



ПОДГОТОВКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-180-187>

VR/AR-технологии и подготовка кадров для горной промышленности

М. В. Вавенков

ООО «Эрнст Энд Янг – Оценка и Консультационные услуги», г. Москва, Российская Федерация

vavenkov@gmail.com

Аннотация

Персонал, работающий на горных предприятиях, должен быть готов к преодолению профессиональных трудностей, обладать профессиональными компетенциями, которые связаны не только с реализацией технологических процессов, но и прежде всего с их безопасностью. Современные технологии цифрового моделирования горных производств могут расширить границы практической подготовки не только будущих горных инженеров, но и работающих специалистов. В процессе обучения важно обеспечить высокий уровень симуляции производственной горнотехнической среды воспринимаемой человеком практически в качестве реальной. В этом контексте развитие технологических решений на базе виртуальной и дополненной реальности (VR/AR-технологий) становится наиболее актуальным. Основу фундамента развития VR/AR в горном деле заложила глубокая автоматизация технологических процессов в условиях масштабной цифровой трансформации. Анализ данных показывает, что именно VR/AR-технологии становятся потребителем большинства IT-решений, являясь по сути интегратором, или высшим «IT-переделом», практически ведущим к цифровым параллельным производственным объектам и процессам. Дальнейшее развитие событий в этом направлении может изменить и некоторые существующие традиционные сущности или создать новые, в том числе в системе подготовки кадров. Примером таких сущностей, от которых будет зависеть цифровое будущее, может стать формирующаяся «цифровая культура», которая будет применима не только в корпоративном, отраслевом, но и в национальном аспекте. Несмотря на многообразие направлений развития VR/AR-технологий максимальные эффекты от их внедрения проявляются в формировании специальных навыков персонала в работе с оборудованием, что четко увязывается с необходимостью обеспечения эффективности и надежности технологических операций и процессов. Взаимодействие потребителя и производителя VR/AR-решений вместе с университетами позволяет решить класс задач, связанных с: формированием компетенций у будущего поколения специалистов – выпускников университетов; созданием специализированных курсов в образовательных программах, а также отдельных образовательных программ в высшем образовании, курсов повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов в области VR/AR-технологий в горном деле; вовлечением в процессы разработки практических задач на основе VR/AR-решений представителей академического сообщества – исследователей разной специализации (геология, геофизика, геомеханика, геоинформатика, аэрология, геотехнологии, горные машины и оборудование, автоматизация и т.д.); распространением лучших практик использования VR/AR в интересах будущих заказчиков; созданием единой методики по оценке эффективности внедрения VR/AR-проектов для определения их инвестиционной привлекательности; прогнозированием и созданием будущих технологий.

Ключевые слова

горное дело, горный инженер, горное инженерное образование, IT-технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность, VR/AR-технологии, технологии, технологическая безопасность

Для цитирования

Vavenkov M.V. VR/AR technologies and staff training for mining industry. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):180–187. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-180-187>

PROFESSIONAL PERSONNEL TRAINING

Research article

VR/AR technologies and staff training for mining industry

M. V. Vavenkov

Ernst & Young LLC. – Valuation and Consulting Services, Moscow, Russian Federation

vavenkov@gmail.com

Abstract

Personnel working at mining enterprises must be prepared to overcome professional difficulties and to possess the professional competencies required not only for the implementation of processes, but above all their safety. Modern digital modeling technologies used in mining activities expand the boundaries of practical training not only for future mining engineers, but also for working specialists. As part of the training process, it is



important that the simulation of the mining environment be of a high quality almost indistinguishable from the actual environment. In this context, the development of process solutions based on virtual and augmented reality (VR/AR technologies) is most relevant. Process automation in the conditions of large-scale digital transformation laid the foundations for the development of VR/AR in mining industry. Data analysis shows that VR/AR technologies are the major consumer of IT solutions. They are in fact the integrator, or the highest “IT-transformation”, which in practical terms create digital parallel production objects and processes. Further developments in this area may also change some of the existing traditional entities or create new ones, in the training system as well. An example of such an entity, on which the digital future will depend, is the emerging “digital culture”. As such it will be applicable not only in the corporate, industry, but also nationally. Despite the diversity of areas in the development of VR/AR technologies, the maximum effect of their implementation is manifested in the development of special skills of personnel in equipment operation. This clearly relates to the need to ensure the efficiency and reliability of technological operations and processes. The interaction between the consumer and producer of VR/AR solutions together with universities allows a number of problems related to the formation of competencies in the future generation of specialists to be resolved. These include: training of university graduates; creation of specialized courses in educational programs; individual higher educational programs; professional development and retraining courses for specialists in the field of VR/AR technologies in mining; involvement of the academic community representatives in the development of practical tasks based on VR/AR solutions, including researchers of different specializations (geology, geophysics, geotechnics, geoinformatics, aerology, geotechnology, mining machinery and equipment, automation, etc.). Other key areas include the dissemination of the best practices of VR/AR usage in the interests of future customers; creation of a common method to assess the effectiveness of VR/AR projects to determine their investment attractiveness; as well as prediction and creation of future technologies.

