

Интеллектуальные системы вентиляции шахт



В подземных выработках вентиляция должна одновременно поддерживать безопасный состав воздуха и учитывать меняющиеся условия работы. На концентрацию газа и пыли влияют добычные операции, положение вентиляционных устройств и особенности воздушного потока. При ручной настройке или использовании упрощенных моделей система может реагировать на изменения с задержкой.

Исследователи Высшей школы управления кибер-физическими системами СПбПУ доцент *Вячеслав Потехин* и студент *Чэн Хаодун* совместно с коллегами из Горного Университета и АО «Воркутауголь» разработали модель управления регулируемой вентиляционной заслонкой на основе глубокого обучения с подкреплением. Алгоритм Deep Q-Network, или DQN, получает данные о состоянии воздуха и выбирает угол открытия заслонки. В качестве состояния системы использовались концентрации газа, пыли, кислорода и углекислого газа.

Для обучения создали симуляционную среду, которая объединяет расчет воздушного потока, модель вентиляционной системы и нейросетевой блок. Сначала авторы исследовали движение

воздуха в выработке методом вычислительной гидродинамики. Затем по данным натурных измерений и экспериментов построили нейросетевую модель, способную оценивать изменение состава воздуха при разных положениях заслонки. Полученную модель использовали как среду для обучения алгоритма.

В исследовании рассматривалась одна вентиляционная выработка с регулируемой заслонкой. Алгоритм мог выбирать угол ее открытия в диапазоне от 0 до 90 градусов. Система поощряла действия, которые снижали концентрацию газа, пыли и углекислого газа и поддерживали содержание кислорода в заданном диапазоне. Для проверки использовали данные, собранные в обратной вентиляционной выработке угольной шахты в Ордосе, Внутренняя Монголия. Набор включал 3630 наблюдений, полученных с интервалом в одну секунду.

Авторы продемонстрировали, что после обучения DQN выбирал управляющие действия, при которых в рассмотренных тестовых сценариях снижались концентрации газа, пыли и углекислого газа. Например, в пяти проверочных случаях концентрация газа уменьшилась с исходных значений 0,72–0,88% до 0,59–0,73%, а содержание пыли — с 465–587 до 387–486 мг/м³. Эти результаты относятся к симуляционной среде и пяти выбранным начальным состояниям, поэтому их нельзя напрямую трактовать как подтверждение эффективности системы в шахте.

Перед обучением DQN нейросетевая модель вентиляционной среды показала на тестовой выборке RMSE 0,023, MAE 0,015 и $R^2=0,94$. Авторы также сообщают о сходимости накопленной награды в ходе обучения. Однако в статье не приведено сравнение DQN с альтернативными алгоритмами управления по единому набору количественных показателей, поэтому утверждать о превосходстве метода над всеми другими подходами нельзя.

Оригинал статьи: *"Intelligent Mine Ventilation Systems", Symmetry, 2026, Vol. 18, No. 2, Article 311.*