео, при обработке которых S увеличилось, составило 1,4 %. Следует ожидать, что примерно сообразно этому значению улучшится точность распознавания особых ситуаций в системе сигнализации технологических отклонений.

Проверим, как влияет учет антибликов на применение метода (2). Как и в [15], построим графики зависимости относительного количества распознанных пузырьков от уровня бинаризации блика и сравним эти профили при разной освещенности кадра для пневмоэжекторной машины с дополнительным источником освещения, для которой получено улучшение распознавания около 2 %. Последнее означает, что сравнивать профили, построенные в зависимости от уровня бинаризации антиблика, не имеет смысла в связи с малым приростом количества распознанных объектов. Относительным количеством G_i^* распознанных в i -м кадре пузырьков является величина

$$G_i^* = G_i / \max_i G_i',$$

где G_i – количество бликов и антибликов, распознанных в i -м кадре. На рис. 5 видно, что характер профилей от учета антибликов существенно не изменился.

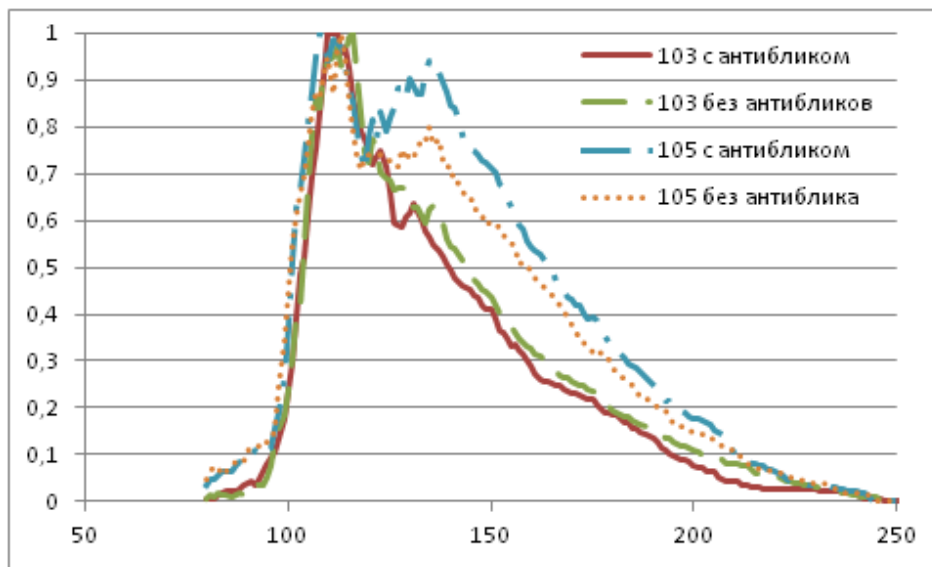


Рис. 5. Профили на колонной перемешивающей флотации
Fig. 5. Profiles on the column flotation

В этом и всех остальных исследованных видео отмечаются три особенности профилей, построенных с учетом антибликов.

1. В большинстве случаев (72 %) максимум профиля смещается в область более высокого уровня бинаризации блика на 3–6 %, во всех этих случаях коэффициент b в (2) положительный.

2. Максимум профиля достигается не в одной точке, а в некоторой области из 2–5 точек, что составляет $\frac{2...5}{252...80} \cdot 100\% = 1...3\%$ и более, так как уровни оптимальной бинаризации бликов для всех видов флотомашин с внешним источником света находятся в пределах [113; 162], а пределы [80; 252] исследуются только для исключения возможных ошибок.

3. В окрестности максимума чувствительность к ошибке определения оптимального уровня бинаризации снижается.

