

УДК 622.012:338.3

ПРИНЦИПЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПЕРЕХОДНЫЕ ПЕРИОДЫ

Бурмистров Константин Владимирович¹,
k.burmistrov@magtu.ru

Осинцев Никита Анатольевич¹,
osintsev@magtu.ru

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Актуальность исследования. Функционирование горнодобывающих предприятий в современных условиях характеризуется активным воздействием факторов внешней и внутренней среды. В условиях нестабильной внешней среды, при переходе от одного этапа разработки к другому, подсистемы горнодобывающих предприятий должны подчиняться цели обеспечения устойчивого функционирования предприятия – обеспечению выходных потоков с заданными параметрами. В этот период изменяется устойчивость горнотехнической системы, что оказывает влияние на состояние экономической и социальной подсистем горнодобывающих предприятий, а также на состояние окружающей среды, вызванное изменениями в параметрах технологии и технологических процессах. Это требует разработки новых подходов и принципов управления работой горнодобывающих предприятий, основанных на согласовании экономических целей с целями в области экологии и социального развития.

Цель: разработка концепции устойчивого развития горнотехнических систем в переходные периоды разработки месторождений на основе систематизации существующих принципов устойчивого развития в горнодобывающей отрасли.

Объекты: горнодобывающее предприятие, горнотехническая система, система вскрытия карьера.

Методы: обзор научной литературы, структурно функциональный анализ, системный анализ.

Результаты. Обоснована ключевая роль системы вскрытия в структуре горнотехнической системы для обеспечения целей устойчивого развития горнодобывающих предприятий. Выполнена систематизация принципов устойчивого функционирования и развития горнодобывающих предприятий и его систем с выделением четырех групп принципов: общесистемные принципы управления, принципы развития горнодобывающих предприятий, принципы развития горнотехнической системы, принципы развития подсистем горнотехнической системы. В основу предлагаемой системы принципов положена идея последовательного преобразования подсистем горнотехнической системы на всех этапах проектирования и эксплуатации, учитывающая экономические, социальные и экологические аспекты с целью обеспечения заданных параметров функционирования горнодобывающих предприятий. Предложена концепция устойчивого развития горнотехнической системы в переходные периоды разработки. Использование предлагаемого подхода в период перехода от открытых горных работ к открыто-подземному способу разработки позволяет улучшить экономические, экологические и социальные показатели функционирования систем горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова:

Принципы, горнодобывающее предприятие, горнотехническая система, система вскрытия, устойчивое функционирование, устойчивое развитие, переходный период, карьерный транспорт.

Введение

Горнодобывающие предприятия (ГДП) функционируют в условиях постоянно изменяющейся внешней среды. Так, цены на некоторые виды твердых полезных ископаемых за последние 6–8 лет изменились в 2–10 раз, при этом спрос на данный вид ресурсов возрос в 1,5–2 раза [1–3]. Для обеспечения возрастающей потребности в добываемом сырье, при ухудшающихся горнотехнических условиях разработки, возрастает глубина ведения горных работ, изменяется интенсивность разработки месторождений, пересматриваются текущие параметры карьеров. При приближении контуров карьера к границам очередного этапа разработки возникает необходимость принятия решения о целесообразности дальнейшего ведения горных работ на месторождении.

В настоящее время освоение запасов рудных месторождений открытым способом ведется глубокими карьерами с текущей глубиной 250–400 м и более, проектные глубины карьеров достигают 600–800 м и более [4, 5]. Экономическая эффективность разработ-

ки месторождений на таких глубинах, помимо рыночной цены на добываемое сырье, во многом определяется капитальными и эксплуатационными затратами. С увеличением глубины разработки все большую долю затрат составляют затраты на транспортирование горной массы, достигающие 60–70 % от общих затрат на разработку [6–8], также растет доля объемов горных работ на создание схемы вскрытия, достигающих 30–50 % от общего объема вынимаемой горной массы из карьера, и оснащения ее транспортными средствами [9].

Запасы месторождений, разрабатываемых глубокими карьерами, могут отрабатываться в течение нескольких десятилетий. При этом информация об объемах, качестве и условиях залегания данных запасов поступает поэтапно, по мере отработки месторождения и поступления данных эксплуатационной разведки. В соответствии с этим пересматриваются параметры карьеров и изменяется схема вскрытия. Поэтапное создание и развитие схемы вскрытия объединяет понятие «система вскрытия карьера» (рис. 1) [10, 11].

