

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТНОСТИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ В ШАХТАХ

Е.В. Зайцева¹, А.А. Кочнева¹, Е.В. Катунцов¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: Zaytseva_EV@pers.spmi.ru

Аннотация: Рассмотрена оптимизация технологического процесса повышения контрастности на изображениях, полученных в шахтах за счет автоматизации оценки количественных характеристик качества. Приведены нотации технологического процесса в методологии IDEF0 до и после оптимизации. Произведен анализ методов и алгоритмов повышения контрастности, применяемых для обработки цифровых изображений, полученных с видеокамер, встроенных в головной светильник шахтера. Рассмотрены особенности цифровых изображений с головного светильника шахтера, их яркостные характеристики. Приведены гистограммы распределения яркости на изображениях до и после обработки исследуемыми методами. Рассчитаны количественные характеристики контрастности изображений. Сделаны рекомендации о выборе количественных характеристик качества для использования в работе при автоматическом выборе системой метода повышения контрастности.

Ключевые слова: промышленное видеонаблюдение, методология IDEF0, цифровое изображение, гистограмма распределения яркости, обработка изображений, контрастность, видеоданные в шахтах.

Для цитирования: Зайцева Е. В., Кочнева А. А., Катунцов Е. В. Оптимизация технологического процесса повышения контрастности на изображениях, полученных в шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 7. – С. 115–130. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_7_0_115.

Optimization of contrast enhancement in images obtained in mines

E.V. Zaitseva¹, A.A. Kochneva¹, E.V. Katuntsov¹

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: Zaytseva_EV@pers.spmi.ru

Abstract: Optimization of contrast enhancement in images obtained in mines through automation of evaluation of image quality factors is discussed in the article. The IDEF0 notations before and after optimization are presented. The methods and algorithms of contrast enhancement used in processing of digital images from miner lamp cameras are reviewed. The features of digital images from miner lamp cameras, and their brightness are discussed. The histograms

of brightness of the images before and after their processing using the test methods are given. The contrast quality factors of the images are calculated. The recommendations on automated selection of quality factors by the contrast enhancement system are made.

Key words: industrial video surveillance, IDEFO function modeling method, digital image, brightness histogram, image processing, contrast, mine video data.

For citation: Zaitseva E. V., Kochneva A. A., Katuntsov E. V. Optimization of contrast enhancement in images obtained in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(7):115-130. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_7_0_115.

Введение

На сегодняшний день для контроля за технологическими процессами на предприятиях используются различные системы видеонаблюдения. Такие системы разрабатываются и для наблюдения за технологическими процессами в горнодобывающей промышленности [1 – 3]. Видеосъемка производится в условиях плохой видимости: пыль, повышенная влажность, блики в области источников света [4, 5]. Одной из составляющих систем наблюдения являются мобильные видеокамеры, встроенные в головной светильник шахтера [1]. По мере следования по маршруту и на рабочих местах производится запись видеоинформации. Таким образом, видеоряд имеет временную дискретность, так как съемка производится эпизодически [1, 6].

Наиболее информативным при работе светильника с видеокамерой считается, если видеотрансляция с рабочего места каждого шахтера на верхний уровень горного диспетчера ведется в режиме реального времени в течение всей рабочей смены [1, 7]. В то же время при рутинном технологическом процессе очевидна избыточность и ненужность такой информации. Поэтому, как правило, запись происходит по решению шахтера или по запросу диспетчера при подтверждении со стороны шахтера. Также запись может быть доступна диспетчеру или руководителю спасательной операции без подтверждения непосредственно шахтером [1, 8, 9].

В работе рассматривается технологический процесс повышения контрастности на видеоизображениях, полученных

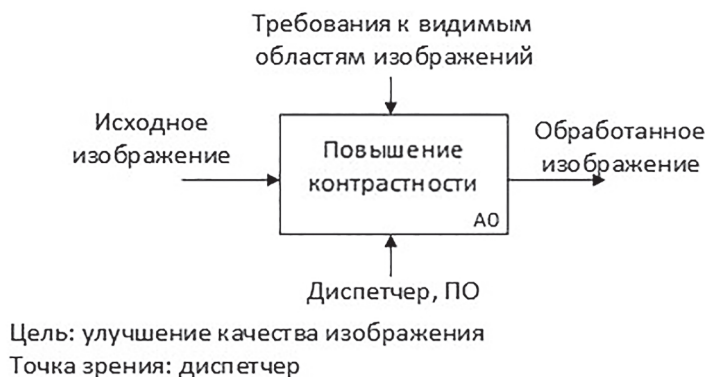


Рис. 1. Контекстная диаграмма технологического процесса повышения контрастности с точки зрения диспетчера

Fig. 1. Context diagram of contrast enhancement from dispatcher's eyesight

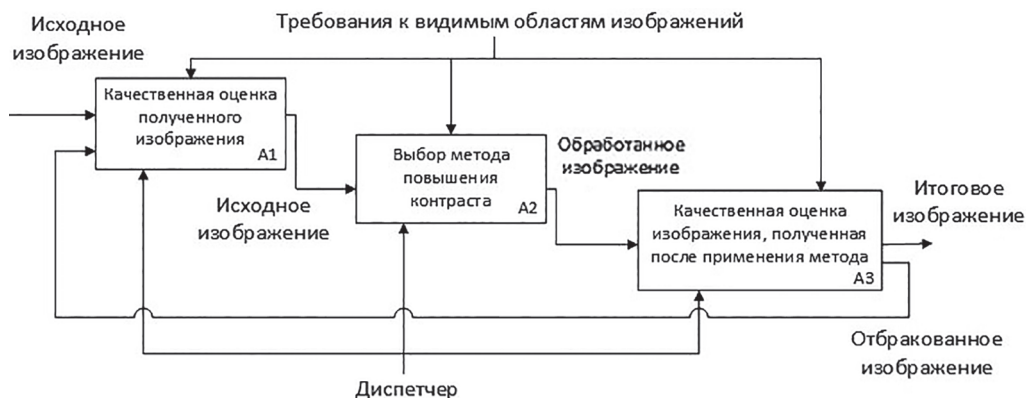


Рис. 2. Декомпозиция контекстной диаграммы технологического процесса повышения контрастности
 Fig. 2. Decomposition of context diagram of contrast enhancement

в шахтах. Такие изображения характеризуются низкой яркостью. Для получения максимального объема информации из таких изображений целесообразно применять методы повышения контрастности [10]. При выборе такого метода следует учитывать временные промежутки, затрачиваемые на обработку изображений, поскольку видеосъемка ведется в опасных условиях труда и существует возможность того, что съемка производится в случае задействования плана ликвидации аварии, когда диспетчеру необходим максимальный объем достоверной видеoinформации [1].