Keywords

mining, mining engineer, mining engineering education, IT technology, virtual reality, augmented reality, VR/AR technology, processes, process safety

For citation

Vavenkov M.V. VR/AR technologies and staff training for mining industry. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):180–187. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-180-187>

Введение

Добыча полезных ископаемых связана с наличием значительных технологических рисков, оценка которых осложняется спецификой технологических процессов, высоким уровнем естественной неопределенности в описании объектов, процессов и их моделей. Значительная часть явлений в горном деле, несмотря на достижения исследователей, характеризуется внезапными проявлениями, точное прогнозирование которых весьма затруднительно [1–3]. На протяжении всей истории развития горнодобывающей отрасли происходили крупные аварии с тяжелыми последствиями, и горные инженеры по разным причинам ощущали себя беспомощными в попытках прогнозирования этих катастроф [2]. Естественно, что наиболее тяжелая в обсуждаемом контексте ситуация складывается в тех видах геотехнологий, которые связаны с подземными горными работами (подземная геотехнология, строительная геотехнология). Это определяется сложными горно-геологическими условиями, значительным числом технологических факторов (опасность по пылевому фактору, метанообильность, системы проветривания и многое другое), также особо тяжелыми условиями труда (отсутствие естественного освещения, загрязнение рудничной атмосферы, значительные физические нагрузки и т.д.). В то же время персонал, работающий на горных предприятиях, должен быть готов к преодолению профессиональных трудностей, обладать профессиональными компетенциями, которые связаны не только с реализацией технологических процессов, но и прежде всего с обеспечением технологической

безопасности [4–6]. Именно поэтому мы наблюдаем практически во всех учебных планах подготовки горных инженеров профильных университетов мира одинаковые или очень близкие дисциплины, которые связаны с безопасностью горных производств [7]. Среди них можно отметить такие, как: вентиляция (аэрология), безопасность ведения горных работ, безопасность ведения взрывных работ, геомеханика, геофизика, метанобезопасность и т.д. [8–10]. Конечно, автономия университетов определяет разные трактовки этих дисциплинарных направлений, но суть от этого не меняется. Все направлено на то, чтобы будущий горный инженер был готов квалифицированно принимать правильные решения в производственных условиях, обеспечивать эффективную реализацию технологических процессов и минимизировать риски травматизма и аварийность в целом [11–13].

Особую роль играют программы практической подготовки, в рамках которых реальные производственные условия становятся не только полигоном для теоретической подготовки будущих горных инженеров, но и адаптируют их в реальные рабочие коллективы, что имеет большое социально-профессиональное значение [14, 15].

Традиционно под практической подготовкой в образовании подразумевается деятельность студента в условиях реальных производств, но в этом случае ее объемы ограничиваются продолжительностью обучения, и при четырехлетнем бакалавриате по горному делу (международная практика), который реализуется во многих странах, временных ресурсов для продолжительной практики не так уж много. В то же время



подготовка именно горных инженеров-практиков имеет исключительно важное значение [16]. В России и ряде других стран образовательные программы по горному делу реализуются на уровне специалитета со сроком обучения 5,5 лет, что создает условия для концентрации достаточно продолжительных практических циклов (2–3 мес) общей продолжительностью за весь срок обучения более 7 мес [17]. Но даже в этих условиях всегда высказывается желание увеличить ее объем, причем это желание обоюдное – и со стороны университетов, и со стороны работодателей. Конечно, необходимы компромиссы, нужна золотая середина между теорией и практикой, но современные технологии цифрового моделирования горных производств могут расширить границы практической подготовки не только будущих горных инженеров, но и работающих специалистов, в тех случаях, когда, например, на предприятии происходит масштабная модернизация, связанная с обновлением оборудования и технологических решений. Речь идет не только о традиционных тренажерах, задачи которых связаны с формированием специализированных профессиональных навыков рабочих профессий на стадии обучения, что также имеет большое значение. Важно обеспечить высокий уровень симуляции производственной горнотехнической среды, воспринимаемой человеком практически в качестве реальной. В этом контексте развитие технологических решений на базе виртуальной и дополненной реальности (VR/AR-технологий) становится наиболее актуальным [18, 19] в части улучшения практической подготовки в рамках образовательных программ, в том числе в университетах.

