

Повышение точности прогнозирования разлета породы при взрыве



При взрывных работах в открытых карьерах часть породы может вылететь за пределы расчетной зоны. Такие фрагменты — «разлет породы» — представляют опасность для людей и объектов. Поэтому оценка возможной дальности разлета важна при планировании безопасной зоны взрыва. Но на результат влияют и параметры буровзрывных работ, и условия на конкретном участке, а значит, простые расчетные зависимости не всегда дают точный прогноз.

Международная группа ученых, в которую вошел *Джиандонг Хуанг*, специалист Высшей школы передовых цифровых технологий СПбПУ, исследовала, можно ли повысить точность прогноза с помощью машинного обучения. В основе предложенной модели — LightGBM, алгоритм, который объединяет множество деревьев решений. Его настройки ученые подбирали с помощью двух метаэвристических алгоритмов оптимизации: MVO и ALO. Такие алгоритмы ищут сочетания параметров модели, при которых она лучше описывает данные.

Для проверки подхода исследователи использовали сведения о 209 взрывах на свинцово-цинковом руднике. В модель включили пять параметров: массу породы, приходящуюся на одну

скважину; длину забойки — части скважины, заполненной материалом над зарядом; расстояние между скважинами; удельный расход взрывчатого вещества; заряд на замедление. Данные случайным образом разделили на обучающую выборку из 167 записей и тестовую из 42. Последняя служила для проверки прогноза на данных, не использованных при обучении.

На тестовой выборке модель MVO-LightGBM показала коэффициент детерминации $R^2=0,981$ и среднюю абсолютную ошибку 4,132 м. По совокупности использованных метрик она превзошла исходную LightGBM и модели сравнения: метод опорных векторов, CART и дерево решений. Высокий результат относится к проверке на данных одного рудника: статья не сообщает об испытании модели на независимых данных с другого месторождения.

Авторы также проанализировали чувствительность модели к пяти входным параметрам. Наибольший показатель чувствительности получили для массы породы на скважину, наименьший — для расстояния между скважинами. Это ранжирование показывает, какие параметры сильнее влияли на прогноз модели в рамках проведенного анализа, но не доказывает, что изменение одного из них само по себе приводит к изменению дальности разлета.

Результаты показывают, что сочетание LightGBM с алгоритмом MVO может повысить точность прогноза по сравнению с рассмотренными в статье моделями. Авторы считают подход перспективным для оценки разлета породы при взрывных работах. Перед применением на других объектах его необходимо проверить на данных с учетом геологических особенностей и технологии взрывания конкретных карьеров.

Оригинал статьи: *"Flyrock distance prediction using a hybrid LightGBM ensemble learning and two nature-based metaheuristic algorithms"*, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2026, 18, с. 129–150.