Нотации технологического процесса в методологии IDEF0 показаны на рис. 1 и 2.

Как видно из декомпозиции технологического процесса A0 контекстной диаграммы, представленной на рис. 2, процесс разделен на три подпроцесса. Сначала производится качественная оценка полученного диспетчером от шахтера изображения. Оценка производится на основании личных ощущений диспетчера. Основными качественными характеристиками изображения является видимость и различимость областей изображения. Далее диспетчером принимается решение по применению одного из встроенных методов обработки. Но при

этом следует понимать, что в требования по уровню образования диспетчера не входит навык обработки изображений. Диспетчер выполняет действия, связанные с обработкой видеoinформации, по заранее определенному регламенту. При этом не всегда сразу удастся выбрать нужный метод повышения контрастности, а иногда применяется один из не самых эффективных методов. Далее, если диспетчер понимает, что изображение неинформативно, он либо использует другой метод повышения контрастности, либо просит шахтера переснять изображение. Такой алгоритм требует дополнительных затрат ресурсов, как временных, так и человеческих. Не всегда при возникновении аварийных ситуаций эти временные ресурсы в наличии или в избытке. Поэтому для эффективного внедрения видеонаблюдения в технологические процессы следует обеспечить максимальную автономность процесса и автоматическое применение методов повышения контрастности на основании количественных характеристик изображения [10, 11].

Постановка задачи

В работе предлагается рассмотреть возможные методы повышения контрастности на конкретных примерах изоб-

ражений, полученных в шахтах. Исходя из рассчитанных количественных характеристик изображений, оценить минимальные, средние, максимальные значения яркостей исходных и обработанных изображений. Из полученных значений яркостей рассчитать абсолютную и относительную контрастности. Далее предполагается оптимизировать технологический процесс повышения контрастности путем введения количественной характеристики качества исходного изображения. Исходя из произведенных в ходе работы вычислений, будет сделан выбор этой характеристики. На основании значений выбранной характеристики система будет задавать параметры обработки изображения и выдавать диспетчеру готовый или готовые варианты. И только в случае, когда предложенные системой обработанные изображения по качественной оценке диспетчера не будут пригодны для использования, потребуются повторная видеосъемка.

Для изображений, полученных со светильника видеокамеры [1], характерна максимальная яркость в области источников освещения и минимальная яркость в остальных областях изображения (рис. 3).

Изображения, полученные с видеокамер светильника, имеют недостаточную различимость отдельных фрагмен-

тов, которая может быть вызвана низкой освещенностью одной области и слишком большой освещенностью другой области [12–14]. В связи с этим важно использовать методы и алгоритмы регулировки контрастности. Регулировка контрастности переназначает значения интенсивности изображения на полный диапазон отображения типа данных [15]. Требования, предъявляемые к данным методам, заключаются в быстродействии, близком к режиму реального времени [16–18]. Предполагается, что шахтер передал изображения и диспетчер извлек из него необходимую информацию. Здесь ключевым ресурсом является время. Благодаря работе метода повышения контрастности нет необходимости просить шахтера переснимать нужный производственный участок.

Методы и алгоритмы повышения контрастности

Контрастность K монохромного изображения можно определить как [19, 20]

$$K = L_{\max} - L_{\min}, \quad (1)$$

где L_{\max} , L_{\min} — соответственно максимальная и минимальная яркость пикселей на изображении.

Относительная контрастность $K_{\text{отн}}$ [21, 22]

$$K_{\text{отн}} = K / 255, \quad (2)$$



Рис. 3. Варианты изображений (а) и (б), полученные с видеокамеры светильника

Fig. 3. Variants of images (a) and (b) from miner lamp camera

где 255 — максимально возможная яркость.

Методы увеличения контрастности классифицируются по преобразованию яркости на глобальные и адаптивные. В основе первой группы методов лежит преобразование яркости всего изображения, в основе второй — зависимость яркости каждого пикселя от характеристики окружающей его области [23–25].

Для изображений, представленных на рис. 3, построим гистограммы распределения яркости (рис. 4).

В табл. 1 представлены значения максимального, минимального и среднего значения яркости исходных изображений. Поскольку диапазоны яркостей близки к максимальному, было принято решение отказаться от линейного контрастирования в пользу степенного преобразования яркости или гамма-коррекции [26–28]

$$L' = L_{\max} k^n, \quad (3)$$

где $k = L/L_{\max}$ — относительная яркость, которая позволяет регулировать контрастность путем снижения максимальных значений в одной области изображения, тем самым увеличив локальную контрастность другой области изображения.

Поскольку плохо различимые участки изображений, полученных в шахтах,

Таблица 1

Зависимость коэффициента n гамма-коррекции от уровня средней яркости изображения
Relationship of gamma-coefficient n and average image brightness

Среднее значение яркости изображения	Коэффициент n гамма-коррекции
0–10	0,1
11–15	0,15
16–20	0,2
21–25	0,25
26–30	0,3
31–35	0,35
36–45	0,4
46–60	0,45
61–80	0,5

имеют низкую яркость, коэффициент n берется в диапазоне от 0,1 до 0,5. Коэффициент n выбирается исходя из диапазона среднего уровня яркости (см. табл. 1).

Табл. 1 была получена путем анализа изображений, снятых в шахтах, с характерными для них пониженными яркостями большинства областей и максимальной яркостью при съемке источника освещения. Именно для таких изображений она должна применяться.