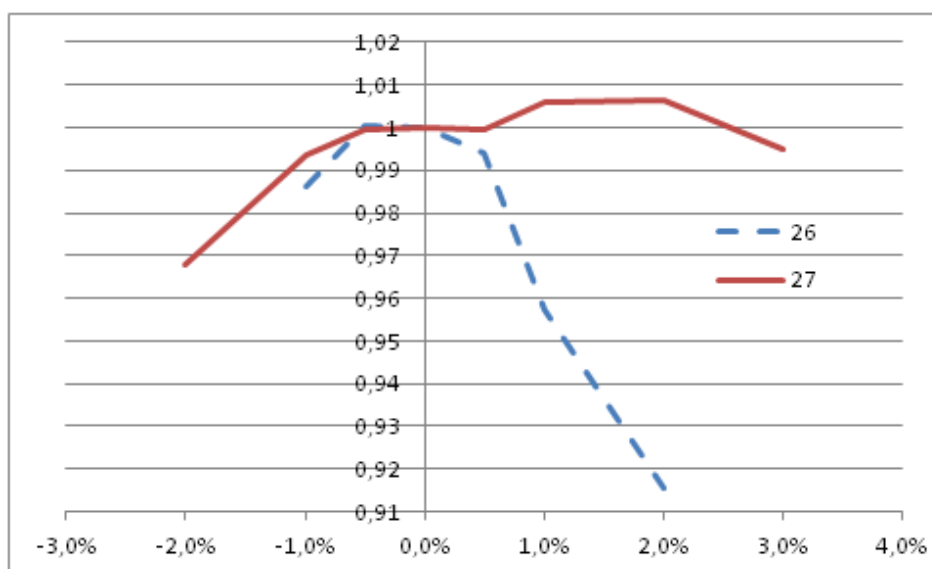


Рис. 6. Зависимость улучшения распознавания от отношения $\Delta a/a$
Fig. 6. The dependence of the recognition improvement on the ratio $\Delta a/a$

Вследствие особенности 2, улучшение распознавания за счет изменения коэффициента a в (2) становится меньше, чем без учета антиблика. На рис. 6 приведены примеры зависимости про-

центного улучшения распознавания от отношения $\Delta a/a$ для видео с точечным источником света. Малое улучшение распознавания достигается при положительном Δa для видео 25 (коэффициент b положительный) и отрицательным для видео 26 (коэффициент b отрицательный), как и во всех остальных 17 обработанных видео.

Основные выводы

В ходе исследования получены следующие практически важные результаты.

1. Учет антибликов улучшает распознавание пузырьков в пене на 1,4–4,8 %.
2. Учет антибликов снижает чувствительность к ошибке вычисления уровня бинаризации (1) при практическом применении, как минимум, на 1–3 %;
3. Учет антибликов не исключает возможности применения методики (2) для дальнейшего снижения количества ошибок, хотя ее эффективность снижается до 0,4–0,6 %. Однако суммарный результат получается лучше, чем без учета антибликов.

Основным недостатком предлагаемого подхода является практически двукратный рост времени обработки кадра. Однако это время все еще остается значительно меньше, чем время оборота пеногона калийной флотомашин (порядка 2,7–3 с). Следовательно, предложенную методику учета антибликов можно рекомендовать даже в случаях, когда с целью дополнительной фильтрации шума последовательно обрабатываются 2–5 кадров.