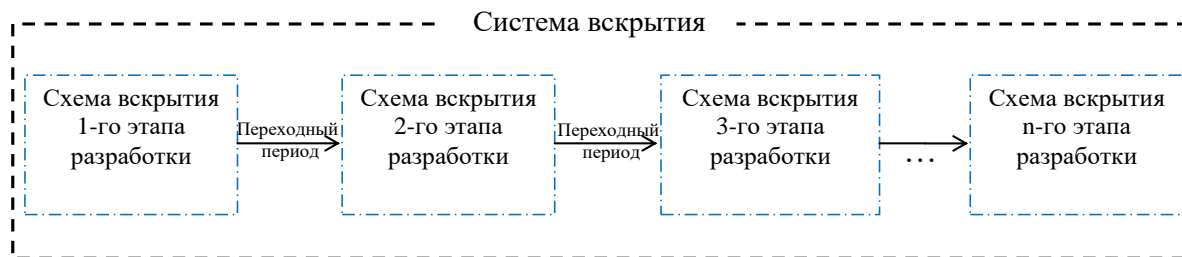


Рис. 1. Система вскрытия при поэтапной разработке глубоких карьеров

Fig. 1. Opening-up system of opencast in the development periods of deep pits

Переход от одной схемы вскрытия к другой происходит в течение определенного промежутка времени, который может составлять более 10 лет [12]. В указанные периоды осуществляется преобразование горнотехнической системы, которое характеризуется изменением параметров и показателей ее функционирования: увеличивается проектная глубина и контуры карьеров, проходятся новые вскрывающие выработки, вводится в эксплуатацию новое оборудование, изменяется производительность по полезному ископаемому и вскрышным породам и т. д. В период перехода от одних параметров и показателей функционирования горнотехнической системы (ГТС) и ее подсистем к другим может снижаться производительность горнодобывающего предприятия, вплоть до временного прекращения добычи, возможна остановка функционирования некоторых технологических комплексов и т. п. Перечисленные факторы снижают устойчивость ГТС и не позволяют функционировать с заданными проектными показателями в течение нового этапа, обеспечивая достижение экономических, экологических и социальных целей горнодобывающего предприятия. Поэтому обеспечение устойчивого функционирования и развития ГТС в переходные периоды является актуальной научно-практической задачей.

Литературный обзор

Теоретические основы функционирования горнотехнических систем в переходные периоды

В настоящее время под ГТС понимается совокупность горных конструкций и технологических подсистем во взаимодействии с вмещающими их участками недр [13]. Существующие подходы и направления научных исследований по-разному рассматривают структуру ГТС и, соответственно, выделяют в ней определенные подсистемы и элементы. В исследования [14] ГТС рассматривается как совокупность технической, технологической и организационной систем. По мнению автора, это позволяет определять рациональную структуру резервов в горнотехнической системе. Подход, предложенный в [15], рассматривает ГТС тождественно понятию «горнодобывающее предприятие» (шахта) и определяет её как совокупность методов отработки угольного пласта в конкретных горно-геологических условиях, при определенной композиции и взаимосвязи элементов процесса угледобычи (основных подсистем). Такое рассмот-

рение позволяет оптимизировать параметры подсистем и минимизировать затраты ресурсов. В работе [16] ГТС рассматривается применительно к комбинированной геотехнологии и разделяется по количеству формируемых ярусов (открытый, открыто-подземный, подземный). Такой подход позволяет учитывать особенности технологии производства горных работ в каждом ярусе и, что особенно важно, сочетаемость данных работ и процессов в рамках освоения одного месторождения. При рассмотрении ГТС как системы, в составе которой наиболее ресурсоемкими элементами являются вскрытие и транспортирование горной массы, в ее структуре можно выделить следующие подсистемы (системы): система вскрытия [10, 11, 17], система разработки [10, 11], транспортная система [18], горнотранспортная система [19], логистическая система (управление грузопотоками) [20] (рис. 2). Понятие «система вскрытия» было дано академиком В.В. Ржевским [11] и получило развитие в трудах академика К.Н. Трубецкого [10, 17]. В предлагаемых им формулировках оно тождественно определению «генеральная схема вскрытия», смысл которого продемонстрирован на рис. 1. Однако, как показывает анализ [21], понятие «система вскрытия» редко используется в практике проектирования и выполнения научных исследований, так как вопросы вскрытия и карьерного транспорта рассматриваются в составе разных систем. Например, выбор и обоснование вскрытия производится в рамках понятия «схема вскрытия», предложенного академиком В.В. Ржевским, вопросы карьерного транспорта рассматриваются в составе транспортной системы, предложенной членом-корреспондентом РАН В.Л. Яковлевым, связь карьерного транспорта с системой разработки в составе горнотранспортной системы предложено профессором А.Ю. Дриженко.

Схема вскрытия в карьере формируется под определенные транспортные средства, которые могут отличаться на различных этапах разработки месторождения [20]. При этом в классификационных признаках системы разработки виды и параметры карьерного транспорта не учитываются.

Авторами настоящей статьи предлагается объединить карьерный транспорт, транспортные коммуникации и конструкции, а также вскрывающие выработки в составе системы вскрытия. Это позволит комплексно решать задачи оптимизации транспорта и схемы вскрытия в составе наиболее затратных подси-

стем ГТС [21–23]. От своевременности и правильности принятия решений по оптимизации системы вскрытия будут зависеть технико-экономические по-

казатели последующих этапов разработки месторождения, продолжительность периода перехода от одного этапа разработки к другому.