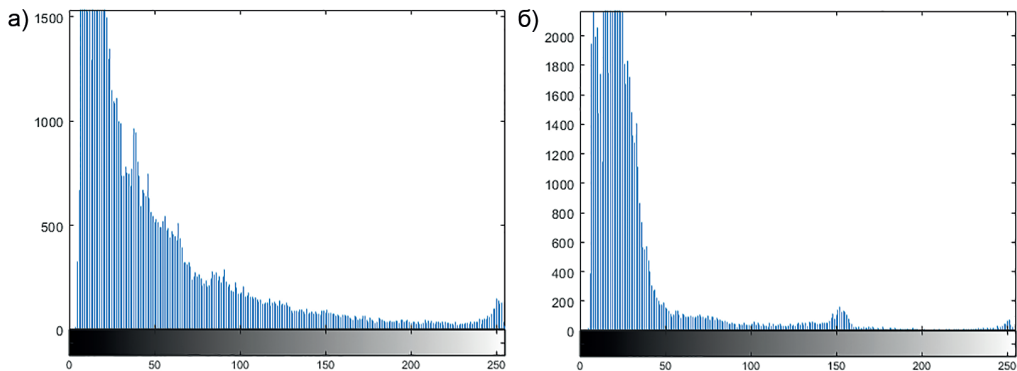


Рис. 4. Гистограммы распределения яркости изображений на рис. 3, а и б соответственно
 Fig. 4. (a) and (b) Histograms of brightness of images from Figs. 3a and 3b, respectively

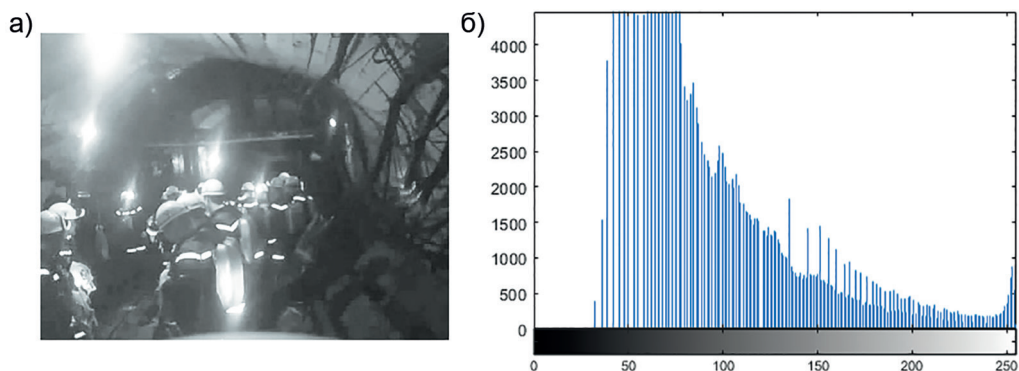


Рис. 5. Изображение с рис. 3, а после гамма-коррекции (а) и его гистограмма распределения яркости (б)
 Fig. 5. Image from Fig. 3a after gamma-correction (a) and its brightness histogram (b)

Для остальных изображений возможны свои соотношения среднего значения яркости и коэффициента гамма-коррекции, также основанием для использования того или иного значения коэффициента гамма-коррекции может являться другой количественный показатель.

На рис. 5 представлены обработанное с применением гамма-коррекции с коэффициентом 0,45 изображение с рис. 3, а и гистограмма полученного изображения.

Как видно из рис. 5, а, в результате применения метода контрастирования, стали различимы более темные участки изображения. Это подтверждается и ко-

личественной оценкой (табл. 2) — минимальная яркость принимает значение 32 вместо 4.

На рис. 6 представлены обработанное с применением гамма-коррекции изображение с коэффициентом 0,45 с рис. 3, б и гистограмма полученного изображения.

Из рис. 6, а также можно сделать вывод, что в результате применения метода гамма-коррекции стали различимы более темные участки изображения. Это также подтверждается и количественной оценкой (см. табл. 2) — минимальная яркость принимает значение 36 вместо 5.

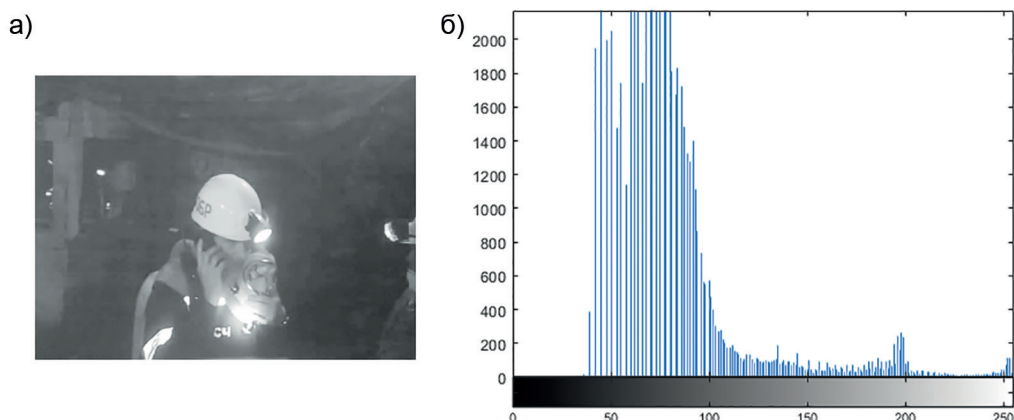


Рис. 6. Изображение с рис. 3, б после гамма-коррекции (а) и его гистограмма распределения яркости (б)
 Fig. 6. Image from Fig. 3b after gamma-correction (a) and its brightness histogram (b)

а)



б)

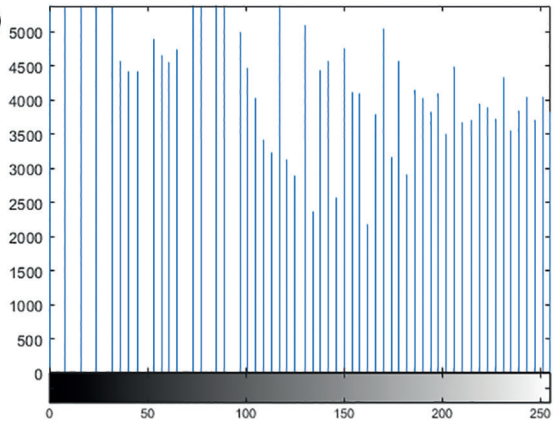


Рис. 7. Изображение с рис. 3, а после эквализации (а) и его гистограмма распределения яркости (б)
 Fig. 7. Image from Fig. 3a after equalization (a) and its brightness histogram (b)

Алгоритмы эквализации гистограммы используются для улучшения обрабатываемого изображения и имеют сравнительно невысокие вычислительные затраты.

Данные методы регулируют уровни полутонового изображения в соответствии с функцией распределения вероятности данного изображения; как следствие, увеличивается динамический диапазон распределения яркости. Метод эквализации гистограммы яркостей подразумевает такое преобразование изображения, при котором его гистограмма

яркостей отвечала бы равномерному закону распределения [29–31].

$$L = (L_{\max} - L_{\min})p + L_{\min}, \quad (4)$$

где p — плотность распределения яркости исходного изображения.