Список литературы

1. Устойчивое воспроизводство в АПК как важное условие продовольственной безопасности на региональном уровне / Б.А. Воронин, И.П. Чупина, Я.В. Воронина [и др.] // *International Agricultural Journal*. 2022. Т. 65, № 1. DOI: 10.55186/25876740_2022_6_1_14
2. Путин призвал «рачительнее» относиться к экспорту продовольствия. Официальный сайт РБК. URL: [https://www.rbc.ru/politics/05/04/2022/624c3f8c9a794764d26599e9?](https://www.rbc.ru/politics/05/04/2022/624c3f8c9a794764d26599e9?from_pid=1)
3. Хамурзаев С.М., Мадаев А.А. Влияние различных доз минеральных удобрений на лежкость и качество плодов яблони // *Аграрная наука*. 2018. № 11–12. С. 64–65. DOI: 10.32634/0869-8155-2018-320-11-64-65
4. Комплексный подход к вопросу повышения эффективности утилизации избыточных раскислителей на калийных горнодобывающих предприятиях / П.С. Щербань, А.О. Гапич, А.В. Жданов, О.Н. Летуновская // *Известия Уральского государственного горного университета*. 2022. № 1. С. 102–111. DOI: 10.21440/2307-2091-2022-1-102-111
5. Малышева А.В. Стохастическая модель процесса флотации калийной руды // *Молодежная наука в развитии регионов*. 2017. Т. 1. С. 185–188.
6. Беккер В.Ф. Решение технологических проблем действующего производства средствами автоматизации. Т.1: Производство калийных удобрений. Пермь: БФ ПНИПУ, 2012. 312 с.
7. Романенко С.А., Оленников А.С. Опыт внедрения видеокамер FrothMaster на обогатительной фабрике «Зеленая гора-2» // *Обогащение руд*. 2014. № 2. С. 23–28.
8. The concentrate ash content analysis of coal flotation based on froth images / J. Tan, L. Liang, Y. Peng, G. Xie // *Minerals Engineering*. 2016. Vol. 92. P. 9–20. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.02.006
9. Froth Stereo Visual Feature Extraction for the Industrial Flotation Process / Lin Zhao, Tao Peng, Yongfang Xie et al. // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019. Vol. 58. P. 14510–14519. DOI: 10.1021/ACS.IECR.9B00426
10. Jahedsaravani A., Massinaei M., Marhaban M.H. An Image Segmentation Algorithm for Measurement of Flotation Froth Bubble Size Distributions // *Measurement*. 2017. Vol. 111. P. 29–37. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.07.023
11. Затонский А.В., Варламова С.А. Использование бликовых отражений для автоматического распознавания параметров пены при флотации калийных руд // *Обогащение руд*. 2016. № 2 (362). С. 49–56. DOI: 10.17580/or.2016.02.09
12. Сегментация изображения пенного продукта флотации: обоснование замены пузырька их бликами / О.С. Логунова, А.В. Леднов, Р.Э. Шилов и др. // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. 2018. Т. 6, № 1. С. 12–19. DOI: 10.18503/2306-2053-2018-6-1-12-19

13. Малышева А.В. Возможности компьютерного зрения при управлении флотацией калийных руд // Первый шаг в науку. 2015. № 3–4 (3–4). С. 16–19.
14. Федосеева К.А. Усовершенствование адаптивной фильтрации тренда количества бликов с поверхности пены // Прикладная математика и вопросы управления. 2021. № 4. С. 59–71. DOI: 10.15593/2499-9873/2021.4.04
15. Варламова С. А., Затонский А. В., Федосеева К. А. Исследование чувствительности к освещению метода бликового распознавания пен калийных флотационных машин // Обогащение руд. 2021. № 6. С. 29–33.
16. Затонский А.В., Малышева А.В. Модернизация алгоритмов бликового распознавания параметров пенного слоя при флотации калийных руд // Обогащение руд. 2018. № 2 (374). С. 35–41. DOI: 10.17580/or.2018.02.07
17. Логунова О.С., Шилов Р.Э., Леднов А.В. Методика и алгоритмы сегментации изображения пенного продукта флотации // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2018. Т. 9, № 1. С. 72–75.

