

УДК 681.5.01

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ГОРНЫМИ МАШИНАМИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ,
ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Коржов С. Е., студент гр. АРм-241, 2 курс
Научный руководитель: к.т.н., доцент Курьшкин Н. П.,
Кузбасский государственный технический университет имени
Т. Ф. Горбачева г. Кемерово

Аннотация

В статье рассматривается современное состояние и тенденции развития автоматизированных систем управления горными машинами. Проанализировано современное состояние внедрения автономных комплексов на разрезах и шахтах, определены основные технологические тренды: искусственный интеллект, промышленный интернет вещей, цифровые двойники. Уделено внимание проблемам кибербезопасности, совместимости различного оборудования, а также эффективности перехода к полностью безлюдной выемке полезных ископаемых. Определены перспективны развития, включая адаптивные системы с прогностической аналитикой и распределенное управление горными машинами.

Системы автоматизированного управления грузовыми перевозками уже более десяти лет используются в горных работах. Снижение человеческого фактора в производственном процессе позволяет повысить его безопасность и производительность, а также снизить эксплуатационные затраты.

На сегодняшний день современная горнодобывающая промышленность находится на этапе технологической трансформации, а ее ядром являются не просто механизация, а глубокая автоматизация и интеллектуализация производственных процессов [1].

*Этапы эволюции автоматизированных систем управления горными
машинами.*

Эволюция автоматизированных систем управления горными машинами прошла путь от простейших механизмов контроля до полной автономности на базе искусственного интеллекта. Вот основные этапы этого развития:

1. Этап локальной автоматизации (1950-е — 1970-е гг.).

На этом этапе внедрялись отдельные устройства для облегчения труда оператора такие как релейно-контакторные схемы, простейшие датчики давления и температуры. Применялись автоматическая защита двигателей от пе-

регрузок, стабилизация скорости движения конвейеров. В то же время полное управление машиной осуществлялось человеком «вручную».

2. Этап микропроцессорного управления (1980-е — 1990-е гг.).

Появились программируемые логические контроллеры, первые бортовые компьютеры. Проводился цифровой мониторинг состояния узлов, автоматизация отдельных циклов (например, автоматический напор рукояти экскаватора или горизонтирование бурового станка).

Управление стало более точным и гибким. Машиной по-прежнему управлял оператор, но система корректировала его действия и выдавала диагностику.

3. Этап интегрированных систем и диспетчеризации (2000-е — 2010-е гг.).

Машины объединялись в единую сеть предприятия. Использовались глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС/GPS), беспроводная связь (Wi-Fi, Mesh-сети). Создавались системы высокоточного позиционирования. Проводился удаленный мониторинг парка техники в реальном времени, оптимизировались маршруты карьерных самосвалов. Хотя оператор находился в кабине, его работа координировалась центральной диспетчерской.

4. Этап дистанционного и роботизированного управления (2010-е — н.в.).

Переход к безлюдным технологиям в опасных зонах. Применение видеопередачи с низкой задержкой, системы Lidar, машинного зрения.

Телеуправление (оператор сидит в офисном кресле за сотни километров) и работа по заданным алгоритмам осуществляется без постоянного участия человека.

5. Интеллектуальный этап (настоящее и будущее).

Создание «умного карьера» или «умной шахты». Применение технологий искусственного интеллекта, машинного обучения, сети 5G, цифровых двойников. В этом случае машины сами принимают решения в зависимости от изменения среды (крепость породы, препятствия), общаются между собой (V2V) и прогнозируют поломки до их возникновения. Человек же исполняет роль архитектора систем и аналитика данных [2, 3].

Архитектура автоматизированных систем управления горными машинами.

Автоматизированные системы управления горными машинами строятся по многоуровневому иерархическому принципу, который объединяет датчики на технике, системы передачи данных и диспетчерские центры.

Типовая архитектура включает три основных уровня:

1. Нижний уровень (полевой):

а) датчики и сенсоры для сбора параметров работы (температура двигателя, давление в гидросистеме, уровень топлива, нагрузка на ковш);

б) исполнительные механизмы: приводы, клапаны и гидроцилиндры, выполняющие команды управления;

в) системы позиционирования (ГНСС): высокоточное определение местоположения экскаватора, самосвала или бурового станка в карьере.

