

Онтология роботизации горных работ: особенности и перспективы применения в технологиях подземной добычи угля

Ю.В. Малахов^{1,2} ✉, С.С. Кубрин¹

¹ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация
✉ yv.malakhov@mail.ru

Резюме: В современной горной промышленности происходит внедрение автоматизированных и роботизированных технологических систем в процесс добычи угля, при этом в подземной угледобыче применение роботизированных систем не имеет массового распространения несмотря на значительный уровень автоматизации некоторых технологических процессов. В статье отмечено, что однотипные признаки внедрения автоматизированных и автоматических систем управления, а также роботизированных исполнительных механизмов в горнодобывающую промышленность описываются различными терминами. Цель исследования – установить определенность в понятиях «роботизированный», «роботизация», «робот» применительно к подземной технике в контексте классифицируемых признаков. Для этого проведен анализ понятий в области робототехники, систематизированы классифицирующие признаки роботизированной техники, рассмотрены установленные классифицированные признаки на примере разрабатываемых горных машин и механизмов. Показано, что условия применения горных машин и механизмов в подземных технологиях добычи угля специфичны, так как техника в производственном процессе находится во взаимодействии с геосредой и под влиянием геофакторов в условиях опасной рудничной атмосферы, что требует адаптации терминологии в области робототехники для целей роботизации в горной промышленности. Предложено в области роботизации подземной добычи угля ввести стандартизованные понятия «роботизированный очистной комплекс» и «роботизированный проходческий комплекс».

Ключевые слова: роботизация горных работ, технологии подземной добычи угля, роботизированная горная технология, роботизированный очистной комплекс, роботизированный проходческий комплекс

Для цитирования: Малахов Ю.В., Кубрин С.С. Онтология роботизации горных работ: особенности и перспективы применения в технологиях подземной добычи угля. *Горная промышленность*. 2026;(2):48–54. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-48-54>

Mining robotics ontology: features and prospects of application in underground coal mining technologies

Yu.V. Malakhov^{1,2} ✉, S.S. Kubrin¹

¹ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technological University, Kemerovo, Russian Federation

✉ yv.malakhov@mail.ru

Abstract: Modern mining industry is characterized with introduction of automated and robotic technological systems into the coal mining process, while the use of robotic systems in underground coal mining is not widespread despite the significant level of automation of some technological processes. It is noted that different terms are used in the mining industry to describe the same type of indicators showing introduction of the automated and autonomous control systems, as well as robotic actuators. The purpose of the article is to achieve certainty of the following concepts: “robotic”, “robotization”, and “robot” in relation to underground equipment in terms of the classification features. For this purpose, the article analyzes the concepts in the field of robotics, systematizes the classification features for robotic equipment, and examines the established classification features using the case study of mining machines and mechanisms being developed. It is shown that the application conditions of

mining machines and mechanisms in underground coal mining technologies are specific, since the equipment in the production process interacts with the geological environment and is influenced by geofactors in the hazardous mine atmosphere, which requires adaptation of terminology in the field of robotics for the purposes of robotization in the mining industry. It is proposed to introduce standardized concepts of the “robotic coal face system” and the “robotic tunneling system” in the field of robotic underground coal mining.

Keywords: robotization of mining operations, technologies of underground coal mining, robotic mining technology, robotic coal face system, robotic tunneling system

For citation: Malakhov Yu.V., Kubrin S.S. Mining robotics ontology: features and prospects of application in underground coal mining technologies. *Russian Mining Industry*. 2026;(2):48–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-48-54>

Введение

В комплексе мероприятий действующей программы развития угольной промышленности на период до 2035 года предусмотрены разработка и внедрение инновационных технологий с элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0». В части технологии подземных горных работ среди приоритетных направлений выделены: автоматизация и роботизация проведения горных выработок на основе создания нового класса горнопроходческих машин; разработки комплексов нового поколения на основе автоматизации и роботизации технологического оборудования и машин по подготовке и выемки запасов угля 1.