References

1. Voronin B.A., Chupina I.P., Voronina Ya.V., Zarubina E.V., Simachkova N.N. Sustainable re-production in the agro-industrial complex as an important condition for food security at the regional level. *International Agricultural Journal*. 2022;65(1). (In Russ.) DOI: 10.55186/25876740_2022_6_1_14
2. Putin prizval “rachitel'nee” otnosit'sya k eksportu prodovol'stviya [Putin called for a “more prudent” attitude to food exports]. Available at: <https://www.rbc.ru/politics/05/04/2022/624c3f8c9a794764d26599e9?> (In Russ.)
3. Khamurzaev S.M., Madaev A.A. Impact of various doses of mineral fertilizers on storability and quality of apples. *Agrarnaya nauka*. 2018;(11–12):64–65. (In Russ.) DOI: 10.32634/0869-8155-2018-320-11-64-65
4. Shcherban' P.S., Gapchich A.O., Zhdanov A.V., Letunovskaya O.N. Complex approach to the issue of the efficiency of excess brines utilization at potash mining and processing plants. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2022;(1):102–111. (In Russ.) DOI: 10.21440/2307-2091-2022-1-102-111
5. Malysheva A.V. [Stochastic model of potash ore flotation process]. *Molodezhnaya nauka v razvitii regionov*. 2017;1:185–188. (In Russ.)
6. Bekker V.F. *Reshenie tekhnologicheskikh problem deystviyushchego proizvodstva sredstvami avtomatizatsii. T.1: Proizvodstvo kaliynykh udobreniy* [Solving technological problems of existing production by means of automation. Vol.1: Production of potash fertilizers]. Perm'; 2012. 312 p. (In Russ.)
7. Romanenko S.A., Olennikov A.S. FrothMaster video system introduction experience practice at the “Green mountain-2” plant. *Obogashchenie rud*. 2014;2:23–28. (In Russ.)
8. Tan J., Liang L., Peng Y., Xie G. The concentrate ash content analysis of coal flotation based on froth images. *Minerals Engineering*. 2016;92:9–20. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.02.006
9. Lin Zhao, Tao Peng, Yongfang Xie, Weihua Gui, Yongheng Zhao. Froth Stereo Visual Feature Extraction for the Industrial Flotation Process. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019;58:14510–14519. DOI: 10.1021/ACS.IECR.9B00426
10. Jahedsaravani A., Massinaei M., Marhaban M. H. An Image Segmentation Algorithm for Measurement of Flotation Froth Bubble Size Distributions. *Measurement*. 2017;111:29–37. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.07.023
11. Zatonkiy A.V., Varlamova S.A. Use of reflection flare spots for automatic recognition of froth parameters in potassium ores flotation. *Obogashchenie rud*. 2016;2(362):49–56. (In Russ.) DOI: 10.17580/or.2016.02.09
12. Logunova O.S., Lednov A.V., Shilov R.E., Muslimov M.B., Baybulatov F.R. Segmentation of the image of the foam product of flotation: substantiation for replacement of the bubble of their glares. *Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsial'noy sferakh*. 2018;6(1):12–19. (In Russ.) DOI: 10.18503/2306-2053-2018-6-1-12-19
13. Malysheva A.V. [Possibilities of computer vision in the management of potash ore flotation]. *Pervyy shag v nauku*. 2015;3–4(3–4):16–19. (In Russ.)

14. Fedoseeva K.A. Improving the adaptive filtration of the foam surface glare trend. *Prikladnaya matematika i voprosy upravleniya*. 2021;(4):59–71. (In Russ.) DOI: 10.15593/2499-9873/2021.4.04
15. Varlamova S.A., Zatonskiy A.V., Fedoseeva K.A. [Investigation of the sensitivity to illumination of the method of glare recognition of foams of potash flotation machines]. *Obogashchenie rud*. 2021;6:29–33. (In Russ.)
16. Zatonskiy A.V., Malysheva A.V. Modernization of algorithms for flare detection of froth layer parameters during flotation of potash ores. *Obogashchenie rud*. 2018;2(374):35–41. (In Russ.) DOI: 10.17580/or.2018.02.07
17. Logunova O.S., Shilov R.E., Lednov A.V. [Technique and algorithms for image segmentation of the froth product of flotation]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*. 2018;9(1):72–75. (In Russ.)

Информация об авторах

Затонский Андрей Владимирович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; z Xenon@narod.ru.

Варламова Светлана Александровна, канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; varlamovasa@mail.ru.

Федосеева Кристина Александровна, аспирант, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia; kristya_0103@mail.ru.

Information about the authors

Andrey V. Zatonskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; z Xenon@narod.ru.

Svetlana A. Varlamova, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; varlamovasa@mail.ru.

Kristina A. Fedoseeva, Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia; kristya_0103@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.06.2022

The article was submitted 20.06.2022