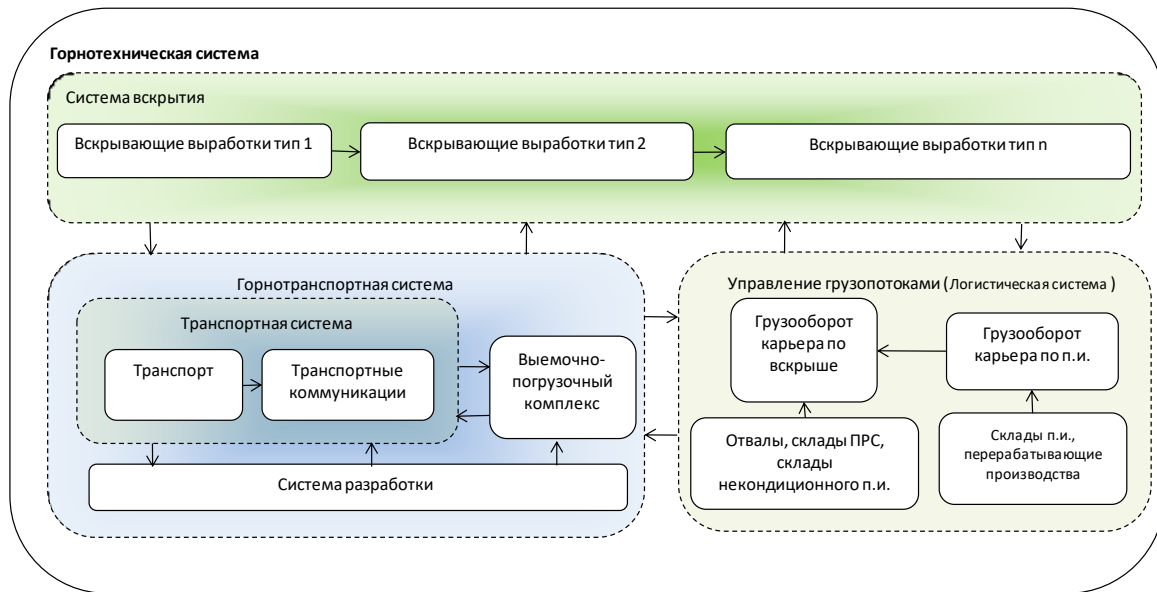


Рис. 2. Схема структуры горнотехнической системы: ПРС – почвенно-растительный слой; п.и. – полезное ископаемое
Fig. 2. Scheme of the mining and technical systems structure: ПРС – top soil; n.u. – mineral products

В различного рода системах переходный период – это переход системы из одного состояния в другое [24, 25]. Чтобы понимать характер и уровень произошедших в системе изменений необходимо задаваться условием, что до переходного периода система находилась в одном устойчивом состоянии, а после переходного периода она перешла в новое устойчивое состояние.

Применительно к геотехнологии чл.-корр. РАН В.Л. Яковлев в работе [26] дает определение переходного периода, под которым понимается время перехода предприятия с одного порядка и способа отработки месторождения на другой (время осуществления переходного процесса). Под порядком отработки месторождения понимается стабильная во времени последовательность освоения минерального объекта по определенной технологии и с использованием определенного комплекса горнотранспортного оборудования, т. е. это устойчиво функционирующая ГТС с заданными параметрами и показателями. При этом чаще всего переходный период применяется для условий перехода от открытого к подземному способу разработки [27, 28]. В то же время преобразования ГТС, связанные с переходом с одного этапа разработки открытым способом на другой, также существенно влияют на устойчивость систем и поэтому должны выделяться в переходный период.

В условиях нестабильной внешней среды, при переходе от одного этапа разработки к другому, подсистемы ГДП должны подчиняться цели обеспечения устойчивого функционирования предприятия – обеспечению выходных потоков с заданными параметрами. В этот период изменяется устойчивость ГТС, что

оказывает влияние на состояние экономической, социальной подсистем ГДП (рост издержек, возможная социальная напряженность на предприятии), а также на состояние окружающей среды, вызванное изменениями в параметрах технологии и технологических процессах (увеличиваются выбросы вредных веществ из-за применения более дешевых, но менее качественных материалов и оборудования, формируются участки отвалов, выгодные с экономической точки зрения в связи с сокращением расстояния транспортирования, но ухудшающие экологическую обстановку на карьере и прилегающей территории и т. п.). Это требует разработки новых подходов и принципов управления работой ГДП и его подсистем, основанных на согласовании экономических целей с целями в области экологии и социального развития.

Основными внешними факторами, являющимися причинами возникновения переходных периодов, являются: текущий спрос на продукцию горнодобывающего предприятия и перспектива спроса; текущая цена на добываемое сырье и прогнозируемое изменение цен. К внутренним факторам относят [21]: обеспеченность сырьевыми ресурсами, в том числе уточнение запасов полезного ископаемого по результатам эксплуатационной разведки; технический прогресс, позволяющий применять новые виды и типы горнотранспортного оборудования; возможность вовлечения в отработку новых участков месторождения. Оценка перечисленных факторов в управлении ГДП позволяет разработать стратегию функционирования предприятия в переходный период, обеспечить устойчивое функционирование и устойчивое развитие на следующих этапах разработки месторождений.

Устойчивость горнотехнической системы в переходные периоды

Переходные процессы, происходящие в ГТС, приводят к изменению параметров и показателей ее функционирования, а также функционирования ее подсистем. Изменение системы вскрытия меняет технологические (расстояние транспортирования, объемы вскрышных работ и т. д.), экономические (капитальные и эксплуатационные затраты) показатели, влияет на состояние окружающей среды (выбросы вредных веществ, размещение вскрышных пород и т. д.). Поскольку данные параметры и показатели задаются проектами и должны соответствовать регламентам и нормам, недопустимо чтобы внешние и внутренние изменения, происходящие в ГТС, приводили к отклонению от заданных параметров и показателей и тем самым снижали устойчивость ГТС.

В литературе понятие «устойчивость» встречается применительно к различным системам – техническим, экономическим, социальным, инновационным, экологическим и др. Применительно к техническим системам различные авторы понятие «устойчивость» рассматривают как: способность системы сохранять текущее состояние при наличии внешних воздействий [29], способность системы, возвращаться в исходное состояние после внешних воздействий и продолжать работу без изменения функциональных характеристик [30]. В работе [31] устойчивость горного объекта рассматривают как способность функционировать с заданными параметрами в определённых условиях в течение требуемого отрезка времени. Авторами [32–39] выполнен обзорный анализ принципов и механизмов устойчивого развития горно-металлургических холдингов, транспортных и логистических систем. В [32] отмечается, что множество трактовок устойчивого развития связано с попытками исследователей обобщить понимание устойчивости как способности системы к адаптации в условиях внешних и внутренних воздействий на систему и применить ко всем возможным вариантам развития частные случаи определения, основываясь на конкретных моделях и примерах. В исследованиях [40] авторы выделяют два подхода к понятию устойчивости деятельности промышленного предприятия – устойчивое развитие и устойчивое функционирование. Понятие «устойчивое развитие» является более распространенным, в настоящее время насчитываются десятки различных определений применительно к различным системам. Некоторые исследователи [40] объединяют данные понятия, говоря об устойчивом функционировании и развитии предприятий.