Направления развития VR/AR в горном деле

Горнодобывающая промышленность стала одной из первых отраслей промышленности, которая в своей деятельности стала использовать VR/AR-технологии, поскольку на всем протяжении своего исторического развития ей приходится бороться с преодолением разнообразных и сложных экономических, операционных, а на сегодняшний момент – экологических и социальных проблем. За последнее 10-летие мировая горнопромышленная отрасль инвестировала в исследования и развитие VR/AR-технологий около 0,5 % своих доходов¹.

Основу фундамента развития VR/AR в горном деле заложили процессы, сопровождающиеся глубокой автоматизацией технологических процессов в условиях масштабной цифровой трансформации [20]. Наблюдается использование значительного многообразия IT-решений на всех этапах производственных циклов горных предприятий (табл. 1).

Анализ данных показывает, что именно VR/AR-технологии становятся потребителем большинства представленных решений, являясь в собственной реализации по сути интегратором, или высшим «IT-переделом», практически ведущим к цифровым параллельным производственным объектам. Дальнейшее развитие событий в этом направлении может изменить и некоторые традиционные сущности или создать новые, в том числе в системе подготовки кадров.

¹ Fade L. How virtual & augmented reality are revolutionizing the mining industry. URL: <https://vrvisiongroup.com/how-virtual-augmented-reality-are-revolutionizing-the-mining-industry/>

Таблица 1

Мировые практики использования IT-решений в горной промышленности

IT-решение	Сфера использования	Примеры применения, отличительные особенности
Горные тренажеры	Симуляционное обучение	Симуляторы помещают обучающихся в контролируемую производственную среду
Подземные телекоммуникации	Беспроводные технологии под землей	Связь между работниками в шахте и с управляющей площадкой на поверхности. Сбор данных о работе оборудования в режиме реального времени позволяет быстро реагировать на сбои и проблемы
Отслеживание персонала	Радиочастотная идентификация метрики шахтеров	Моментальная идентификация местоположения работника для исключения простоев, ошибок, проявлений человеческого фактора
Микросейсмический мониторинг	Мониторинг изменений структурной целостности рабочего участка	Оценка серьезности явлений в массиве горных пород, определение геомеханической безопасности выработок и принятие упреждающих мер до катастрофического события или аварии
Дроны [21]	Позиционирование под землей	Отображение топологии выработок, включая состояние поверхности их стен
Средства защиты	От устройств обнаружения газов до одежды, охлаждающей средства индивидуальной защиты (СИЗ)	Датчики обнаружения газа в режиме реального времени. Охлаждающие жилеты и другие предметы одежды
Данные майнинга	Анализ данных, полученных с помощью инновационного оборудования. Прогнозирование состояния производственных процессов	Улучшение всех производственных процессов, включая логистику
VR/AR-технологии	Ремонт и обслуживание, инспекция (аудит) и контроль работ, обучение и инструктаж сотрудников	Возможность командного обучения, включающего отработку синхронности выполнения операций. Используя VR/AR-технологии, персонал не просто формально изучает и запоминает порядок действий, но и визуальнo практикуется в выполнении действий на каждом этапе работы

Примером таких сущностей, от которых будет зависеть цифровое будущее, может стать формирующаяся цифровая культура, которая будет применима не только в корпоративном, отраслевом, но и в национальном аспекте. Под цифровой культурой эксперты понимают совокупности компетенций, характеризующих способность использования информационно-коммуникационных технологий для комфортной жизни в цифровой среде, для взаимодействия с обществом и решения цифровых задач в профессиональной деятельности.

По исследованиям PwC развитие цифровизации в промышленности потребует от персонала вариативности и гибкости в части профессиональных компетенций. Ускоренная интеграция искусственного интеллекта в сферу промышленного производства, работа в динамических средах данных, рождаемых внедрением IT-решений, потребуют перехода от линейного образования к непрерывному обучению в течение всей жизни² [22].