На рис. 7 представлены обработанное с применением эквализации гистограммы изображение с рис. 3, а и гистограмма полученного изображения.

Как видно из рис. 7, а, в результате применения метода стали еще более различимы темные участки изображения, их локальный контраст стал выше, чем

а)



б)

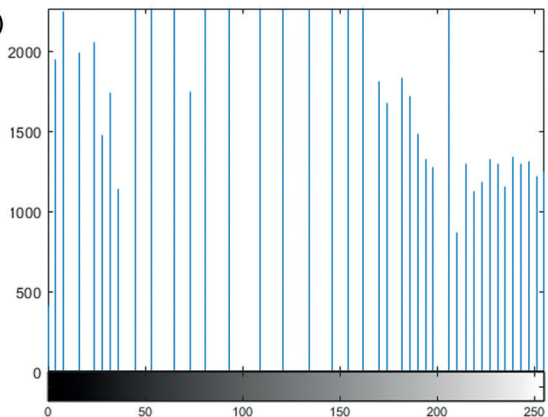


Рис. 8. Изображение с рис. 3, б после эквализации (а) и его гистограмма распределения яркости (б)
 Fig. 8. Image from Fig. 3b after equalization (a) and its brightness histogram (b)

при использовании метода гамма-коррекции, среднее значение яркости увеличилось с 50 до 127 (см. табл. 2). Но вместе с тем область изображения с источниками освещения (светильники, лампы в шахте) увеличилась в размерах за счет растяжения гистограммы.

На рис. 8 представлены обработанное с применением гамма-коррекции изображение с рис. 3, б и гистограмма полученного изображения.

Как видно из рис. 8, б, стали еще более различимы темные участки изображения, чем при использовании метода гамма-коррекции. Количественно это подтверждается тем, что среднее значение яркости увеличилось с 50 до 127 (см. табл. 1). Также область изображения с источником освещения увеличилась в размерах за счет растяжения гистограммы, что привело к засветке важной области изображения.

От метода соляризации было решено отказаться, так как его использование приведет к еще более засвеченным областям изображений, снятых в области осветительных приборов.

Из адаптивных методов контрастирования было решено применить уве-

личение контрастности на основе локального контраста окрестности KL , который вычисляется как [32 – 35]

$$K_L = \frac{|L - L_{mean}|}{L + L_{mean}}, \quad (5)$$

где L – текущая яркость элемента изображения; L_{mean} – средний уровень яркости изображения.

На рис. 9 представлены обработанное с применением локального контрастирования изображение с рис. 3, а и гистограмма полученного изображения.

Как видно из рис. 9, а, в результате применения метода контрастирования стали различимы более темные участки изображения, но при этом данные изменения произошли по локальным областям. Если в случае применения глобальных методов все изображение становилось «светлее», то при использовании локального контрастирования этого не происходит. Это подтверждается и количественной оценкой (см. табл. 2) – средняя яркость принимает значение 81 вместо 50. Сравнивая эти значения с результатами предыдущих методов, отмечаем уменьшение среднего значения яркости.

а)



б)

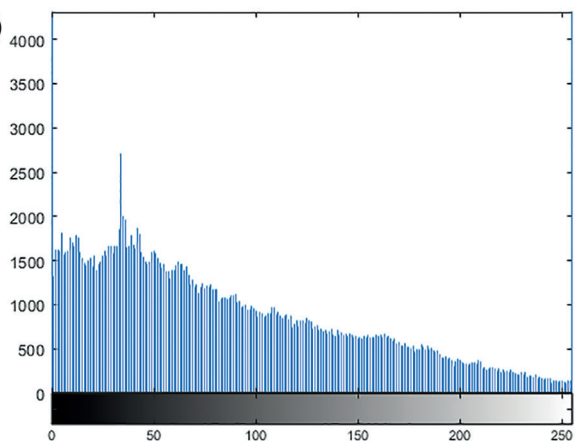


Рис. 9. Изображение с рис. 3, а после локального контрастирования (а) и его гистограмма распределения яркости (б)

Fig. 9. Image from Fig. 3a after contrast adjustment (a) and its brightness histogram (b)

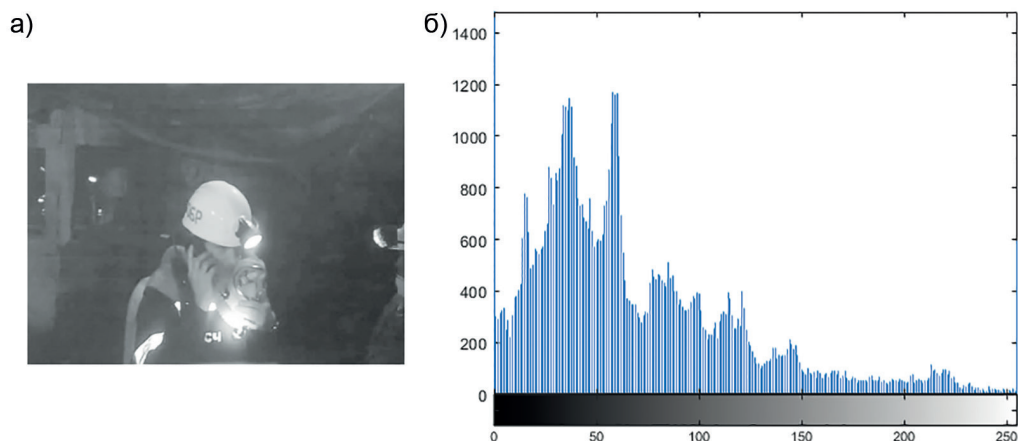


Рис. 10. Изображение с рис. 3, б после локального контрастирования (а) и его гистограмма распределения яркости (б)

Fig. 10. Image from Fig. 3b after contrast adjustment (a) and its brightness histogram (b)

На рис. 10 представлены обработанное с применением локального контрастирования изображение с рис. 3, б и гистограмма полученного изображения.

Полученные результаты

Среднеквадратичное отклонение яркости локальной окрестности рассчитывается по формуле [35, 36]

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N (L - L_{mean})^2}. \quad (6)$$

В табл. 2 представлены рассчитанные по формулам (1), (2), (6) значения

количественных характеристик исходных и обработанных изображений.