По данным зарубежных и отечественных источников [1; 2] концепция «Индустрия 4.0» опирается на использование информационных и цифровых технологий промышленных процессов. Одним из важных компонентов «Индустрии 4.0» является технология роботизации производственных процессов, которая применительно к горнодобывающей промышленности должна повышать уровень безопасности труда наряду с ростом его производительности [4].

В современной горной промышленности внедрение автоматизированного и роботизированного технологического оборудования в процесс добычи угля чаще находит применение при открытой разработке угольных пластов. Среди реализуемых разработок беспилотные транспортные [4–6] и погрузочные [6; 7] системы, автоматизированные буровые установки для работы на поверхности [6; 8] и роботизированные анкероустановщики для шахт [9]. Довольно распространенным становится применение беспилотных летательных аппаратов в задачах управления логистикой и отслеживания состояния бортов на разрезах [10; 11]. При подземной угледобыче применение роботизированных систем не имеет массового распространения несмотря на значительный уровень автоматизации некоторых технологических процессов. При этом в ряде источников описано внедрение высокоавтоматизированного управления и роботизированных систем в подземной горной технике, в частности компанией Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH, которая в середине 2010-х годов внедрила на шахте «Полысаевская» полностью автоматизированное управление лавой «Robotic mine» (роботизированная шахта), позволявшее лаве некоторое время двигаться по пласту в полностью автономном режиме [12; 13]. Однако, из-за непрекращающихся сбоев в управлении, частых отказов, мелких поломок, и в целом

неудовлетворительных показателей надежности элементов оборудования, автоматизированное управление без прямого участия машиниста комбайна в полностью автономном режиме выемки угля в промышленной эксплуатации не нашло применение.

В последние несколько лет начал получать широкое распространение термин «Интеллектуальная угольная шахта», который характеризует глубокую интеграцию в технологию угледобычи интернета вещей, облачных вычислений, больших данных, искусственного интеллекта, автоматического управления, технологий мобильного интернета и интеллектуального оборудования с технологиями разработки запасов угля, что обеспечивает комплексное автономное восприятие и эффективное взаимодействие оборудования в режиме реального времени, интеллектуальный анализ и принятие решений, самостоятельное обучение, динамическое прогнозирование и раннее оповещение [14; 15]. В современных зарубежных научных статьях также часто используется термин «Mining 4.0» [16], который по описанию характеризующих его признаков, а именно применение интернета вещей, искусственного интеллекта, машинного обучения, аналитики больших данных, виртуальной и дополненной реальности, цифровых двойников» [16] совпадает с признаками термина «Интеллектуальная угольная шахта».

Исходя из вышеизложенного можно отметить, что несколько различных терминов описывают однотипные признаки внедрения автоматизированных и автоматических систем управления, а также роботизированных исполнительных механизмов в горнодобывающую промышленность. Следует отметить, что модифицирование и использование новых терминов для одних и тех же понятий, режимов работы и оборудования вызвано в основном рекламными целями и содержанием, которое скрывается под ними, часто не соответствует названию. При этом, термины роботизированная лава «Robotic mine» и другие роботизированные комплексы для горной промышленности плохо вписываются в современную терминологию в области робототехники, описанную в ГОСТ Р 60.0.0.4–2023 и стандарте ISO 8373:2021 Robotics – Vocabulary.

Целью статьи является установить определенность в понятиях «роботизированный», «роботизация», «робот» применительно к подземному горно-шахтному оборудованию и горным машинам в контексте классифицируемых признаков.

Материалы и методы

В исследовании использовались системный и сравнительный анализ, библиографический обзор, анализ и

1 Об утверждении Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 13.06.2020 г. №1582-р (ред. от 21.10.2024).

обобщение информации. Данные были получены из результатов опубликованных научных исследований, нормативно-технических источников, включая международные и национальные стандарты, онлайн-источников и доступной литературы, а также собственных экспертных оценок авторов публикации.