Практика внедрения VR/AR в горнопромышленном секторе России

Российские горнодобывающие компании используют VR/AR, внедряя эти технологии для разных целей. Достаточно интересные исследования в части оценки уровня внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности провели эксперты CapGemini и TAdviser (российский сектор бизнеса)³.

² Geissbauer R., Lübben E., Schrauf S., et al. How industry leaders build integrated operations ecosystems to deliver end-to-end customer solutions. URL: <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/industry4-0/global-digital-operations-study-digital-champions.pdf>

³ Рынок промышленных VR/AR-решений в России Исследование TAdviser. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Рынок_промышленных_VR/AR-решений_в_России_\(исследование_TAdviser\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Рынок_промышленных_VR/AR-решений_в_России_(исследование_TAdviser))

Выделяются следующие основные направления:

- цифровое методическое обеспечение и тренажеры для монтажно-сборочных процессов для обслуживания высокого уровня сложности (виртуальные тренировочные центры);

- 1) тренажеры для работы в условиях повышенной опасности;
- 2) поддержка действий операционного персонала (удаленный эксперт);
- 3) оценка нагрузки и режимов работы оборудования в реальном масштабе времени;
- 4) оценка адекватности виртуальных моделей реальным физическим характеристикам и параметрам оборудования и процессов;
- 5) создание архивов, в том числе визуальных;
- 6) решение задачи визуализации «цифрового двойника», в том числе с разных и сложноступных позиций и условий;
- 7) виртуальное и визуальное описание опасных производственных зон.

Как видим, компании решают широкий класс задач – технологических, экспертных и образовательных. Многие из этих задач связаны с обеспечением безопасности в условиях опасных технологических производств. Среди компаний можно выделить класс компаний, которые развивают соответствующие компетенции уже через созданные корпоративные центры и (или) комитеты: СИБУР, Северсталь, Газпром нефть, ЕВРАЗ, Магнитогорский металлургический комбинат. В этом же направлении работают Алроса и Сибирская угольная энергетическая компания (СУЭК).

Представим данные с оценкой эффектов от реализации VR/AR-технологий в горнопромышленном комплексе России (рис. 2, 3).

Эти данные свидетельствуют о том, что максимальные эффекты от внедрения VR/AR-технологий проявляются в формировании специальных навыков



Рис. 1. Ожидаемый и реальный эффект от внедрения AR-технологий (по данным исследований TAdviser)



персонала в работе с оборудованием, что четко увязывается с эффективностью и надежностью технологических операций и процессов.

Примеры VR/AR-решений в горнопромышленной и горно-металлургической отраслях представлены в табл. 2.

Среди главных сложностей, с которыми сталкиваются компании при реализации VR/AR- проектов на горнодобывающих предприятиях, следует выделить следующие:

- значительные финансовые затраты на создание необходимой цифровой инфраструктуры для внедрения и адаптации VR/AR-технологий;
- отсутствие масштабируемых решений;
- отсутствие методик расчета эффективности внедрения подобных решений, что вносит неопределенность в параметры инвестиционных проектов;
- ограниченный доступ к передовым технологическим решениям;
- ограниченные компетенции кадрового потенциала (нехватка квалифицированных кадров на всех уровнях)⁴.

⁴ Почему AR для промышленности перспективнее, чем VR? URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/221068050>

Роль VR/AR в подготовке кадров для горной отрасли

В контексте горнодобывающей промышленности основные преимущества AR/VR-технологии состоят в том, что она позволяет проводить обучение в близкой к реальной среде, а также имитировать виртуальные сценарии [23]. Очевидно, что внедрение в образовательные программы технологий виртуальной и дополненной реальности потребует новых методических подходов, учитывающих уровень подготовки специалистов, отдельные их квалификации (монтажник, оператор, диспетчер, горноспасатель и т.д.), количество обучающихся, новую роль преподавателя и т.д. Оценивая применимость отдельных AR- и VR-технологий, разработчики предлагают также смешанные решения MR [24].