Из анализа табл. 2 можно сделать следующие выводы:

- метод гамма-коррекции в целом «осветляет» изображение, поднимая нижнюю границу яркости;
- метод эквализации дает хорошие результаты, но его следует применять с осторожностью в связи с увеличением области высокой яркости вблизи источников освещения;
- метод локального контрастирования дает самый высокий показатель по

Таблица 2

Количественные характеристики качества исходного и обработанного различными методами изображения с рис. 3

Quality factors of initial image from Fig. 3 and after its processing by different methods

Изображение / Параметры	Исходное изображение а/б	Гамма-коррекция а/б	Локальное контрастирование а/б	Эквализация гистограммы а/б
Максимальная яркость	255/253	255/255	255/255	255/255
Минимальная яркость	4/5	32/36	0/0	0/0
Среднее значение яркости	50/50	101/101	81/81	127/127
Контрастность	251/248	223/219	255/255	255/255
Относительная контрастность	0,984/0,973	0,875/0,859	1/1	1/1
СКО	8,27/5,85	9,32/7,09	9,84/9,18	10,95/10,81



Рис. 11. Контекстная диаграмма оптимизированного технологического процесса повышения контрастности с точки зрения программиста

Fig. 11. Context diagram of optimized contrast enhancement from programmer's eyesight

характеристике среднеквадратического отклонения яркости, но при этом в изображении становятся заметны отдельные пиксели;

- количественные характеристики контрастности малоинформативны для изображений, полученных в шахтах.

На основе рассчитанных характеристик исходных и обработанных изображений получаем следующие нотации оптимизированного технологического процесса (рис. 11, 12).

В качестве эталонной характеристик выбирается уровень средней яркости. Исходя из этого уровня, системой выбираются характеристики гамма-коррекции (см. табл. 1). Если диспетчера устраивает полученное изображение, процесс на этом заканчивается. Если результат не устраивает, в качестве второго варианта предлагается изображение, обработанное методом локального контрастирования. Идет обращение к диспетчеру — устраивает ли его полученный вариант,

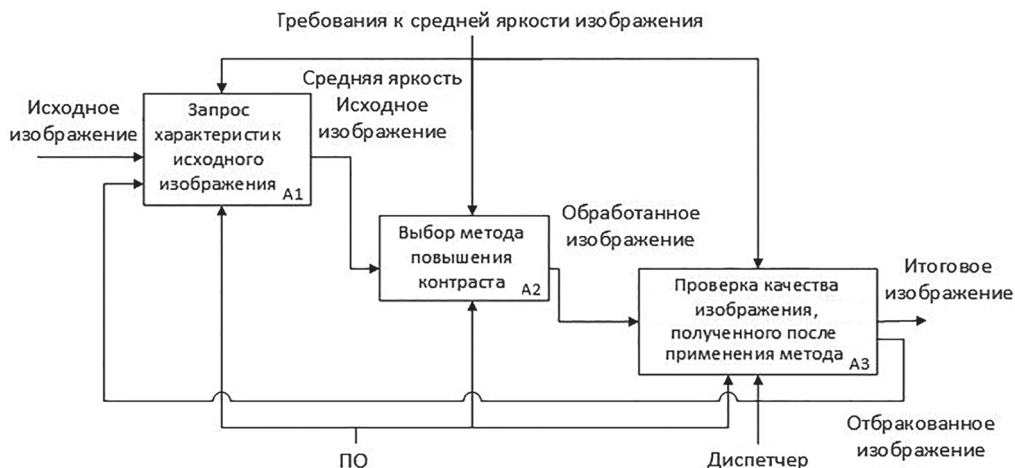


Рис. 12. Декомпозиция контекстной диаграммы оптимизированного технологического процесса повышения контрастности

Fig. 12. Decomposition of context diagram of optimized contrast enhancement

и если нет, в качестве третьего изображения предлагается вариант с применением метода эквализации. При таком подходе диспетчеру достаточно принять или отклонить предложенные варианты, никаких дополнительных действий или специальных знаний от него не требуется. Также возможен и второй вариант оптимизации процесса: диспетчеру предлагаются сразу три итоговых изображения — обработанные методами гамма-коррекции (с подобранными системой коэффициентами), локального контрастирования и эквализации. Далее диспетчер уже сам выбирает, с какой из трех картинок ему удобней работать. Все три метода отличаются быстродействием и малыми требованиями к ресурсам информационной системы.

Обсуждение результатов

В статье рассматривались быстродействующие методы повышения контрастности (гамма-коррекция, эквализация гистограммы, локального контрастирования). Был отвергнут метод соляризации, поскольку он приводил к «размытию» участков изображения вблизи источников освещения, что становится критичным, если съемка производится с головного светильника шахтера. Также не был рассмотрен метод CLAHE — по причине недостаточной исследованности коэффициентов. В дальнейших исследованиях предполагается доработать автоматизированную систему таким образом, что диспетчер будет выбирать область на изображении и эта область будет обрабатываться методами повышения контрастности. В результате будут сняты проблемы области объектов освещения и расширен диапазон методов.

В качестве количественной характеристики был выбран уровень средней яркости, по его значению система определяет коэффициенты гамма-коррекции и следующих методов, если они потре-

буются. Уровень средней яркости был выбран, потому что более всего отражает особенности изображения, снятого с головного светильника шахтера: низкий уровень яркости по всей области изображения и высокий уровень в области источников освещения.

Заключение

В работе произведена оптимизация технологического процесса повышения контрастности на изображениях, полученных в шахтах за счет автоматизации оценки количественных характеристик качества. Были выбраны изображения с головного светильника шахтера, описаны их особенности, обусловленные общим низким уровнем освещенности помещений и повышенной яркостью фрагментов изображений вблизи источников света (головных светильников и т.п.), рассчитаны количественные характеристики качества.

Даны рекомендации, какие характеристики качества следует анализировать в цифровых изображениях, полученных в шахтах. Данные количественные характеристики подобных изображений могут в дальнейшем использоваться и учитываться при разработке методов и алгоритмов их обработки.

Произведен анализ методов и алгоритмов повышения контрастности, применяемых для обработки цифровых изображений, полученных в шахтах. При анализе методов учтены особенности цифровых изображений, снятых камерами, встроенными в головные светильники шахтеров.

Приведены гистограммы распределения яркости на изображениях до и после обработки исследуемыми методами. Рассчитаны количественные характеристики контрастности изображений.

Предложен критерий уровня средней яркости как количественная характеристика, на основании значений которой

можно провести автоматизацию обработки изображений.