2. Средний уровень (локальное управление):

а) бортовые компьютеры и контроллеры (ПЛК): обработка сигналов с датчиков в реальном времени, автоматическое поддержание режимов работы и предотвращение аварийных ситуаций;

б) интерфейс оператора (HMI): дисплеи в кабине, отображающие текущее состояние машины и подсказки для водителя/оператора.

3. Верхний уровень (диспетчеризация и аналитика):

а) серверы баз данных: хранение истории работы всей техники;

б) автоматизированное рабочее место диспетчера: программное обеспечение для оперативного перераспределения маршрутов самосвалов, контроля объемов перемещенной горной массы и учета простоев;

в) системы связи: Wi-Fi, LTE или Mesh-сети для передачи данных между машинами и сервером в условиях сложного рельефа карьера.

Ключевые компоненты автоматизированной системы управления

Автоматизированные системы управления горными машинами состоит из нескольких видов обеспечения, работающих как единое целое:

1. Техническое обеспечение: бортовое оборудование, серверы, сетевые шлюзы и системы спутниковой навигации.

2. Программное обеспечение. Включает в себя специализированные модули (например, «Автоматизированный учет работы», «Оперативный контроль») и SCADA-системы для визуализации.

3. Информационное обеспечение: единые справочники оборудования, регламенты техобслуживания и массивы накопленных данных (BigData) для прогнозной аналитики.

4. Организационное обеспечение: инструкции для персонала и регламенты взаимодействия диспетчеров с машинистами.

Основные функции автоматизированной системы управления

1. Диспетчеризация: автоматическое назначение самосвалов под экскаваторы для минимизации очередей.

2. Контроль состояния: мониторинг износа узлов (предиктивный ремонт) для сокращения внеплановых простоев.

3. Безопасность: системы анти-столкновения, контроль усталости водителя и соблюдение границ опасных зон.

4. Учет ресурсов: точный контроль расхода ГСМ, моточасов и пробегов.

Перспективы развития автоматизированных систем управления

На сегодняшний день наиболее высокий уровень автоматизации достигнут в открытых горных работах. Крупнейшие производители горного оборудования (Caterpillar, Komatsu, Hitachi, БелАЗ) серийно выпускают автономные карьерные самосвалы. Например, система Autonomous Haulage

System (AHS) компании Caterpillar управляет парками из сотен единиц техники, демонстрируя рост производительности на 15–30% по сравнению с традиционным управлением за счет сокращения простоев, оптимизации маршрутов и постоянной скорости движения [3].

В подземных условиях автоматизация сопряжена с большими вызовами: отсутствие стабильного GNSS-сигнала, сложная геометрия выработок, взрывоопасная среда. Однако здесь также наблюдается прогресс. Созданы автоматизированные очистные комплексы, где лавные комбайны работают по цифровой модели пласта (Longwall Automation), а проходческие щиты управляются дистанционно с поверхности с применением технологий телеприсутствия [4].

В ближайшей перспективе ожидается переход к концепции «Интеллектуального рудника (шахты, карьера)», что предполагает:

1. Полную автономию: создание систем, где цепочка «экскаватор — самосвал — дробилка» работает без участия операторов.

2. Глубокую добычу: развитие робототехники для работы на горизонтах свыше 2 км, где присутствие человека невозможно из-за экстремальных условий.

3. Суверенные решения. В России приоритетом станет разработка собственных программных платформ и микроэлектроники для управления техникой.

4. Цифровые двойники: использование виртуальных копий карьеров для моделирования сценариев добычи и обучения нейросетей управления машинами.

Цифровой двойник — это виртуальная копия физического объекта, процесса или системы, которая в реальном времени синхронизируется с оригиналом с помощью данных от датчиков и промышленного интернета вещей.