Обучение операторов и ремонтных работников сложных комплексов оборудования на комплексных тренажерах и симуляторах включает в себя:

- процесс непрерывного теоретического обучения;
- работу на симуляторах, где отрабатываются практические ситуации на рабочих местах;
- контроль знаний, умений и навыков;

ТЕХНОЛОГИЯ VR

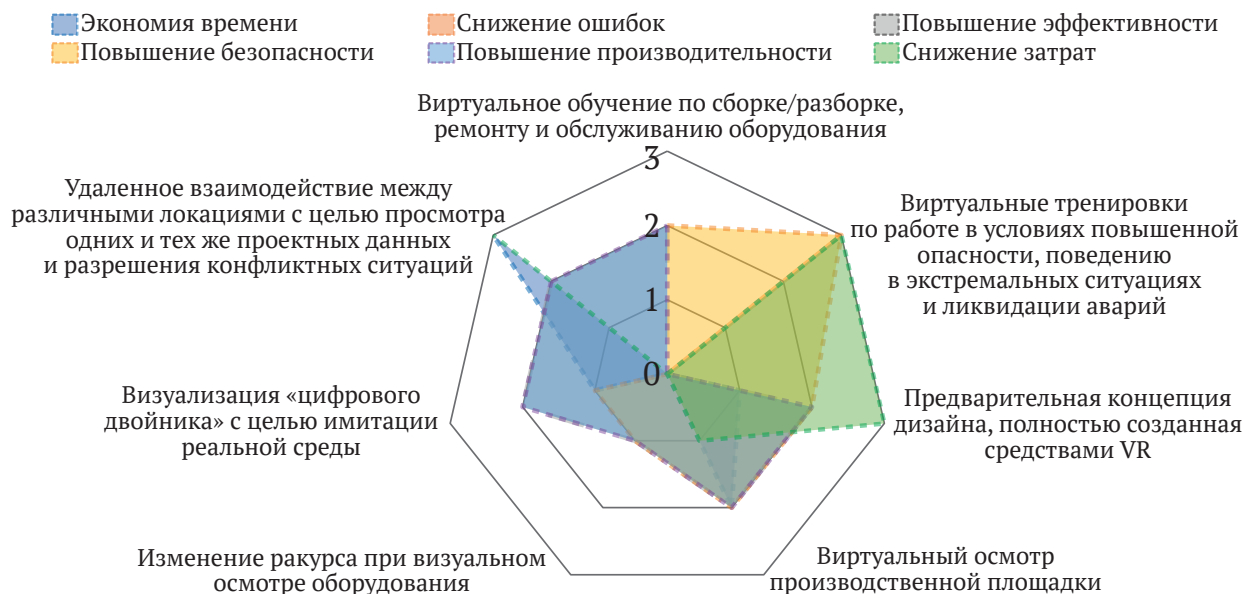


Рис. 2. Ожидаемый и реальный эффект от внедрения VR-технологий (по данным исследований TAdviser)

Таблица 2

Примеры практического использования VR/AR в России

Компания в России	СИБУР	Газпром нефть	Северсталь	ММК	Евраз
Примеры использования	Системы «Удаленный эксперт», «Цифровой помощник», интерактивное обучение, отработка действий при работе с опасными реагентами	Системы «Удаленный эксперт», «Цифровой помощник», интерактивное обучение, отработка действий при работе с опасными реагентами, виртуальное технологическое обслуживание	Интерактивные инструкции по разборке и дефектовке насосного оборудования, отработка техники безопасности и работы во внештатных ситуациях, VR-цех Череповецкого металлургического комбината	Виртуальные тренировки по работе в условиях повышенной опасности. Виртуальные тренировки по поведению в экстремальных ситуациях и ликвидации аварий	Виртуальный осмотр производственной площадки



- работу с инструкциями на базе VR/AR-решений;
- работу над ошибками, закрепление правильных алгоритмов действия.

Совсем по-другому представляются подходы для реализации комплексных VR/AR-решений в основных образовательных программах подготовки специалистов для отрасли (бакалавры, специалисты и магистры). Будущий горный инженер (уровень высшего образования – специалист) должен быть готов не только иметь практику на базе тренажерных систем, но и быть способным генерировать комплексные решения на основе экспертных оценок в технологических циклах или процессах. В этом плане VR/AR-технологии в учебном процессе подготовки горного инженера должны быть четко увязаны с его будущими трудовыми функциями. Мировые практики показывают, что наилучшие решения для формирования и развития компетенций в области VR/AR-среды горнопромышленные холдинги реализуют в партнерстве с университетами.