В дальнейшем планируется совершенствование алгоритма в виде контрастирования отдельной выбранной об-

ласти, что позволит применить большее количество методов повышения контрастности и рассмотреть другие количественные характеристики автоматизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А. В., Паневников К. В., Писарев И. В. Многофункциональная система безопасности угольных шахт — визуализация событий (горнотехнических процессов) с рабочего места шахтера // Горная промышленность. — 2021. — № 5. — С. 65–69. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-65-69.

2. Ol't Yu., Maksarov V. V., Makhov V. E. Intelligence systems for quality assessment of threaded surfaces and flaw monitoring based on digital light field recording // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2020, vol. 56, no. 11, pp. 915–926. DOI: 10.1134/S1061830920110054.

3. Koteleva N., Valnev V. Automatic Detection of Maintenance Scenarios for Equipment and Control Systems in Industry // Applied Sciences (Switzerland). 2023, vol. 13, no. 24, article 12997. DOI: 10.3390/app132412997.

4. Rudakov M. L., Rabota E. N., Kolvakh K. A. Assessment of the individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2020, vol. 4, pp. 88–93. DOI: 10.33271/nvngu/2020-4/088.

5. Непша Ф. С., Воронин В. А., Ливен А. С., Корнеев А. С. Оценка целесообразности применения когенерационных установок на угольных шахтах Кузбасса // Записки Горного института. — 2023. — Т. 259. — С. 141–150. DOI: 10.31897/PMI.2023.2.

6. Бузмаков С. А., Санников П. Ю., Кучин Л. С., Игошева Е. А., Абдулманова И. Ф. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения // Записки Горного института. — 2023. — Т. 260. — С. 180–193. DOI: 10.31897/PMI.2023.22.

7. Маховиков А. Б., Крыльцов С. Б., Матрохина К. В., Трофимовец В. Я. Система защищенной корпоративной связи для металлургического предприятия // Цветные металлы. — 2023. — № 4. — С. 5–13. DOI: 10.17580/tsm.2023.04.01.

8. Захаров В. Н., Гвишиани А. Д., Вайсберг Л. А., Дзеранов Б. В. Большие данные и устойчивое функционирование горнотехнических систем // Горный журнал. — 2021. — № 11. — С. 45–52. DOI: 10.17580/gzh.2021.11.06.

9. Litvinenko V. S., Bowbrick I., Naumov I. A., Zaitseva Z. Global guidelines and requirements for professional competencies of natural resource extraction engineers: Implications for ESG principles and sustainable development goals // Journal of Cleaner Production. 2022, vol. 338, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130530.

10. Вальков В. А., Виноградов К. П., Валькова Е. О., Мустафин М. Г. Создание растров высокой информативности по данным лазерного сканирования и аэрофотосъемки // Геодезия и картография. — 2022. — Т. 989. — № 11. — С. 40–49. DOI: 10.22389/0016-7126-2022-989-11-40-49.

11. Zhang H., Tao P., Meng X., Liu M., Liu X. An optimum deployment algorithm of camera networks for open-pit mine slope monitoring // Sensors. 2021, vol. 21, no. 4, article 1148. DOI: 10.3390/s21041148.

12. Обухова Н. А., Баранов П. С., Мотыко А. А., Чиркунова А. А., Поздеев А. А. Восстановление малоконтрастных текстов архивных документов на основе применения гиперспектральных технологий / Цифровая обработка сигналов и ее применение DSPA–2023. Доклады XXV Международной конференции. — М., 2023. — С. 210–214.

13. Пряхин Е. И., Трошина Е. А. Деградация после термического и химического воздействия матричных кодов, сформированных с помощью лазеров на изделиях из латуни и алюминиевого сплава // Цветные металлы. — 2022. — № 7. — С. 87–91. DOI: 10.17580/tsm.2022.07.10.

14. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П., Перетягин Г. И., Спектор А. А. Цифровая обработка изображений в информационных системах. — Новосибирск: НГТУ, 2000. — 156 с.

15. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
16. Сергеев М. Б., Соловьев Н. В., Стадник А. И. Методы повышения контрастности растровых изображений для систем цифровой обработки видеoinформации // Информационно-управляющие системы. — 2007. — № 1 (26). — С. 2–7.
17. Мазакон Е. Б. Из истории кибернетики: кафедра информационных систем и вычислительной техники Горного университета // Вопросы истории. — 2022. — № 5(1). — С. 107–117. DOI: 10.31166/VoprosyIstorii202205Statyi01.
18. Захлебин А. С., Калибеков А., Курячий М. И. Построение геопривязанного ортофотоплана участка местности по изображениям с телевизионной камеры БПЛА вертолетного типа / Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. — 2020. — № 1-2. — С. 187–189.
19. Sytko I. I., Makhov V. E. Study of dynamic properties of measuring equipment at the design stage // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 1728, no. 1, article 012020. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1728/1/012020>.
20. Мовчан А. К., Капустин В. В., Курячий М. И., Чалдина Е. С. Методы и алгоритмы прецизионного измерения дальности активно-импульсными телевизионными измерительными системами // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. — 2020. — Т. 23. — № 2. — С. 7–14. DOI: 10.21293/1818-0442-2020-23-2-7-14.
21. Motyko A. A., Chirkunova A. A., Baranov P. S., Obukhova N. A. Hyperspectral technology in state of the art computer vision application / Seminar on Information Computing and Processing (ICP), 2023, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICP60417.2023.10397293.
22. Chaldina E. S., Movchan A. K., Kapustin V. V., Kuryachiy M. I. Multi-area range measurement method using active–pulse television measuring systems / 21th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM-2020). 2021, no. 21, pp. 293–297. DOI: 10.1109/EDM49804.2020.9153500.
23. Brooks C. N., Dobson R. J., Dean D. B., Banach D., Oommen T., Havens T. C., Ahlborn T., Cook S. J., Clover A. Evaluating the use of unmanned aerial vehicles for transportation purposes. Michigan Department of Transportation, Michigan, USA, 2015. Report No. RC-1616, 201 p.
24. Potapov A. I., Makhov V. E., Smorodinskii Y. G., Manevich E. Y. Smart-camera-based linear sizing // Russian Journal of Non-destructive Testing. 2019, vol. 55, no. 7, pp. 524–532.
25. Temkin I., Myaskov A., Deryabin S., Konov I., Ivannikov A. Design of a digital 3D model of transport–technological environment of open-pit mines based on the common use of telemetric and geospatial information // Sensors. 2021, vol. 21, no. 18, article 6277. DOI: 10.3390/s21186277.
26. Chirkunova A. A. Methods for increasing the contrast sensitivity of the image sensor / 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 2017, pp. 1–4. DOI: 10.1109/EIConRus.2017.7910641.
27. Arena F., Pau G., Severino A. An overview on the current status and future perspectives of smart cars // Infrastructures. 2020, vol. 5, no. 7, article 53. DOI: 10.3390/infrastructures 5070053.
28. Kamenskiy A. V. High-speed recursive-separable image processing filters // Computer Optics. 2022, vol. 46, no. 4, pp. 659–665.
29. Красильников Н. Н. Цифровая обработка изображений. — М.: Вузовская книга, 2001. — 320 с.
30. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с.
31. Vostrikov A., Sergeev M., Balonin N., Chernyshev S. B. Digital masking using mersenne matrices and their special images / Procedia Computer Science. Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems: Proceedings of the 21st International Conference. 2017, pp. 1151–1159. DOI: 10.1016/j.procs.2017.08.156.
32. Востриков А. А., Сергеев М. Б., Литвинов М. Ю. Маскирование цифровой визуальной информации: термин и основные определения // Информационно-управляющие системы. — 2015. — № 5 (78). — С. 116–123. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2015.5.116.
33. Михайлов В. В., Колпащиков Л. А., Соболевский В. А., Соловьев Н. В., Якушев Г. К. Методологические подходы и алгоритмы распознавания и подсчета животных на аэрофото-снимках // Информационно-управляющие системы. — 2021. — № 5 (114). — С. 20–32. DOI: 10.31799/1684-8853-2021-5-20-32.