В отличие от обычной 3D-модели, цифровой двойник постоянно обновляется и позволяет предсказывать, как поведет себя реальный объект в разных ситуациях. Используют двойников для решения критических задач:

а) прогнозирование поломок: система видит износ деталей и заранее сообщает, когда нужно провести ремонт;

б) тестирование без рисков: можно виртуально «сломать» станок или изменить параметры цеха, чтобы найти оптимальный режим работы, не останавливая реальное производство;

в) оптимизация: помогают снизить затраты на энергию, материалы и логистику за счет точных расчетов.

Промышленный интернет вещей — это сеть подключенных к интернету устройств (датчиков, станков, контроллеров), которые собирают и анализируют данные в режиме реального времени для автоматизации производства и оптимизации бизнес-процессов.

Ключевые возможности промышленного интернета вещей:

а) предиктивное (прогнозное) обслуживание: датчики анализируют состояние оборудования и предупреждают о поломках до того, как они произойдут, что минимизирует простои и снижает затраты;

- б) контроль качества: мгновенное выявление дефектов на сборочных линиях;
- в) автоматизация: интеграция устройств в единую систему управления;
- г) энергоэффективность: мониторинг и оптимизация потребления ресурсов (электричества, воды, газа и т.д.) [5].

Проблемы и ограничения

Несмотря на очевидные преимущества, широкомасштабное внедрение интеллектуальных автоматизированных систем управления сталкивается с рядом препятствий:

1. Кибербезопасность. Интеграция автоматизированных систем управления в корпоративные сети и облачные сервисы открывает уязвимости для хакерских атак. Компрометация системы управления конвейером или самосвалом может привести к катастрофическим последствиям. Требуется внедрение специализированных систем защиты промышленных протоколов (IEC 62443).

2. Интероперабельность. На крупных месторождениях часто используется разнородный парк техники (разные производители, разные поколения автоматизированных систем управления). Отсутствие единых стандартов обмена данными (стандартизированные API и форматы телеметрии) затрудняет создание единой системы управления верхнего уровня.

3. Человеческий фактор в управлении. Переход к автоматизации требует трансформации квалификации персонала. Снижается потребность в машинах, но растет спрос на специалистов по анализу данных, робототехников и инженеров по кибербезопасности.

4. Высокий порог входа. Стоимость оснащения одной единицы техники системой автономного управления сопоставима с 20–30% от стоимости самой машины. Окупаемость достигается только при комплексной автоматизации всего парка.

5. Технические ограничения: работа в сложных погодных условиях (туман, метель, гололед), необходимость поддержания инфраструктуры.

Заключение

Автоматизированные системы управления горными машинами эволюционировали от вспомогательных инструментов повышения производительности до основы концепции «Интеллектуального горного предприятия». Современное состояние характеризуется зрелостью технологий автономного транспорта в открытых работах и активным внедрением элементов искусственного интеллекта и цифровых двойников в процессы подземной добычи. Основные тенденции направлены на тотальную интеграцию, обеспечение кибербезопасности и переход к безлюдной выемке. Перспективы развития связаны с применением технологий, позволяющих полностью исключить человека из опасной зоны ведения горных работ, повысив не только экономическую эффективность, но и промышленную безопасность отрасли.

Список литературы:

1. Никитенко С. М., Никитенко М. С., Худоногов Д. Ю. и др. Автономизация управления горным оборудованием: состояние и перспективы // Уголь. – 2024. – № 10. – С. 94-99.
2. Global Mining Equipment Automation Control System Market Research Report 2025-2031. YHResearch, 2025.
3. Cat® MineStar™ Command for Hauling / Cat Command for Underground. Официальный сайт Caterpillar. – URL: <https://www.cat.com/> (дата обращения: 15.03.2026).
4. Автономные карьеры. Обзор разработок зарубежных брендов // Отраслевой портал Союз горных инженеров. – URL: <https://www.mining-portal.ru/> (дата обращения: 15.03.2026).
5. Управляем техникой в карьерах на расстоянии. Обзор отечественных разработок // Отраслевой портал Союз горных инженеров. – URL: <https://www.mining-portal.ru/> (дата обращения: 15.03.2026).