Роль университетов в качестве основных концентраторов знаний сопряжена с требованиями и ожиданиями промышленных партнеров, предполагающих развитие инновационных образовательных программ и технологий. Университеты не только осуществляют подготовку молодых специалистов, бакалавров и магистров, но и являются трансфером передовых компетенций для действующего персонала предприятий, что позволяет выстраивать университетам и передовым компаниям долгосрочные партнерские отношения. Неоспоримым преимуществом университетов является государственная поддержка, в том числе и финансовая, благодаря которой университеты становятся центрами технологических решений на базе VR/AR-технологий. Современная государственная поддержка университетов в России базируется на принципах софинансирования проектов со стороны бизнеса, что позволяет обеспечивать актуальность проектов для реального сектора экономики. Такой подход позволяет компаниям получить финансовую поддержку в виде целевых субсидий

из федерального бюджета в рамках национальных проектов «Образование» и «Цифровая экономика» (подпроект «Цифровые технологии») на развитие VR/AR-технологий.

Выводы

1. Технологии виртуальной и дополненной реальности способны достаточно качественно описывать сложные условия и процессы горных производств, внося свой вклад в формирование профессиональных компетенций персонала разного уровня и квалификаций. Стоит отметить особую роль VR/AR-технологий в обеспечении безопасности горных производств.

2. В развитии VR/AR-технологий большую роль играют взаимодействие между производителями, потребителями услуг и их сотрудничество с университетами. Такие союзы позволяют решить класс задач, связанных с: формированием компетенций у будущего поколения специалистов – выпускников университетов; созданием специализированных курсов в образовательных программах, а также отдельных образовательных программ высшего образования, курсов повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов в области VR/AR-технологий в горном деле, что должно обеспечить формирование соответствующего кадрового потенциала в целом в отрасли, а не только на корпоративном уровне; вовлечением в процессы разработки практических задач для VR/AR-решений представителей академического сообщества – исследователей разной специализации (геология, геофизика, геомеханика, геоинформатика, аэрология, геотехнологии, горные машины и оборудование, автоматизация и т.д.), что позволяет создать условия для критического анализа и совершенствования конкретных решений; распространением лучших практик использования VR/AR-технологий в интересах будущих заказчиков (развитие рынков); созданием единой методики по оценке эффективности внедрения VR/AR-проектов для определения их инвестиционной привлекательности; прогнозированием и созданием будущих технологий.

Список литературы

1. Ушаков К.З., Каледина Н.О., Кирич Б.Ф. *Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело*. Учебник для вузов. М.: МГГУ; 2002. 487 с.
2. Анализ причин взрывов, вспышек и воспламенений метана в угольных шахтах России в 2005–2019 гг. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(2-1):18–29. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29>
3. Pelipenko M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. Integrated accident risk assessment in mines. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(11):180–192. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-201911-0-180-192>
4. Кречманн Ю., Плиен М., Нгуен Т.Х.Н., Рудаков М.Л. Эффективное наращивание потенциала в горном деле за счет обучения, расширяющего возможности в области управления охраной труда. *Записки Горного института*. 2020;242:248–256. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.2.248>
5. Puchkov L.A., Petrov V.L. The system of higher mining education in Russia. *Eurasian Mining*. 2017;(2):57–60. <https://doi.org/10.17580/em.2017.02.14>
6. Петров В.Л., Крупин Ю.А., Кочетов А.И. Оценка качества профессиональной подготовки специалистов для горно-металлургического комплекса: новые подходы. *Горный журнал*. 2016;(12):94–97. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.12.19>
7. Sui W.H. Safety geology and geological education for mining engineers. *Global View of Engineering Geology and the Environment*. In: *Proceedings of the International Symposium and 9th Asian Regional Conference of IAEG*. Beijing, China, 24–25 September 2013. Pp. 563–567. <https://doi.org/10.1201/b15794-90>



