Модель для оценки вибраций при взрывных работах

Взрывы при добыче полезных ископаемых вызывают колебания грунта, способные повредить расположенные рядом сооружения и инфраструктуру. Для оценки этого воздействия используют пиковую скорость колебаний частиц грунта (PPV). Однако точность прогноза зависит от множества параметров взрыва и горного массива, а экспертные оценки их взаимного влияния содержат неопределенность.

Международная группа ученых, в которую вошли исследователи Высшей школы передовых цифровых технологий СПбПУ *Николай Ватин* и *Джиандун Хуан*, разработала модель ZRES. Она объединяет систему горно-геологической инженерии (RES), описывающую взаимосвязи между параметрами, с теорией Z-чисел, которая позволяет учитывать уверенность экспертов в своих оценках.

Модель проверили на данных 80 взрывных циклов на свинцово-цинковом карьере. В анализ вошли 11 характеристик, в том числе масса заряда, удельный расход взрывчатого вещества и геометрические соотношения параметров буровзрывной сетки. Авторы сравнили ZRES с базовой моделью RES и оценили чувствительность прогноза к каждому параметру.

Авторы продемонстрировали, что на использованном наборе данных ZRES точнее согласуется с измерениями, чем RES: коэффициент детерминации составил 0,941 против 0,881, а среднеквадратичная ошибка — 1,733 против 2,833. Анализ чувствительности указал на отношение расстояния между скважинами к линии наименьшего сопротивления (S/B) как на наиболее влиятельный параметр, а отношение высоты уступа к линии наименьшего сопротивления (H/B) — как на наименее влиятельный.

Для условий исследованного карьера авторы оценили PPV в 55,64 мм/с и отнесли соответствующий уровень риска к средне-высокому. Эта оценка относится к конкретным условиям и не должна напрямую переноситься на другие месторождения или схемы взрывания. Исследование также ограничено данными одного карьера; в частности, в анализ не вошли интервалы задержки между зарядами. В работе сделан вывод о том, что подход ZRES может улучшить оценку риска и прогноз PPV в рассмотренных условиях, но для проверки его применимости нужны данные с других объектов и учет дополнительных параметров.

Оригинал статьи: “Advancing Peak Particle Velocity Prediction in Rock Blasting: A Z-Based Rock Engineering System”, Rock Mechanics and Rock Engineering, 2026, vol. 59, pp. 1023–1045.