Большинство существующих формулировок понятия «устойчивое развитие» соответствует определению, изложенному в Концепции устойчивого развития в Программе «Повестка дня на XXI столетие» [41], и предполагает функционирование экономической системы на благо социума без нарушения окружающей экологической среды, в результате чего существующие в мире ресурсы должны быть сохранены для будущих поколений. Применительно к ГДП это

означает проектирование и планирование горных работ на месторождении для достижения разумного баланса между экономическим, социальным, экологическим развитием предприятия и потребностями потребителей сырья. В соответствии с Программой [41], различные государства мира [42], регионы [43, 44] и предприятия начали активно разрабатывать стратегии по приведению своей экономической деятельности к принципам устойчивого развития. Многие крупные горнодобывающие компании и холдинги, например Русская медная компания, Норильский никель и другие, разрабатывают собственные программы устойчивого развития.

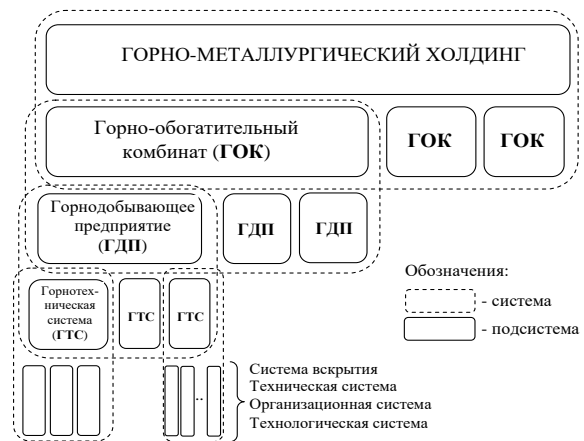


Рис. 3. Схема иерархической структуры крупных горнодобывающих компаний

Fig. 3. Scheme of the hierarchical structure of large mining companies

На уровне компаний концепция устойчивого развития рассматривается как «Концепция тройного критерия» (Triple Bottom Line), согласно которой в корпоративном процессе принятия решений учитываются не только финансовые показатели, но также социальные и экологические результаты деятельности компании [45]. В зарубежных исследованиях активно развиваются подходы, основанные на использовании понятий «зелёная» добыча (green mining) [46–48] и геометаллургия (geometallurgy) [49, 50], доказано, что их реализация в значительной степени будет определять развитие горнодобывающей промышленности в будущем. В соответствии с данными теориями горнодобывающим компаниям необходимо ориентироваться не на получение прибыли в краткосрочной перспективе, а на успех в бизнесе и экологическое выживание в долгосрочном периоде, что требует изменения финансовых показателей и расходов в краткосрочной перспективе. Такой подход должен быть ориентирован для всех уровней управления предприятий, входящих в структуру минерально-сырьевого комплекса страны (рис. 3).

Выполненный авторами анализ показал, что в настоящее время в современной научной литературе отсутствуют чётко сформулированные принципы устойчивого развития для горнодобывающей отрасли, реализация которых позволила достигать целей

устойчивого развития, установленных в [51]. Выявленные в результате анализа существующие принципы проектирования и развития систем в горнодобывающей отрасли предлагается поделить на следующие группы:

- общесистемные принципы, которые характерны для систем всех уровней от горно-металлургического холдинга до подсистем ГТС [52] (рис. 3);
- принципы, направленные на развитие ГДП, – принципы развития [53, 54], принципы управления качеством [55], принципы устойчивого развития геотехнологий [53, 56], методические принципы планирования работ [57–60], принципы экологического контроля рисков территорий [61], принципы функционирования и развития структурных подразделений [53], принципы проектирования [14, 56, 62–64], принципы проектирования развития предприятия [65], принцип повторного использования пространства и техногенного сырья [66–68], принципы системного потока [69], принципы геометаллургии [49–51], принципы экономической, экологической и социально-культурной устойчивости [52, 70–79];
- принципы, направленные на развитие ГТС, – группа принципов, направленная на развитие ка-

рьера или шахты как самостоятельной единицы – принципы комплексного освоения [80], принципы полного цикла освоения месторождения [63], принципы организации ГТС [15, 81]; принципы проектирования ГТС [82], принципы обеспечения устойчивости объектов [66, 83–85], принцип управления [86, 87];

- принципы, направленные на развитие подсистем ГТС, в частности системы вскрытия, т. е. это группа принципов, ориентированная на развитие отдельных систем, составляющих ГТС, – принципы формирования технологических схем [88, 89], принципы формирования грузопотоков [11, 18], принцип формирования схемы вскрытия [10], принципы эксплуатации транспорта [8, 90, 91], принцип замещения дизельных видов электрическим [92].

Выполненный анализ существующих принципов показал, что в настоящее время отсутствует универсальная система принципов устойчивого развития ГТС и ее подсистем, а большинство известных принципов направлены на системы более высокого уровня: горнодобывающее предприятие и выше – 49 %, горнотехническая система – 38 % и подсистемы ГТС – 13 % (табл. 1).