8. Bakum Z., Tkachuk V. Mining engineers training in context of innovative system of Ukraine. *Metallurgical and Mining Industry*. 2014;6(5):29–34. <https://doi.org/10.31812/0564/425>
9. Mischo H., Brune J.F., Weyer J., Henderson N. Mine disaster and mine rescue training courses in modern academic mining engineering programmes. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2014;114(12):987–992.
10. Henderson N.R., Mischo H., Brune J.F. Student mine rescue in today's: Mining engineering curriculum. *Mining Engineering*. 2014;66(2):33–37.
11. Kizil M.S. New developments in the Australian mining education. *Madencilik*. 2017;56(1):33–40.
12. Казанин О.И., Сергеев И.Б. Подготовка современного горного инженера: задачи университетов и профессиональных сообществ. *Горный журнал*. 2017;(10):75–80. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.10.16>
13. Czaja P. World trends in human resource education for mineral engineering and mining. *Inzynieria Mineralna*. 2018;19(1):179–188. <https://doi.org/10.29227/IM-2018-01-29>
14. Верчеба А.А. Подготовка кадров для горно-геологической отрасли России. *Горные науки и технологии*. 2021;6(2):144–153. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-144-153>
15. Лушпей В.П., Макишин В.Н. Подготовка горных инженеров в Дальневосточном федеральном университете. *Горный журнал*. 2015;(3):96–100. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.03.16>
16. Haupt G., Webber-Youngman R. C. W. Engineering education: An integrated problem-solving framework for discipline-specific professional development in mining engineering. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2018;118(1):27–37. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n1a4>
17. Черникова А.А., Полухин О.Н., Петров В.Л. и др. Вклад Горного института НИТУ «МИСиС» в становление и развитие горнопромышленного комплекса Белгородской области. *Горный журнал*. 2014;(8):24–29.
18. Abdelrazeq A., Daling L., Suppes R., Feldmann Y. Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education. In: *Mining Goes Digital – Proceedings of the 39th international symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, APCOM 2019*. 2019. Pp. 17–24. <https://doi.org/10.1201/9780429320774-3>
19. Lindblom A., Laine T.H., Rossi H.S. Investigating Network Performance of a Multi-user Virtual Reality Environment for Mining Education. In: *Proceedings of the 2021 15th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, IMCOM 2021*. 2021. <https://doi.org/10.1109/IMCOM51814.2021.9377356>
20. Clausen E., Sörensen A., Uth F., Mitra R. Assessment of the Effects of Global Digitalization Trends on Sustainability in Mining Part I: Digitalization Processes in the Mining Industry in the Context of Sustainability. Aachen: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; 2020. URL: https://ecominingconcepts.cl/wp-content/uploads/2021/03/digitalization_mining_dustainability_part_I_en.pdf
21. Kim M.L., Pevzner L.D., Temkin I.O. Development of automatic system for unmanned aerial vehicle (UAV) motion control for mine conditions. *Mining Science and Technology (Russian Federation)*. 2021;6(3):203–210. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-203-210>
22. Казанин О.И., Маринин М.А., Блинов А.М. Профессиональная переподготовка в системе кадрового обеспечения горных предприятий. *Безопасность труда в промышленности*. 2021;(7):79–84. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-7-79-84>
23. Daling L.M., Khodaei S., Thurner S., et al. A decision matrix for implementing AR, 360° and VR experiences into mining engineering education. In: Stephanidis C., Antona M., Ntoa S. (eds.) *Communications in Computer and Information Science*. Communications in Computer and Information Science. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2021;1420:225–232. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78642-7_30
24. Abdelrazeq A., Daling L., Suppes R., et al. A virtual reality educational tool in the context of mining engineering – the virtual reality mine. In: *13th International Technology, Education and Development Conference*. Valencia, Spain. 11–13 March, 2019. Pp. 8067–8073. <https://doi.org/10.21125/inted.2019.2002>

References

1. Ushakov K.Z., Kaledina N.O., Kirin B.F. *Safety of mining operations and mine rescue*. Textbook. Moscow: MGGU; 2002. 487 p. (In Russ.)
2. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Kornev A.V., Myakov V.V. Analysis of the causes of methane explosions, flashes and ignitions at coal mines of Russia in 2005–2019. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(2–1):18–29. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29>
3. Pelipenko M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. Integrated accident risk assessment in mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(11):180–192. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-201911-0-180-192>
4. Krechmann Y.U., Plien M., Nguen T.H.N., Rudakov M.L. Effective capacity building by empowerment teaching in the field of occupational safety and health management in mining. *Journal of Mining Institute*. 2020;242:248–256. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.2.248>
5. Puchkov L.A., Petrov V.L. The system of higher mining education in Russia. *Eurasian Mining*. 2017;(2):57–60. <https://doi.org/10.17580/em.2017.02.14>
6. Petrov V.L., Krupin Yu.A., Kochetov A.I. Evaluation of professional education quality in mining and metallurgy: New approaches. *Gornyi Zhurnal*. (In Russ.) 2016;(12):94–97. <https://doi.org/10.17580/gzh.2016.12.19>
7. Sui W.H. Safety geology and geological education for mining engineers. Global View of Engineering Geology and the Environment. In: *Proceedings of the International Symposium and 9th Asian Regional Conference of IAEG*. Beijing, China, 24–25 September 2013. Pp. 563–567. <https://doi.org/10.1201/b15794-90>