34. Убоженко Д. Ю., Закутаев А. А., Широбоков В. В. Исследование вопросов унификации калибровочного обеспечения квантово-оптических и радиолокационных средств // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2021. — № 6. — С. 244–250.
35. Подгорнова Ю. А., Садыков С. С., Самандаров И. Р., Воронцов С. А. Исследование критериев распознавания доброкачественных заболеваний на маммограммах / Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. Материалы XVI Международной научно-технической конференции. — Курск, 2021. — С. 279–281.
36. Podgornova Yu. A., Sadykov S. S. Comparative analysis of segmentation algorithms for the allocation of microcalcifications on mammograms / CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the 5th Information Technology and Nanotechnology-2019: Image Processing and Earth Remote Sensing. 2019, pp. 122–127. DOI: 10.18287/1613-0073-2019-2391-121-127. **VIAS**

REFERENCES

- Novikov A. V., Panevnikov K. V., Pisarev I. V. Multifunctional security system for coal mines – visualization of events (mining processes) from the miner's workplace. *Russian Mining Industry Journal*. 2021, no. 5, pp. 65–69. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-65-69.
- Ol't Yu., Maksarov V. V., Makhov V. E. Intelligence systems for quality assessment of threaded surfaces and flaw monitoring based on digital light field recording. *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2020, vol. 56, no. 11, pp. 915–926. DOI: 10.1134/S1061830920110054.
- Koteleva N., Valnev V. Automatic Detection of Maintenance Scenarios for Equipment and Control Systems in Industry. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023, vol. 13, no. 24, article 12997. DOI: 10.3390/app132412997.
- Rudakov M. L., Rabota E. N., Kolvakh K. A. Assessment of the individual risk of fatal injury to coal mine workers during collapses. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, vol. 4, pp. 88–93. DOI: 10.33271/nvngu/2020-4/088.
- Nepsha F. S., Voronin V. A., Liven A. S., Korneev A. S. Feasibility study of using cogeneration plants at Kuzbass coal mines. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 259, pp. 141–150. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.2.
- Buzmakov S. A., Sannikov P. Yu., Kuchin L. S., Igosheva E. A., Abdulmanova I. F. The use of unmanned aerial photography for interpreting the echnogenic transformation of the natural environment during the oil field operation. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 260, pp. 180–193. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.22.
- Makhovikov A. B., Kryltsov S. B., Matrokhina K. V., Trofimets V. Y. Secured communication system for a metallurgical company. *Tsvetnye Metally*. 2023, no. 4, pp. 5–13. [In Russ]. DOI: 10.17580/tsm.2023.04.01.
- Zakharov V. N., Gvishiani A. D., Vaisberg L. A., Dzeranov B. V. Big data and sustainable functioning of geotechnical systems. *Gornyi Zhurnal*. 2021, no. 11, pp. 45–52. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.11.06.
- Litvinenko V. S., Bowbrick I., Naumov I. A., Zaitseva Z. Global guidelines and requirements for professional competencies of natural resource extraction engineers: Implications for ESG principles and sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*. 2022, vol. 338, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130530.
- Valkov V. A., Vinogradov K. P., Valkova E. O., Mustafin M. G. Creating highly informative rasters based on laser scanning and aerial photography data. *Geodesy and Cartography*. 2022, vol. 989, no. 11, pp. 40–49. [In Russ]. DOI: 10.22389/0016-7126-2022-989-11-40-49.
- Zhang H., Tao P., Meng X., Liu M., Liu X. An optimum deployment algorithm of camera networks for open-pit mine slope monitoring. *Sensors*. 2021, vol. 21, no. 4, article 1148. DOI: 10.3390/s21041148.
- Obukhova N. A., Baranov P. S., Motyko A. A., Chirkunova A. A., Pozdeev A. A. Restoration of low-contrast texts of archival documents based on the use of hyperspectral technologies. *Tsifrovaya obrabotka signalov i ee primeneniye DSPA–2023. Doklady XXV Mezhdunarodnoy konferentsii* [Digital signal processing and its application DSPA–2023. Reports of the XXV International Conference], Moscow, 2023, pp. 210–214. [In Russ].