Таблица 1. Распределение числа принципов развития систем в горной отрасли

Table 1. Distribution of the principles for development of systems in the mining industry

Основные принципы обеспечения устойчивого развития ГДП Basic principles of sustainable development for the MO	Принципы проектирования и развития Design and development principles		
	Система вскрытия Opening-up of an opencast system	Горнотехническая система Mining and technical systems	Горнодобывающее предприятие Mining operations
Технические/Technical	2	8	2
Технологические/Technological	6	13	13
Организационные/Organizational	5	10	15
Экономические/Economic	1	4	11
Экологические/Ecological	1	6	10
Социальные/Social	1	3	7

В процессе группировки было установлено, что наблюдается дисбаланс принципов в сторону достижения организационных и технологических целей на уровне ГТС и ГДП в целом. Отсутствие «социальных» и недостаточное количество «экологических» принципов на уровне системы вскрытия не позволяет обеспечить экологическую и социальную устойчивость данной системы и, как следствие, снижает общую устойчивость ГТС и ГДП.

Таким образом, анализ функционирования ГТС в переходные периоды позволяет сделать следующие выводы: отсутствует комплексный подход к реализации принципов устойчивого развития в горнодобывающей отрасли. Существующие принципы проектирования и развития систем ориентированы в первую очередь на управление горнодобывающим предприятием и слабо учитывают особенности проектирования

и функционирования ГТС и ее подсистем. Такой подход не позволяет устойчиво развиваться ГТС и ГДП в целом.

Система принципов устойчивого развития горнотехнических систем в переходные периоды

Структура и функции горнотехнической системы

В понимании авторов настоящей статьи, горнотехническая система рассматривается как совокупность технической, технологической организационной, экономической, социальной, экологической подсистем, а также системы вскрытия, обеспечивающих ее устойчивое функционирование и развитие на всех этапах разработки месторождения.

Одной из основных задач, объединяющих все подсистемы, является эффективная работа с информаци-

онными (анализ конъюнктуры сырьевых рынков), финансовыми (стоимость ресурсов и т. п.) и материально-техническими потоками (оборудование, материалы и т. п.), поступающими из внешней среды на ГДП, а также потоками, поступающими из ГДП во внешнюю среду (товарная продукция в заданном объёме и требуемого качества, различного рода отчисления, техногенные объекты и выбросы в окружающую среду и т. п.). Основной системой в структуре ГТС, объединяющей техническую, технологическую и организационную подсистемы, является система вскрытия. Данные подсистемы являются внутренними для ГТС. Экологическая, экономическая и социальная

системы рассматриваются и как внешние и как внутренние для ГТС, внутри ГТС они выполняют определенные функции, присущие ГТС, а вне – функции, характерные для среды функционирования горнодобывающего предприятия (рис. 4). Основной функцией внутренних подсистем является обеспечение устойчивости функционирования ГТС, а взаимодействие внутренних и внешних подсистем направлено на обеспечение устойчивого развития ГТС.

Основные параметры, используемые для оценки устойчивости функционирования и развития ГТС в соответствии с экономическими, экологическими и социальными целями, представлены в табл. 2.

