

УДК 622.7

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Янченко К.Д., Носкова Л.В.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске

Аннотация: В настоящей работе рассмотрим перспективы развития одного из ведущих методов обогащения полезных ископаемых – процесса флотации и влияние на этот процесс цифровизации. Проведен сравнительный анализ регулирования процесса флотации искусственным интеллектом и человеком.

Ключевые слова: Перспективные технологии, обогащение полезных ископаемых, флотация, флотационные машины, реагенты, краевой угол смачивания, искусственный интеллект, цифровизация.

Abstract: In this paper, we will consider the prospects for the development of one of the leading methods of mineral processing – the flotation process and the impact of digitalization on this process. We will conduct a comparative analysis of the regulation of the flotation process by artificial intelligence and humans.

Keywords: Advanced technologies, mineral processing, flotation, flotation machines, the wetting edge angle, reagents, artificial intelligence, digitalization.

Современное производство сталкивается с необходимостью постоянно повышать эффективность добычи и переработки полезных ископаемых. Существующие технологии снижают конкурентоспособность Российского сырья, в связи с уменьшением качественных и легкодоступных месторождений полезных ископаемых. Добыча и переработка полезных ископаемых связана с изменениями окружающей среды и приводит к росту экологических проблем. Внедрение инновационных технологий, способно повысить производительность горных работ, уменьшить себестоимость продукции и минимизировать ущерб, оказываемый окружающей среде от горных предприятий.

На рисунке 1 представлены отрасли информационных технологий, которые горные компании считают для себя наиболее важными и приоритетными в ближайшей перспективе [1]. Переход на цифровые технологии, применение искусственного интеллекта позволяет оперативно принимать обоснованные решения улучшения технологических режимов работы оборудования и его интеллектуального обслуживания и ремонтов [2, 3].



Рисунок 1 – Приоритетные информационные технологии

С помощью искусственного интеллекта и моделирования стало возможно создавать умные системы управления производством, обеспечивающие глубокий анализ огромных объемов информации, быстрое реагирование на изменение ситуации и эффективное распределение ресурсов.

В настоящее время разрабатывается множество перспективных направлений в областях добычи и переработки полезных ископаемых, например, такие как проект «Геометаллургия» компании ЕВРАЗ [4], интеллектуальные буровые скважины, подземное выщелачивание рудных залежей, использование искусственного интеллекта в процессах флотации угля «Смарт флот» [5].

Основные направления применения инновационных технологий по данным Росстата представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Основные направления применения инновационных технологий

Более подробно хотелось бы остановиться на процессе флотации угля и применении к нему процесса цифровизации. По данным Росстата в Кузбассе действует 57 углеобогащительных фабрик, процесс флотации используют 70% предприятий. Зачастую в угольных шламах содержится около 25% угольного концентрата. Именно процесс флотации позволяет повысить выход угольного концентрата за счет извлечения из горной массы мельчайших частиц менее 0,5 мм. Флотация повышает глубину обогащения угля до 0 мм, таким образом, возрастает эффективность работы обогащительных предприятий.

Процесс флотации начал применяться более ста лет назад, для извлечения мелких частиц руды при помощи пены, позднее флотация стала использоваться для обогащения угольных шламов. Флотация основана на таком свойстве минералов как смачиваемость. Одни частицы гидрофильные – хорошо смачиваются водой, другие гидрофобные, плохо смачиваются водой. Принцип флотации в том, что тонкодисперсные частицы угля прилипают к воздушному пузырьку и всплывают на поверхность, образуя флотоконцентрат.

В ходе развития технологии процесс флотации значительно эволюционировал, из простого механического метода он стал высокотехнологичным процессом, в котором используются специально разработанные химические реагенты, машины и другие инструменты обогащения [6].

Современные предприятия стараются активно внедрить инновационные технологии в процесс флотации. Процесс флотации имеет свои сложности. Каждая марка угля имеет свой уникальный химический состав, разное содержание углерода, водорода, серы, и других элементов, а также имеет различный краевой угол смачивания θ_c . Краевой угол смачивания – это угол, образующийся на стыке трех фаз (жидкость, твердое тело, газ) между поверхностью твердого тела и касательной к поверхности жидкости (см. рисунок 3) [7]. От краевого угла смачивания, напрямую зависит то, как будут прилипать мелкие частицы к воздушному пузырьку. Чем больше краевого угла смачивания, тем хуже смачивается частица и тем лучше прилипает к пузырьку воздуха. Поэтому условия флотации для различных марок угля могут отличаться.