Результаты

Слово «робот» впервые было использовано Карлом Чапеком в пьесе «Р.У.Р.» («Росумские универсальные роботы») в 1920 г. и происходит от чешского «robota» (подневольный труд). После публикации этого произведения термин «робот» вошел в оборот и используется в науке, производстве и литературе [17]. Разные толковые словари и энциклопедии дают разные определения термина «робот», но в большинстве случаев это машина, осуществляющая действия, похожие на действия человека, либо предназначенная для замены человека [17].

Современным нормативно-техническим документом Российской Федерации, описывающим понятие «робот» как «Программируемый исполнительный механизм, обладающий определенным уровнем автономности и предназначенный для выполнения перемещения, манипулирования или позиционирования», является национальный стандарт ГОСТ Р 60.0.0.4–2023/ ИСО 8373:2021 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения». Согласно стандартизованному определению к основным характеристикам «робота» отнесены программируемость и автономность. Под «автономностью» в области робототехники согласно ГОСТ Р 60.0.0.4–2023/ ИСО 8373:2021 понимается «Способность выполнять задачи по назначению на основе текущего состояния и восприятия внешней среды без вмешательства человека». При этом в данном же национальном стандарте установлено понятие «промышленный робот» как «Автоматически управляемый, перепрограммируемый, универсальный манипулятор, программируемый по трем или более степеням подвижности, который может быть установлен стационарно либо на мобильной платформе для применения в прикладных задачах автоматизации в промышленной среде», что явно относит его область распространения на машиностроение и станкостроение. Согласно ГОСТ Р 60.0.0.4–2023/ ИСО 8373:2021 совокупность «промышленного робота», рабочего органа (органов) и датчиков обобщается в определении (значении) «промышленный робототехнический комплекс», которое описано понятием используемого только для решения исключительно задач по назначению в области машиностроения.

За рубежом в научных статьях и обзорах несмотря на наличие международного стандарта ISO 8373:2021 Robotics – Vocabulary, являющегося первоисточником российского ГОСТ Р 60.0.0.4–2023, к робототехнике часто относят беспилотные колесные и гусеничные транспортные системы, автоматизированные фронтальные погрузчики и другую беспилотную технику [7; 18], которые по сути не являются автономными, а управляются операторами, что указывает на особенность использования понятия «робот», «роботизированный» в зависимости от назначения технического средства и его отраслевого использования.

Таким образом, на национальном уровне в основе стандартизованного понятия «робот» заложено обязательное наличие исполнительных механизмов, которые должны программироваться и обладать автономностью, выполнять действия в виде манипулирования, того или иного воздействия на объекты, перемещения предметов и т.д., при этом

от области и условия применения зависит постановка задач его использования (в основном обусловленные необходимостью передвигаться или оставаться на месте) в том числе, для решения которых рабочий орган «робота» оснащают датчиками и специализированными устройствами, при этом область применения стандартизованных понятий «робот», «промышленный робот», «промышленный роботизированный комплекс» ориентирована на выполнение задач в большей степени в области машиностроения.

Особенности и перспективы применения роботизированных технологий при подземной добыче угля

Современные тенденции развития подземного способа разработки угольных месторождений определяют переход горных работ на глубины 400 м и более, где основные сложности ведения горных работ связаны с ухудшением горнотехнических и горно-геологических факторов обрабатываемых угольных пластов (высокое горное давление, повышение концентрации газов и их движение, повышенная температура массива горных пород) [19–21], что, в свою очередь, как следствие объективной производственной необходимости, требует внедрения элементов роботизации горных работ.

Роботизация подземных горных работ в таких условиях должна способствовать повышению эффективности выемки угля из углепородного массива и уровня безопасности горного производства при одновременном решении задач по планированию выемки и использованию адаптированного режима управления выемкой в зависимости от внешних геофакторов [22].

Однако в действующих нормативно-технических документах отмечается отсутствие единого подхода к трактованию терминов «робот», «роботизированный» применительно к технике и механизмам, применяемым в горном деле. При этом одной из особенностей использования в условиях подземных горных выработок основных видов технологического оборудования, таких как проходческий комбайн, очистной комбайн, механизированная крепь, лавный конвейер, является постоянное взаимодействие с геосредой массива горных пород. Одновременно для безопасной и эффективной работы этого оборудования необходимо контролировать процессы, происходящие в массиве горных пород под действием внешних сил.