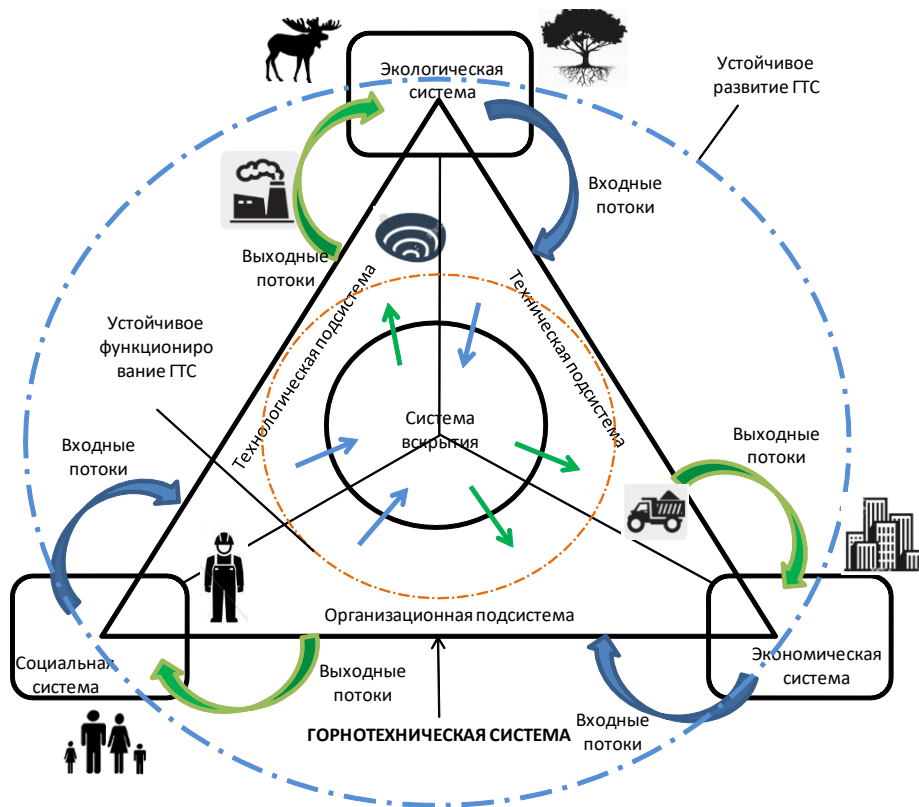


Рис. 4. Схема устойчивого функционирования и развития ГТС

Fig. 4. Scheme of sustainable functioning and development of MTS

Таблица 2. Основные параметры среды функционирования ГТС

Table 2. Main parameters of the MTS functioning

Системы среды функционирования ГТС Systems of MTS functioning	Параметры среды функционирования ГТС Parameters of the MTS functioning	
	Внутренние Internal	Внешние External
Экономическая Economic	Доходы горнодобывающего предприятия Mining revenues	Доходы бюджетов различных уровней Budgets revenues of various levels
Экологическая Ecological	Объемы выбросов вредных веществ как фактор загрязнения атмосферы карьера, препятствующий нормальному функционированию ГТС Emissions of harmful substances as a factor of open pit atmosphere pollution impeding the MTS normal functioning	Объемы выбросов вредных веществ, нарушение территорий как фактор, препятствующий нормальному проживанию и развитию населенных пунктов, регионов Emissions of harmful substances, violation of the territories as a factor impeding the normal residence and development of human settlements, the regions
Социальная Social	Условия работы персонала предприятия Working conditions of the enterprise staff	Условия проживания жителей близ лежащих населенных пунктов Living conditions of residents near the settlements

Предлагаемый подход предусматривает декомпозицию ГТС как совокупности более мелких подсистем, взаимодействующих друг с другом, при этом функционирование каждой подсистемы должно подчиняться целям устойчивого функционирования и развития и основываться на структурированных принципах, как определяющих правилах для каждой системы.

Принципы устойчивого функционирования и развития горнотехнической системы

Авторами настоящей работы предлагается разделять понятия «устойчивое развитие» и «устойчивое функционирование» ГТС с целью обеспечения целей и задач устойчивого развития на всех уровнях управления как внутри ГТС, так и в её взаимодействии с внешней средой.

Под устойчивым функционированием ГТС понимается стабильное во времени функционирование системы с установленными технологическими (производительностью по руде и вскрышным породам) и экономическими проектными показателями после прохождения переходных периодов. Устойчивое функционирование обеспечивается путем оптимизации параметров системы вскрытия, технической, технологической и организационной подсистем ГТС. Устойчивое развитие ГТС расширяет понятие «устойчивое функционирование» и рассматривает

работу ГДП и его систем не только с позиции достижения экономических целей, но с учетом изменений в социальной и экологических системах ГДП в процессе переходного периода, в последующие этапы работы ГДП и на период после завершения добычи полезных ископаемых.

Горнодобывающие предприятия, функционируя в пределах запроектированного этапа разработки, обеспечивают добычу полезного ископаемого в установленных объемах. Рост глубины ведения горных работ приводит к увеличению затрат на разработку, главным образом в системе вскрытия. Поэтому принятие решения о переходе на новый этап разработки может происходить в период снижения общей эффективности разработки месторождения. Как рассматривалось в [21], чем раньше принимается решение о начале переходного периода, тем больше возможных вариантов развития системы вскрытия и горнотехнической системы в целом может быть рассмотрено для обеспечения устойчивого функционирования и развития предприятия. При приближении к окончанию очередного этапа дополнительные затраты и другие осложняющие факторы, которые возникают в переходный период, могут привести к неустойчивому функционированию ГТС, вплоть до остановки функционирования ГДП (рис. 5).

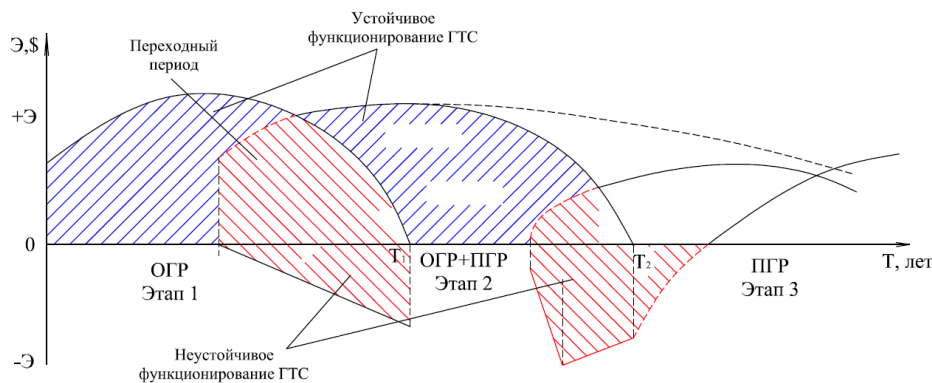


Рис. 5. Этапы горных работ и переходные периоды при разработке месторождений: T – продолжительность разработки месторождения; T_1 и T_2 – сроки окончания отработки первого и второго этапов разработки; \mathcal{E} – условная экономическая эффективность предприятия; ОГР – открытые горные работы; ПГР – подземные горные работы

Fig. 5. Stages of mining and transitional periods in development of deposits: T – duration of mining in deposits; T_1 and T_2 – deadlines for the first and second stages of development; \mathcal{E} – economic efficiency of the MO; ОГР – open pit mining; ПГР – underground mining

Обеспечению устойчивого функционирования и развития ГДП должна предшествовать реализация соответствующих принципов устойчивого функционирования и развития ГТС, достижению устойчивого функционирования и развития ГТС предшествует реализация принципов устойчивого развития подсистем ГТС (системы вскрытия и других подсистем) (рис. 6). При этом достижение целей устойчивого развития ГДП осуществляется приведением в соответствие целей всех подсистем нижестоящих уровней управления целями и задачами вышестоящих уровней.

С учетом предложенного подхода существующие принципы были систематизированы по признаку обеспечения устойчивости: общесистемные принципы, принципы обеспечения экономической, экологической и социальной устойчивости (рис. 7).