13. Pryakhin E. I., Troshina E. Y. Degradation induced by thermal and chemical on matrix codes installed on brass and aluminium alloy parts by laser. *Tsvetnye Metally*. 2022, no. 7, pp. 87 – 91. [In Russ]. DOI: 10.17580/tsm.2022.07.10.
14. Gruzman I. S., Kirichuk V. S., Kosykh V. P., Peretyagin G. I., Spektor A. A. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v informatsionnykh sistemakh* [Digital image processing in information systems], Novosibirsk, NGTU, 2000, 156 p.
15. Gonsales R., Vuds R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital image processing], Moscow, Tekhnosfera, 2005, 1072 p.
16. Sergeev M. B., Soloviev N. V., Stadnik A. I. Methods for increasing the contrast of raster images for digital video processing systems. *Information and Control Systems*. 2007, no. 1 (26), pp. 2 – 7. [In Russ].
17. Mazakov E. From the history of cybernetics on the example of the department of information systems and computer engineering of the mining university. *Voprosy Istorii*. 2022, no. 5(1), pp. 107 – 117. [In Russ]. DOI: 10.31166/VoprosyIstorii202205Statyi01.
18. Zakhlebin A. S., Kalibekov A., Kuryachiy M. I. Construction of a georeferenced orthophotomap of a terrain site based on images from a television camera of a helicopter-type UAV. *Electronic means and control systems. Elektronnyye sredstva i sistemy upravleniya. Materialy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Electronic tools and control systems. Materials of the reports of the International Scientific and Practical Conference], 2020, no. 1-2, pp. 187 – 189. [In Russ].
19. Sytko I. I., Makhov V. E. Study of dynamic properties of measuring equipment at the design stage. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, vol. 1728, no. 1, article 012020. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1728/1/012020>.
20. Movchan A. K., Kapustin V. V., Kuryachiy M. I., Chaldina E. S. Methods and algorithms for precision range measurement by active-pulse television measuring systems. *Proceedings of TUSUR University*. 2020, vol. 23, no. 2, pp. 7 – 14. [In Russ]. DOI: 10.21293/1818-0442-2020-23-2-7-14.
21. Motyko A. A., Chirkunova A. A., Baranov P. S., Obukhova N. A. Hyperspectral technology in state of the art computer vision application. *Seminar on Information Computing and Processing (ICP)*, 2023, pp. 1 – 4. DOI: 10.1109/ICP60417.2023.10397293.
22. Chaldina E. S., Movchan A. K., Kapustin V. V., Kuryachiy M. I. Multi-area range measurement method using active – pulse television measuring systems. *21th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM-2020)*. 2021, no. 21, pp. 293 – 297. DOI: 10.1109/EDM49804.2020.9153500.
23. Brooks C. N., Dobson R. J., Dean D. B., Banach D., Oommen T., Havens T. C., Ahlborn T., Cook S. J., Clover A. *Evaluating the use of unmanned aerial vehicles for transportation purposes*. Michigan Department of Transportation, Michigan, USA, 2015. Report No. RC-1616, 201 p.
24. Potapov A. I., Makhov V. E., Smorodinskii Y. G., Manevich E. Y. Smart-camera-based linear sizing. *Russian Journal of Non-destructive Testing*. 2019, vol. 55, no. 7, pp. 524 – 532.
25. Temkin I., Myaskov A., Deryabin S., Konov I., Ivannikov A. Design of a digital 3D model of transport – technological environment of open-pit mines based on the common use of telemetric and geospatial information. *Sensors*. 2021, vol. 21, no. 18, article 6277. DOI: 10.3390/s21186277.
26. Chirkunova A. A. Methods for increasing the contrast sensitivity of the image sensor. *2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*. 2017, pp. 1 – 4. DOI: 10.1109/EIConRus.2017.7910641.
27. Arena F., Pau G., Severino A. An overview on the current status and future perspectives of smart cars. *Infrastructures*. 2020, vol. 5, no. 7, article 53. DOI: 10.3390/infrastructures5070053.
28. Kamenskiy A. V. High-speed recursive-separable image processing filters. *Computer Optics*. 2022, vol. 46, no. 4, pp. 659 – 665.
29. Krasil'nikov N. N. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital image processing], Moscow, Vuzovskaya kniga, 2001, 320 p.
30. Shapiro L., Stockman J. *Komp'yuternoe zrenie* [Computer vision], Moscow, BINOM, 2006, 752 p.
31. Vostrikov A., Sergeev M., Balonin N., Chernyshev S. B. Digital masking using mersenne matrices and their special images. *Procedia Computer Science. Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems: Proceedings of the 21st International Conference*. 2017, pp. 1151 – 1159. DOI: 10.1016/j.procs.2017.08.156.

32. Vostrikov A. A., Sergeev M. B., Litvinov M. Yu. Masking digital visual information: term and basic definitions. *Information and control systems*. 2015, no. 5 (78), pp. 116–123. [In Russ]. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2015.5.116.

33. Mikhailov V. V., Kolpashchikov L. A., Sobolevsky V. A., Soloviev N. V., Yakushev G. K. Methodological approaches and algorithms for animal recognition and counting on aerial photographs. *Information and Control Systems*. 2021, no. 5 (114), pp. 20–32. [In Russ]. DOI: 10.31799/1684-8853-2021-5-20-32.

34. Ubozhenko D. Yu., Zakutaev A. A., Shirobokov V. V. Study of issues of unification of calibration support for quantum-optical and radar equipment. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2021, no. 6, pp. 244–250. [In Russ].

35. Podgornova Yu. A., Sadykov S. S., Samandarov I. R., Vorontsov S. A. Study of criteria for recognition of benign diseases on mammograms. *Optiko-elektronnye pribory i ustroystva v sistemakh raspoznavaniya obrazov i obrabotki izobrazheniy. Materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Optoelectronic devices and devices in image recognition and image processing systems. Proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference], Kursk, 2021, pp. 279–281. [In Russ].

36. Podgornova Yu. A., Sadykov S. S. Comparative analysis of segmentation algorithms for the allocation of microcalcifications on mammograms. *CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the 5th Information Technology and Nanotechnology-2019: Image Processing and Earth Remote Sensing*. 2019, pp. 122–127. DOI: 10.18287/1613-0073-2019-2391-121-127.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зайцева Екатерина Викторовна¹ — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: Zaytseva_EV@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7944-0468,

Кочнева Алина Александровна¹ — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: Kochneva_AA@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8189-782X,

Катунцов Евгений Владимирович¹ — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: Katuntsov_EV@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0001-8345-0979,

¹ Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II.

Для контактов: Зайцева Е.В., e-mail: Zaytseva_EV@pers.spmi.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.V. Zaitseva¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: Zaytseva_EV@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7944-0468,

A.A. Kochneva¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: Kochneva_AA@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8189-782X,

E.V. Katuntsov¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: Katuntsov_EV@pers.spmi.ru,
ORCID ID: 0000-0001-8345-0979,

¹ Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: E.V. Zaitseva, e-mail: Zaytseva_EV@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 27.09.2023; получена после рецензии 04.04.2025; принята к печати 10.06.2025.

Received by the editors 27.09.2023; received after the review 04.04.2025; accepted for printing 10.06.2025.