Отметим, что во введенном в 2025 г. национальном стандарте ГОСТ Р 72242–2025 «Цифровая горнодобывающая промышленность. Термины и определения» впервые установлен термин «роботизированные горные технологии», под которым определена «Последовательность действий (на основе методов и средств добычи и переработки полезных ископаемых), выполняющихся автономными устройствами, машинами и механизмами, оснащенными сенсорами, контролирующими техногенную среду, а также вычислительными блоками, вырабатывающими алгоритм действия на основе полученной информации и разработанных математических моделей, и реализующими полученный алгоритм исполнительными механизмами».

С учетом того что в основу современной горной технологии заложено использование машин и механизмов, понятие «роботизированные горные технологии» может стать основой для разработки и введения для основного технологического оборудования подземной угледобычи таких понятий, как «роботизированный очистной комплекс» и «роботизированный проходческий комплекс».

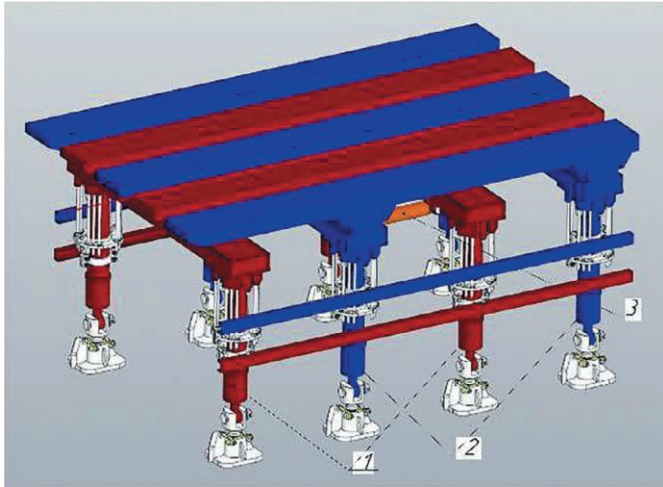


Рис. 1
Механизированная шагающая
крепь: 1 – передовая секция;
2 – отстающая секция;
3 – домкрат передвижки

Fig. 1
Powered walking roof
support:
1 – front section;
2 – back section; 3 – ram

Технические решения

В качестве примера для оценки соответствия создаваемых новых видов машин характеристикам, установленным в понятиях «робот» и «роботизированный» согласно действующим нормативно-техническим документам, рассмотрим образцы горных машин для проходки горных выработок и очистных работ.

Механизированная шагающая крепь (МШК) для проходки горных выработок, обоснованная в работе [23], обеспечивает одновременную поддержку кровли горной выработки и перемещение вслед за проходческим комбайном, производящим выемку горной массы, за счет циклически-шагающего способа передвижки. МШК (рис. 1) состоит из двух секций – передовой 1 и отстающей 2, которые взаимосвязаны между собой домкратом передвижки 3. Одновременное использование МШК и проходческого комбайна позволяет образовать проходческий комплекс, который позволяет повысить эффективность и безопасность проходческих работ.

Разработанная конфигурация системы управления МШК позволяет обеспечить дистанционную и автоматизированную работу МШК и как отдельной единицы, и в составе проходческого комплекса. Развитие научных подходов, обеспечивающих автоматический и программируемый способ управления передвижкой МШК, представлено в исследованиях [24; 25].