Использование предлагаемой системы принципов в практической деятельности ГДП позволит эффективно функционировать и устойчиво развиваться ГДП, обеспечить соответствие всех систем и подсистем ГДП целям концепции устойчивого развития и, как следствие, обеспечить достижения экономических, экологических и социальных целей функционирования ГДП.

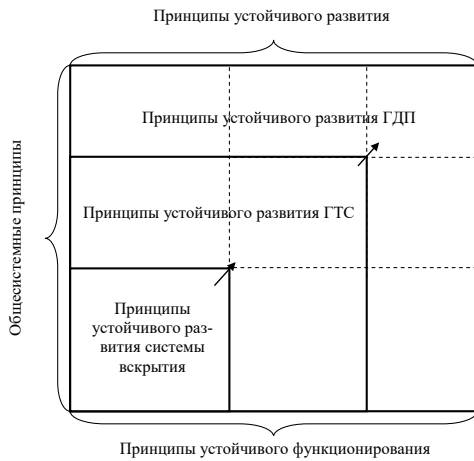


Рис. 6. Схема концепции проектирования и реализации принципов устойчивого функционирования и развития ГТС: ГТС – горнотехническая система; ГДП – горнодобывающее предприятие

Fig. 6. Design and implementation scheme of the concept of the sustainable functioning and development principles of MTS: GTS – mining and technical system; GDP – mining operations

Результаты

Сложность обеспечения устойчивости функционирования и развития горнотехнических систем возрастает с ростом глубины ведения горных работ.

Наиболее сложными являются переходные периоды на заключительные этапы открытой разработки карьеров, когда текущие глубины ведения открытых горных работ могут превышать 500 м, а конечные – приближаются к 1000 м, а также периоды перехода от открытых горных работ к открыто-подземным или подземным. Достижению целей устойчивого функционирования препятствует усложнение горнотехнических условий разработки, не позволяющих обеспечить проектные показатели добычи руды, а целей устойчивого развития – возрастающие объемы выбросов загрязняющих веществ, увеличение объема размещения вскрышных пород при разносе бортов карьера, ухудшение условий работы персонала, рост эксплуатационных затрат на разработку, необходимость крупных инвестиций, особенно при строительстве подземного рудника, сложность обеспечения безопасности горных работ. В таких условиях особую актуальность приобретает разработка технологических решений на уровне подсистем ГТС, направленных на достижение целей устойчивого функционирования и развития горнотехнической системы и горнодобывающего предприятия в целом.

Рассмотрим в качестве примера реализации предлагаемого в работе подхода технологическое решение по изменению системы вскрытия в период перехода от открытого к открыто-подземному способу разработки.

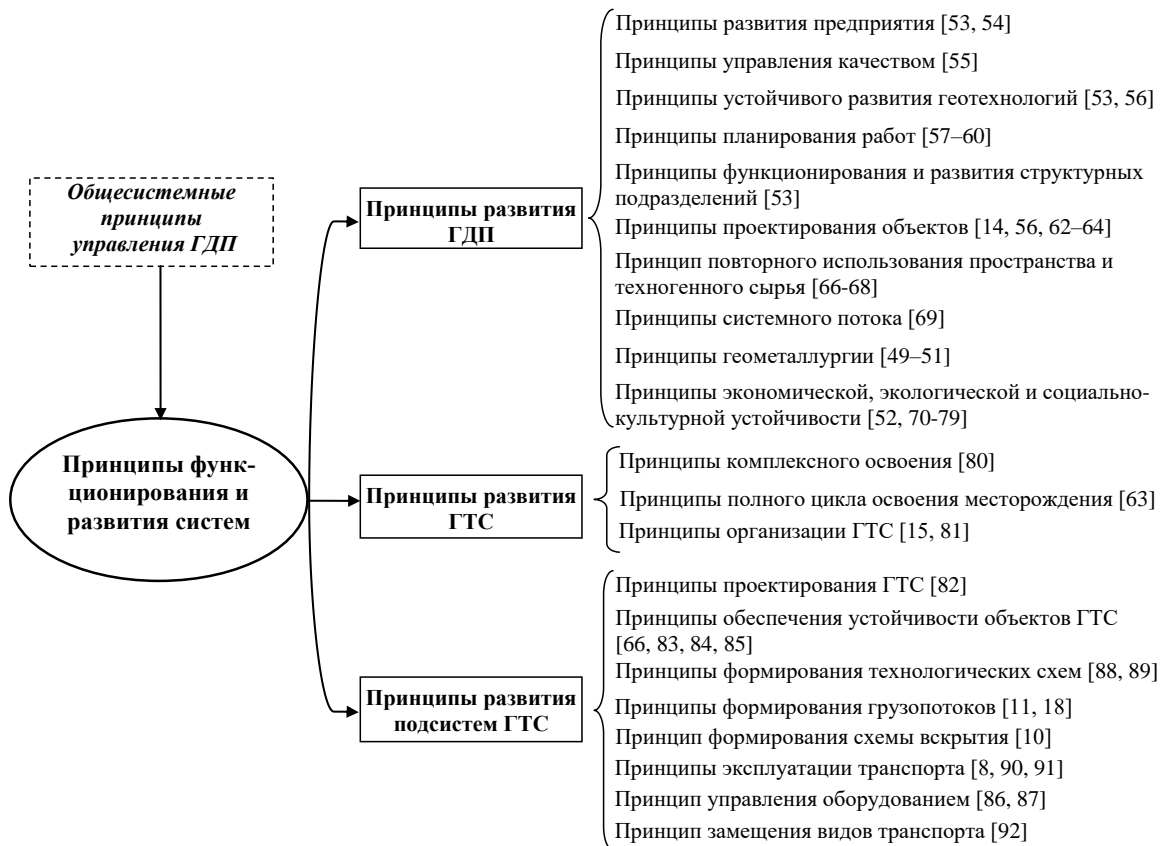


Рис. 7. Система принципов устойчивого функционирования и развития ГДП и его систем