8. Bakum Z., Tkachuk V. Mining engineers training in context of innovative system of Ukraine. *Metallurgical and Mining Industry*. 2014;6(5):29–34. <https://doi.org/10.31812/0564/425>
9. Mischo H., Brune J.F., Weyer J., Henderson N. Mine disaster and mine rescue training courses in modern academic mining engineering programmes. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2014;114(12):987–992.
10. Henderson N.R., Mischo H., Brune J.F. Student mine rescue in today's: Mining engineering curriculum. *Mining Engineering*. 2014;66(2):33–37.
11. Kizil M.S. New developments in the Australian mining education. *Madencilik*. 2017;56(1):33–40.
12. Kazanin O.I., Sergeev I.B. Training a modern mining engineer: Objectives of universities and professional communities. *Gornyi Zhurnal*. (In Russ.) 2017;(10):75–80. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.10.16>
13. Czaja P. World trends in human resource education for mineral engineering and mining. *Inzynieria Mineralna*. 2018;19(1):179–188. <https://doi.org/10.29227/IM-2018-01-29>
14. Vercheba A.A. Personnel training for the mining and geological sector of Russia. *Mining Science and Technology (Russian Federation)*. 2021;6(2):144–153. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-144-153>
15. Lushpey V.P., Makishin V.N. Training of mining engineers at the Far East Federal University. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(3):96–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.03.16>
16. Haupt G., Webber-Youngman R.C.W. Engineering education: An integrated problem-solving framework for discipline-specific professional development in mining engineering. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2018;118(1):27–37. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n1a4>
17. Chernikova A.A., Polukhin O.N., Petrov V.L., et al. National university of science and technology MISIS: Contribution to rise and development of mining industry in the Belgorod Region. *Gornyi Zhurnal*. 2014;(8):24–29. (In Russ.)
18. Abdelrazeq A., Daling L., Suppes R., Feldmann Y. Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education. In: *Mining Goes Digital – Proceedings of the 39th international symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, APCOM 2019*. 2019. Pp. 17–24. <https://doi.org/10.1201/9780429320774-3>
19. Lindblom A., Laine T.H., Rossi H.S. Investigating Network Performance of a Multi-user Virtual Reality Environment for Mining Education. In: *Proceedings of the 2021 15th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, IMCOM 2021*. 2021. <https://doi.org/10.1109/IMCOM51814.2021.9377356>
20. Clausen E., Sörensen A., Uth F., Mitra R. *Assessment of the Effects of Global Digitalization Trends on Sustainability in Mining Part I: Digitalization Processes in the Mining Industry in the Context of Sustainability*. Aachen: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; 2020. URL: https://ecominingconcepts.cl/wp-content/uploads/2021/03/digitalization_mining_dustainability_part_I_en.pdf
21. Kim M.L., Pevzner L.D., Temkin I.O. Development of automatic system for unmanned aerial vehicle (UAV) motion control for mine conditions. *Mining Science and Technology (Russian Federation)*. 2021;6(3):203–210. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-203-210>
22. Kazanin O.I., Marinin M.A., Blinov A.M. Professional retraining in the staffing system for the mining enterprises. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*. 2021;(7):79–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2021-7-79-84>
23. Daling L.M., Khodaei S., Thurner S., et al. A decision matrix for implementing AR, 360° and VR experiences into mining engineering education. In: Stephanidis C., Antona M., Ntoa S. (eds.) *Communications in Computer and Information Science*. Communications in Computer and Information Science. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2021;1420:225–232. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78642-7_30
24. Abdelrazeq A., Daling L., Suppes R., et al. A virtual reality educational tool in the context of mining engineering – the virtual reality mine. In: *13th International Technology, Education and Development Conference*. Valencia, Spain. 11–13 March, 2019. Pp. 8067–8073. <https://doi.org/10.21125/inted.2019.2002>

Информация об авторе

Михаил Валерьевич Вавенков – специалист, ООО «Эрнст Энд Янг – Оценка и Консультационные услуги», г. Москва, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-5829-7076](https://orcid.org/0000-0002-5829-7076); e-mail vavenkov@gmail.com

Information about the author

Mikhail V. Vavenkov – Specialist, Ernst & Young – Valuation and Advisory Services LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID [0000-0002-5829-7076](https://orcid.org/0000-0002-5829-7076); e-mail vavenkov@gmail.com

Поступила в редакцию 08.03.2022
Поступила после рецензирования 03.06.2022
Принята к публикации 04.06.2022

Received 08.03.2022
Revised 03.06.2022
Accepted 04.06.2022