Подземная технология разработки пологих угольных пластов мощностью до 7 м длинными очистными забоями в один слой является самой распространенной и эффективной в мире [26]. В основу технологии заложено использование очистного механизированного комплекса, состоящего из кинематически связанных горных машин и механизмов, к основным видам которых относят – очистной комбайн, механизированную крепь и забойный конвейер. Интенсификация горных работ, усложнение условий эксплуатации и необходимость повышения эффективности добычных работ показывают технологическую востребованность перехода от уровня автоматизированного управления к адаптивному уровню управления

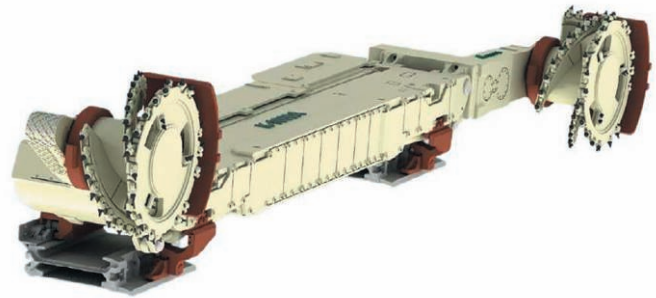


Рис. 2
Очистной комбайн

Fig. 2
Shearer

в зависимости от изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условий добычи. Реализация адаптивного управления предполагает оснащение машин и механизмов очистного комплекса различными датчиками как для контроля состояния оборудования, так и для оценки параметров угольных пластов, вмещающего массива и окружающей среды [27]. Современный очистной комбайн, являясь рабочим органом очистного механизированного комплекса, осуществляет выемку угля из пласта (рис. 2).

Выполнение технологических операций по выемке угля очистным комбайном предусмотрено в автоматизированном режиме в процессе перемещения по забойному конвейеру. Для реализации адаптивно управляемого режима работы очистной комбайн должен оснащаться датчиками положения в лаве, контроля кровли, почвы угольного пласта и параметров техногенного пространства системой управления, вырабатывающей алгоритм действия для исполнительных механизмов (двигателей подачи, устройствами управления узлами резанья, двигателями шнеков) на основе полученной и обработанной информации. При этом очистной комбайн не будет иметь полного уровня автономности, так как кинематически взаимосвязан с механизированной крепью и забойным конвейером, которые, взаимодействуя с геосредой и горной массой, обеспечивают поддержку кровли и транспортировку отбитого угля из лавы.

Обсуждение

Приведем примеры классификации описанных ранее горных машин и механизмов по отношению к системе понятий в области робототехники по ГОСТ Р 60.0.0.4–2023.

МШК. По основным классифицирующим признакам МШК является близким аналогом шагающего робота – мобильным (подвижным) роботом, так как соответствует следующим классифицирующим признакам – программируемый исполнительный механизм, способный перемещаться под собственным управлением, обладающий определенным уровнем автономности (способность выполнять задачи по назначению на основе текущего состояния и восприятия внешней среды без вмешательства человека). МШК перемещается на одном или нескольких механизмах, состоящих из совокупности взаимосвязанных звеньев и механических узлов, соединяющих два твердых тела и обеспечивающих их ограниченное перемещение относительно друг друга (шарниров), оснащенных

приводами для поддержки и перемещения мобильного робота за счет возвратно-поступательного движения и прерывистого контакта с поверхностью перемещения, где опорные гидроцилиндры и гидроцилиндры передвижки можно рассматривать как поступательные шарниры. Данный пример показывает значительное соответствие МШК по основным классифицирующим признакам, описанным в ГОСТ Р 60.0.0.4–2023, шагающему роботу, но только при допущении, что гидравлический цилиндр можно рассматривать как поступательный шарнир. Однако основное назначение МШК в горных работах не самостоятельная, а взаимосвязанная с проходческим комбайном работа, поэтому роботизацию МШК целесообразно рассматривать в составе проходческого роботизированного комплекса.

Очистной комбайн. Несмотря на наличие автоматического программируемого управления с заданным уровнем автономности возможности перемещения и обеспеченность различными датчиками контроля, включая внешние среды, очистной комбайн входит в комплекс горных машин и механизмов, образующих очистной механизированный комплекс, поэтому роботизацию очистного комбайна можно рассматривать только в составе очистного роботизированного комплекса. При этом отдельно взятый очистной комбайн уже обладает характеризующими признаками промышленного робота: наличие нескольких степеней свободы перемещения исполнительного органа-шнека (в данном случае минимум двух), выполнение технологических операций по заранее заданной программе.

