

# Приложения компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности

**В.А. Калашников<sup>1</sup>, В.И. Соловьев<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup>Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «ЦИАРС», Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия

\*vs@ciars.ai

**Аннотация.** В последнее десятилетие происходит активная цифровизация промышленного производства на основе бурно развивающихся информационных технологий, в том числе технологий искусственного интеллекта. Во многом это связано с развитием методов глубокого обучения и их применения в компьютерном зрении. С середины 2010-х сверточные нейронные сети демонстрируют исключительную эффективность при решении таких задач, как обнаружение, классификация и сегментация различных объектов. В результате методы компьютерного зрения начинают активно использоваться в задачах контроля качества сырья и готовой продукции. Все это относится к горнодобывающей промышленности. Однако в отечественной научной литературе практически отсутствуют систематические обзоры приложений компьютерного зрения в этой области. Настоящее исследование призвано восполнить этот пробел. В данной работе дается систематический обзор истории развития и современного состояния методов и технологий машинного зрения, применяемых в горнодобывающей промышленности для анализа твердых материалов, демонстрируются последние достижения в этой области и примеры их применения в горном деле. Авторы проанализировали 29 научных работ в области применения компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности и классифицировали этапы развития технологий, начиная с середины 1980-х гг., когда компьютерное зрение использовалось без применения машинного обучения, и заканчивая современными исследованиями на основе использования глубоких сверточных нейронных сетей для решения задач классификации и сегментации. Приводится сравнение эффективности применяемых методов, обсуждаются их достоинства и недостатки, даются прогнозы развития методов компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности на ближайшее будущее. Приведены примеры, показывающие, что использование сверточных нейронных сетей позволило перейти на качественно более высокий уровень в решении задач классификации и сегментации применительно к анализу объемов выпуска продукции горнодобывающей промышленности, гранулометрического состава, в том числе лещадности, угловатости и шероховатости, содержания пыли и глины, насыпной плотности и пустотности и др.

**Ключевые слова:** глубокое обучение, компьютерное зрение, сверточные нейронные сети, сегментация, классификация, горнодобывающая промышленность, цифровая обработка изображений

**Для цитирования:** Калашников В.А., Соловьев В.И. Приложения компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 1. С. 4–21. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-1-4-21

# Applications of computer vision in the mining industry

V. Kalashnikov<sup>1</sup>, V. Soloviev<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>2</sup>CIARS LLC, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Moscow State University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

\*vs@ciars.ai

**Abstract.** In the last decade, there has been an active digitalization of industrial production based on rapidly developing information technologies, including artificial intelligence technologies. This is largely due to the development of deep learning methods and their applications in computer vision. Since the mid 2010s convolutional neural networks demonstrate exceptional efficiency in solving problems such as the detection, classification and segmentation of various objects. As a result, computer vision methods are beginning to be actively used in the problems of quality control of raw materials and finished products. All this applies to the mining industry. However, in the Russian scientific literature there are practically no systematic reviews of computer vision applications in this area. The present study aims to fill this gap. The paper provides a systematic review of the history of development and the current state of the methods and technologies of machine vision used in the mining industry for the analysis of solid materials, demonstrates the latest achievements in this area and examples of their application in the mining industry. The authors have analyzed 29 research papers in the field of application of computer vision in the mining industry and classified the stages of technology development from the mid-1980s, when computer vision was used without the use of machine learning, and ending with modern research based on the use of deep convolutional neural networks for solving problems of classification and segmentation. The effectiveness of the methods used is compared, their advantages and disadvantages are discussed, and forecasts are made for the development of computer vision methods in the mining industry in the near future. Examples are given showing that the use of convolutional neural networks made it possible to move to a qualitatively higher level of quality in solving problems of classification and segmentation as applied to the analysis of output volume, particle size distribution, including flakiness, angularity and roughness, dust and clay content, bulk density and emptiness, etc.

**Keywords:** deep learning, computer vision, convolutional neural networks, segmentation, classification, mining, digital image processing

**For citation:** Kalashnikov V., Soloviev V. Applications of computer vision in the mining industry. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2023, vol.18, no.1, pp.4-21 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-1-4-21

## Введение

В последнее десятилетие идет активная цифровизация промышленного производства на основе быстро развивающихся информационных технологий, в том числе технологий искусственного интеллекта. Это во многом связано с бурным развитием методов глубокого обучения и их приложений в компьютерном зрении. Начиная

с середины 2010-х гг. сверточные нейронные сети демонстрируют исключительную эффективность в решении таких задач, как обнаружение, классификация и сегментация различных объектов.

Раньше интеллектуальные технологии активно внедрялись в процессы, где можно обеспечить идеальную повторяемость условий внешней среды. В частности, системы ком-