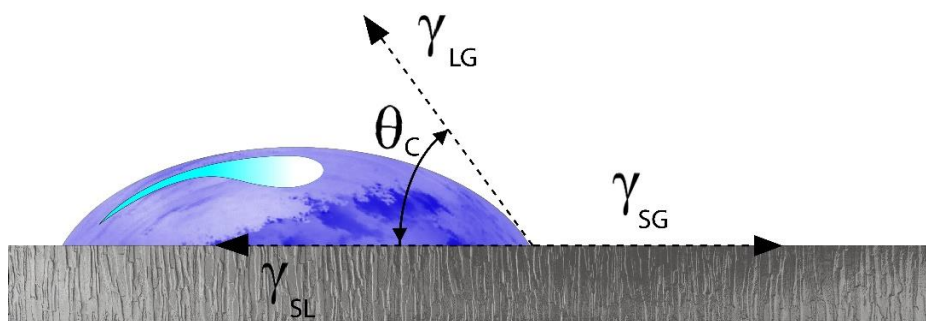


Рисунок 3 – Краевой угол смачивания: γ_{SL} , γ_{LG} , γ_{SG} – удельные свободные поверхностные энергии на границе раздела фаз (твёрдое тело-жидкость (SL), жидкость-газ (LG) и твёрдое тело-газ (SG))

Для повышения качества флотации требуется учитывать множество факторов: физико-химические свойства исходного сырья, параметры работы оборудования, температурные режимы и т.д. Использование нейронных сетей и машинного обучения позволяют повысить эффективность флотации. В базе данных собираются и анализируются тысячи параметров, например: уровень пульпы, плотность фракций, температура, количество реагентов, устойчивость пузырьков воздуха и другое. Нейросеть анализирует данные, предлагает оптимальные настройки работы флотомшины, что позволяет максимально повысить извлечение легких частиц угля в концентрат. Система

искусственного интеллекта может прогнозировать количество и зольность концентрата при различных параметрах процесса. Применение нейросетей позволяет более точно настраивать процесс флотации, минимизировать потери концентрата и экономить ресурсы.

Проведем небольшой сравнительный анализ и рассмотрим все достоинства и недостатки искусственного интеллекта (ИИ) и работу человека (см. таблицу).

Таблица 1 - Сравнение применения ИИ и человека

	Достоинства	Недостатки
Искусственный интеллект	1. Быстрая обработка большого массива данных 2. Высокая чувствительность и точность 3. Прогнозирование качества и количества требуемого концентрата 4. Оптимизация расхода реагентов	1. требуется длительное обучение нейросети на реальных данных 2. Затраты на создание и поддержание работы системы датчиков и программного обеспечения 3. Сбои и «галлюцинации» искусственного интеллекта
Человек	1. Простота и дешевизна эксплуатации при наличии высокой квалификации 2. Возможность реагирования на отклонения в работе оборудования 3. Оперативное устранение мелких неисправностей	1. Нахождение во вредных условиях 2. Отпуск, больничные листы, усталость, невнимательность. 3. Недостаточная эффективность настройки параметров 4. Ограниченная возможность учета всех исходных условий

Рассмотрев очевидные плюсы и минусы, можно сделать вывод, что наибольшую эффективность процесса флотации при развитии технологий на данный момент можно достичь только при совместной работе искусственного интеллекта и человека. Данные, собранные системой, помогут флотатору в процессе работы в настройке большинства параметров, чтобы максимально эффективно провести процесс флотации, в свою очередь человек будет следить за корректной работой искусственного интеллекта, во избежание различных сбоев в программе. Кроме того на первом этапе следует обучить нейронные сети специалистами в области обогащения полезных ископаемых и проводить периодические корректировки в работе искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Матерова, Е.С. Цифровизация деятельности российских компаний горнодобывающей отрасли / Е.С. Матерова, Ж.А. Аксенова, Р.Р. Шарафул-

лина, и др. // Уголь. 2024. №11. URL:
<https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-deyatelnosti-rossiyskih-kompaniy-gornodobyvayuschey-otrasli>.

2. Интеллектуальное обслуживание редукторов горных машин / В. И. Клишин, Б. Л. Герике, Е. Г. Кузин, А. А. Мокрушев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S38. – С. 369-392. – DOI 10.25018/0236-1493-2017-12-38-369-392. – EDN YSHNXXN.

3. Загирный, В.А. Комбинированная геотехнология: цифровизация и роботизация геотехнологических процессов // Горная промышленность. – 2025. – № С. 59-63

4. Голик В.И., Титова А.В., Титов Г.И. Гидрометалургические процессы при подземной добычи металлов // Горная промышленность. – 2023. – №1 С.85-92.

5. Цифровой советчик флотации / Добывающая промышленность // Под редакцией Щетникова А.А. – 2024. – №1(43) С. 94-96

6. Горбунков, А.И. Исследования процесса флотации угольных шламов с применением кремней органических полимеров // VII Всероссийская 70 научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 22-25 апреля 2025 г. г. Кемерово.

7. Оборудование измерения краевого контактного угла смачивания. Режим доступа: https://zencoplasma.ru/catalog/teh-oborudovanie/izmerenie_kraevogo_ugla_smachivaniya.