Отметим, что понятия, определенные в ГОСТ Р 60.0.0.4–2023, имеют важное значение для стандартизации терминов и определений в области робототехники. При этом область действия данного стандарта согласно общероссийскому классификатору стандартов соответствует коду ОКС 25.040.30 «Промышленные роботы. Манипуляторы», а относится он к предметной области «Машиностроение». Одновременно в современной горной промышленности, научных исследованиях и публикациях такие понятия, как «роботизация», «роботизированные технологии», «роботизированные машины и механизмы», находят все более широкое распространение. При этом на нормативно-техническом уровне в национальных стандартах система понятия в области роботизации горных работ до сих пор не имеет установленных терминов и определений

к ним, что, на взгляд авторов статьи, ведет к неоднозначности понимания и возникновению противоречивости используемой терминологии в горной сфере. Поэтому установление единства технического языка в системе понятий в области роботизации горных работ является объективной необходимостью для обеспечения взаимопонимания, технического развития отрасли и горной науки.

Таким образом, в силу специфичности условий применения и решаемых задач горными машинами и механизмами в подземных технологиях добычи угля, где техника в производственном процессе находится во взаимодействии с геосредой и под влиянием геофакторов, стандартизованную терминологию в области робототехники по ГОСТ Р 60.0.0.4–2023 необходимо адаптировать для целей и области роботизации в горной промышленности.

Заключение

Анализ показал, что в настоящее время в горной отрасли на нормативно-техническом уровне не установлена единая система понятий в области роботизации подземных горных работ, при этом:

- в научных публикациях и научно-технической литературе активно используются понятия, связанные с роботизацией горных работ и в основном в рекламных целях;

- определенная национальным стандартом ГОСТ Р 60.0.0.4–2023 система понятий в области робототехники: «робот», «промышленный робот», «робототехническое устройство», «роботизированный комплекс» и др., относится к предметной области «Машиностроение» и не может использоваться без адаптации в области роботизации горных работ;

- специфика применения горных машин и механизмов в подземных технологиях добычи угля при их классификации в качестве робототехники требует учета условий эксплуатации машин и механизмов, при которых происходит техногенное взаимодействие с геосредой массива горных пород под влиянием геофакторов и опасной рудничной атмосферы.

Для обеспечения взаимопонимания и технического развития подземной угледобычи на первом этапе предлагается ввести стандартизованные понятия «роботизированный очистной комплекс» и «роботизированный проходческий комплекс».

Список литературы / References

1. Liu L., Song W., Liu Y. Leveraging digital capabilities toward a circular economy: Reinforcing sustainable supply chain management with Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*. 2023;178:109113. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109113>
2. Elnadi M., Omar Y. Industry 4.0: critical investigations and synthesis of key findings. *Management Review Quarterly*. 2024;74(2):711–744. <https://doi.org/10.1007/s11301-022-00314-4>
3. Faz-Mendoza A., Gamboa-Rosales N.K., Medina-Rodríguez C.E., Casas-Valadez M.A., Castorena-Robles A., López-Robles J.R. Intelligent processes in the context of Mining 4.0: Trends, research challenges and opportunities. In: *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA), Sakheer, Bahrain, 8–9 November 2020*. IEEE; 2020, pp. 480–484. <https://doi.org/10.1109/DASA51403.2020.9317095>

