

Как выбрать проходческий комбайн с учетом неопределенности?



Выбор оборудования для подземных горных работ влияет на производительность, техническое обслуживание и затраты предприятия. Сравнивать машины только по одному показателю недостаточно: у комбайна может быть высокая наработка, но небольшой остаточный ресурс, или, наоборот, значительный ресурс при меньшей производительности. Кроме того, исходные данные зависят от условий эксплуатации и не всегда точно описывают состояние техники.

Исследователи Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого совместно с коллегами из Санкт-Петербургского Горного Университета предложили метод выбора проходческих комбайнов, который учитывает сразу несколько критериев и неопределенность данных. В основе подхода — сочетание нечеткой логики, анализа Парето и генетического алгоритма.

Нечеткая логика позволяет работать с оценками вроде «низкий», «средний» и «высокий», не сводя их к жестким границам. Метод Парето помогает найти варианты, для которых улучшение одного показателя невозможно без ухудшения другого. Генетический алгоритм

используется для поиска подходящих решений в пространстве возможных сочетаний критериев. Такой подход не подменяет решение инженера одной итоговой цифрой, а показывает набор допустимых компромиссов.

Авторы использовали данные горнодобывающей компании и сравнили комбайны по трем показателям: наработке, остаточному ресурсу и доле оставшегося ресурса. Для обработки данных задали функции принадлежности и правила нечеткого вывода, а затем сформировали Парето-множество — набор вариантов, которые нельзя улучшить одновременно по всем критериям. Дополнительно результаты сравнили с методом взвешенной суммы и методом идеальной точки.

В расчетном примере наилучший результат получил комбайн MV-340: он набрал максимальную степень принадлежности к нечеткому Парето-множеству. Следом в итоговом ранжировании располагалась модель MV670. При этом авторы подчеркивают, что результат зависит от исходных данных, выбранных критериев и настроек функций принадлежности. Поэтому его нельзя автоматически переносить на другое предприятие без повторной настройки и проверки.

Анализ устойчивости показал, что при изменении весов критериев в рассмотренных сценариях коэффициент ранговой корреляции Спирмена находился в диапазоне 0,88–0,96. Лидирующие позиции модели серии MV-340 сохраняли в 85–94% сценариев. Эти данные характеризуют устойчивость именно проведенного расчетного эксперимента, а не гарантируют одинаковый результат для всех горных предприятий.

В работе сделан вывод о том, что сочетание нечеткой логики и Парето-оптимизации может использоваться как инструмент поддержки решений при выборе проходческого оборудования. Метод позволяет учитывать неопределенность, показывать компромиссы между показателями и выбирать один или несколько вариантов для дальнейшего инженерного анализа. Авторы отмечают ограничения исследования: использован небольшой набор данных одной компании, рассмотрены только три критерия, а функции принадлежности и правила нечеткого вывода частично зависят от экспертных настроек. Кроме того, работа оценивает метод выбора оборудования, но не подтверждает конкретный экономический эффект его применения.

Оригинал статьи: “Multi-Criteria Optimization of Production Processes of Mining Companies”, Processes, 2026, Vol. 14, No. 8, Article 1239.