4. Хазин М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2020;18(1):4–15. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15>
Khazin M.L. Robotic equipment for mining operations. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2020;18(1):4–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15>
5. Chen J. *Global autonomous mining truck population tops thousand mark, to reach 1,800 by 2025 – report*. Available at: <https://www.mining.com/global-autonomous-mining-truck-population-tops-thousand-mark-to-reach-1800-by-2025-report/> (accessed: 21.10.2025).
6. Прокопьева В.М., Каймонов М.В. Обзор роботизированной техники в горном деле. *Интерактивная наука*. 2023;(8):49–53. <https://doi.org/10.21661/r-560707>
Prokop'eva V.M., Kaimonov M.V. An overview of the autonomous operation equipment in mining. *Interactive Science*. 2023;(8):49–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.21661/r-560707>
7. Tampier C., Mascará M., Ruiz-del-Solar J. Autonomous loading system for load-haul-dump (LHD) machines used in underground mining. *Applied Sciences*. 2021;11(18):8718. <https://doi.org/10.3390/app11188718>
8. Kokkinis A., Frantzis T., Skordis K., Nikolakopoulos G., Koustoumpardis P. Review of automated operations in drilling and mining. *Machines*. 2024;12(12):845. <https://doi.org/10.3390/machines12120845>
9. Lei M., Zhang X., Yang W., Wan J., Dong Z., Zhang C., Zhang G. High-precision drilling by anchor-drilling robot based on hybrid visual servo control in coal mine. *Mathematics*. 2024;12(13):2059. <https://doi.org/10.3390/math12132059>
10. Jahani H., Khosravi Y., Kargar B., Ong K.L., Arisian S. Exploring the role of drones and UAVs in logistics and supply chain management: a novel text-based literature review. *International Journal of Production Research*. 2025;63(5):1873–1897. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2373425>
11. Park S., Choi Y. Applications of unmanned aerial vehicles in mining from exploration to reclamation: A review. *Minerals*. 2020;10(8):663. <https://doi.org/10.3390/min10080663>
12. Ройтер М., Крах М., Кисслинг У., Векслер Ю. Роботизация очистного забоя – полностью автоматизированная высокопроизводительная лава с системой управления «Марко» «Robotic mining» (шахта «Полысаевская»). *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2017;4(2):263–269.
Reuter M., Krach M., Kiessling U., Veksler Ju. Face robotics-fully automated highly productive face with the Marco Robotic mining system (Polysaevskaya mine). *Journal of Fundamental and Applied Mining Sciences*. 2017;4(2):263–269. (In Russ.)
13. Клишин В.И., Ройтер М., Кисслинг У., Вессель А.О. Система автоматического управления крепью (саук) как средство адаптации крепи к различным горно-геологическим условиям шахт Кузбасса. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2014;(1):34–40. Режим доступа: <https://journals.kuzstu.ru/article/2265.pdf> (дата обращения: 21.10.2025).
Klishin V.I., Kissling W., Reuter M., Wessel A.O. Automatic control system as means of roof supports adaptation to different mining and geological conditions of Kuzbass mines. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2014;(1):34–40. (In Russ.) Available at: <https://journals.kuzstu.ru/article/2265.pdf> (accessed: 21.10.2025).
14. Wang G., Ren H., Zhao G., Zhang D., Wen Z., Meng L., Gong S. Research and practice of intelligent coal mine technology systems in China. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2022;9(1):24. <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00491-3>
15. Zhang K., Kang L., Chen X., He M., Zhu C., Li D. A review of intelligent unmanned mining current situation and development trend. *Energies*. 2022;15(2):513. <https://doi.org/10.3390/en15020513>
16. Paulo Á.R.P., Herrero J. Mining 4.0. A brief review. *Geominas*. 2022;50(88):33–44.
17. Бегишев И.Р. Цифровая терминология: подходы к определению понятия «робот» и «робототехника». *Информационное общество*. 2021;(2):53–66. https://doi.org/10.52605/16059921_2021_02_53
Begishev I.R. Digital terminology: approaches to the definition of “robot” and “robotics”. *Information Society*. 2021;(2):53–66. (In Russ.) https://doi.org/10.52605/16059921_2021_02_53
18. Komatsu T., Konno Y., Kiribayashi S., Nagatani K., Suzuki T., Ohno K. et al. Autonomous driving of six-wheeled dump truck with a retrofitted robot. In: Ishigami G., Yoshida K. (eds) *Field and Service Robotics*. Singapore: Springer; 2021, pp. 59–72. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9460-1_5
19. Малахов Ю.В., Кубрин С.С. Подход к формированию требований к современному очистному механизированному комплексу. В кн.: Жуков И.А. (ред.) *Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы международной научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург, 28 января 2025 г.* СПб.: НИЦ МС; 2025. С. 21–24.
20. Коваленко В.С., Зырянов И.В. Автоматизация и роботизация горного производства – современный этап перехода к высокопроизводительному и безопасному ведению открытых горных работ. *Горная промышленность*. 2025;(5):124–130. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-124-130>
Kovalenko V.S., Zyryanov I.V. Automation and robotization of mining production: the current stage of transition to high-performance and safe surface mining. *Russian Mining Industry*. 2025;(5):124–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-124-130>

21. Рыльникова М.В. Переход к роботизированным и цифровым геотехнологиям – производственная необходимость и объективная реальность. *Горная промышленность*. 2025;(5S):04–08. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-04-08>
Rylnikova M.V. Transition to autonomous operation and digital mining systems: an operational requirement and objective reality. *Russian Mining Industry*. 2025;(5S):04–08. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-04-08>
22. Малахов Ю.В., Кубрин С.С. О разработке технических требований к функциям роботизированной технологии отработки угольных пластов очистными механизированными комплексами. *Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2025;11:93–96.
Malakhov Yu.V., Kubrin S.S. On the development of technical requirements for functions of robotic technology for mining coal seams with mechanized cleaning complexes. *Naukoemkie Tekhnologii Razrabotki i Ispolzovaniya Mineralnykh Resursov*. 2025;11:93–96. (In Russ.)
23. Малахов Ю.В. *Обоснование параметров многофункциональной механизированной шагающей крепи* [дис. ... канд. тех. наук]. Кемерово; 2022. 170 с.
24. Худоногов Д.Ю., Никитенко М.С., Малахов Ю.В., Кизилев С.А. Разработка web-ориентированных приложений для управления промышленными объектами на примере механизированной шагающей крепи. *Уголь*. 2023;(S12): 111–116.
Khudonogov D.Yu., Nikitenko M.S., Malakhov Yu.V., Kizilov S.A. Development of web-oriented applications for industrial facilities control on the example of walking powered roof support. *Ugol'*. 2023;(S12):111–116. (In Russ.)
25. Худоногов Д.Ю., Кизилев С.А., Никитенко М.С. Обеспечение равномерности распора экспериментального образца механизированной шагающей крепи согласованными тактовыми сигналами управления. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2024;(6):95–102. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-6-95-102>
Khudonogov D.Yu., Kizilov S.A., Nikitenko M.S. Mechanized walking support thrust uniformity maintenance with matched timing control signals. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024;(6):95–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-6-95-102>
26. Peng S.S. *Longwall Mining*. 3rd ed. CRC Press LLC; 2019. 546 p.
27. Кубрин С.С. Проблемы роботизации добычи угля подземным способом. В кн.: *Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. тр. 9-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Прокопьевск, 25–26 апреля 2024 г.* Прокопьевск: филиал КузГТУ в г. Прокопьевске; 2024. С. 64–72.

Информация об авторах

Малахов Юрий Валентинович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; доцент кафедры открытых горных работ, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; председатель технического комитета по стандартизации «Горное дело» (ТК 269); <https://orcid.org/0000-0002-9019-4480>; e-mail: yv.malakhov@mail.ru

Кубрин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-0490-9065>; e-mail: s_kubrin@mail.ru.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.12.2025

Поступила после рецензирования: 09.02.2026

Принята к публикации: 10.02.2026

Information about the authors

Yury V. Malakhov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Associate, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; Associate Professor, Department of Surface Mining Technology, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technological University, Kemerovo, Russian Federation; Chairman of the Technical Committee for Standardization "Mining" (TC 269); <https://orcid.org/0000-0002-9019-4480>; e-mail: yv.malakhov@mail.ru

Sergey S. Kubrin – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Laboratory, Chief Researcher, N.V. Melnikov Institute for Problems of Integrated Subsoil Development of the Russian Academy of Sciences; <https://orcid.org/0000-0002-0490-9065>; e-mail: s_kubrin@mail.ru.

Article info

Received: 18.12.2025

Revised: 09.02.2026

Accepted: 10.02.2026