Fig. 7. System of the sustainable functioning and development principles of the MO and their subsystems

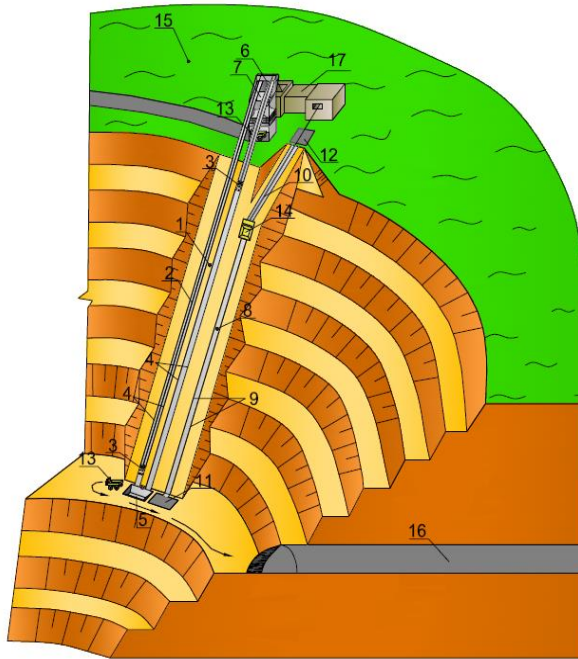


Рис. 8. Схема карьерной вскрывающей выработки для подземного рудника: 1 – карьерный подъемник; 2 – тяговая часть подъемника; 3 – транспортируемая горная масса; 4 – трасса подъемника; 5 – погрузочный бункер; 6 – разгрузочная башня; 7 – разгрузочный бункер; 8 – подъемное устройство; 9 – направляющие для шахтного оборудования; 10 – стальной канат подъемного устройства; 11 – площадка приема и подачи оборудования на нерабочем борту карьера; 12 – площадка приема и подачи оборудования на поверхности; 13 – автосамосвал с породой из рудника; 14 – самоходное транспортное оборудование; 15 – поверхность; 16 – подземная выработка

Fig. 8. Scheme of opening-up of an open-pit element for underground mining: 1 – open pit lift (skip); 2 – traction part of the lift; 3 – transported rocks; 4 – lift route; 5 – loading batcher; 6 – discharge tower; 7 – discharge pocket; 8 – lifting machine; 9 – mine equipment route; 10 – steel rope lifting machine; 11 – area for reception and supply of equipment on the non-working bench of the pit; 12 – area for receiving and supplying equipment on the surface; 13 – underground dump truck; 14 – mining equipment; 15 – surface; 16 – underground mine

Известно, что использование карьерных подъемников различных видов позволяет повысить эффективность открытого способа разработки месторождений [21, 93, 94]. Целесообразность применения карьерных подъемников для условий открыто-подземной разработки была рассмотрена в [95, 96]. Однако для обслуживания подъемника и подземного рудника необходимо сохранение и поддержание существующей на карьере системы автомобильных съездов. Сформированная схема вскрытия карьера при использовании автотранспорта во многом определяет результирующий угол наклона борта карьера. Увеличение угла наклона дает возможность отработать часть запасов руды ниже дна карьера на период стро-

ительства подземного рудника. Таким образом, переходный период с открытого способа разработки на открыто-подземный проходит без разрыва в добыче руды. Увеличить угол наклона нерабочего борта можно путем отработки транспортных берм и уменьшения их ширины до размеров предохранительных берм. Также это позволит сформировать площадку перегрузочного пункта в карьере. Транспортный доступ и обслуживание подземного рудника и нижних горизонтов карьера будут осуществляться по вновь созданной схеме вскрытия.

На основе предложенного в настоящей статье подхода и сформулированных принципов был разработан проект вскрывающей выработки, которая может быть применена в переходный период на заключительный этап открытого способа разработки месторождения [95]. В переходный период формируется карьерная вскрывающая выработка, которая представляет собой карьерный подъемник, соединенный общим электроприводом с подъемным устройством, обслуживающим подземный рудник. Данное подъемное устройство позволяет производить подъем и спуск оборудования и материалов для подземного рудника без использования автотранспорта и автомобильных карьерных съездов (рис. 8). Перегрузочный пункт, в зависимости от используемого типа подъемника, может размещаться в карьере на глубине 200–400 м и более.

С учетом того, что для рекомендуемых видов переходных периодов характерно значительное сокращение объемов перевозки (до 10 раз и более), данная выработка обеспечит необходимый грузооборот по основным и вспомогательным материалам. Достижимые результаты от предлагаемого решения, а также реализуемые при этом принципы представлены в табл. 3.

Реализация предлагаемого решения по формированию системы вскрытия соответствует целям устойчивого развития, реализуется на основе рассмотренных принципов и позволит значительно улучшить экономическое, экологические и социальные показатели переходных периодов.

Заключение

Анализ функционирования предприятий горнодобывающей отрасли позволяет сделать следующие выводы.

Отсутствует комплексный подход к реализации принципов устойчивого развития в горнодобывающей отрасли. Расхождение в применяемой терминологии, отсутствие универсальной общепринятой системы принципов, а также непропорциональное использование принципов для регулирования различных видов деятельности горного предприятия ограничивает эффективное взаимодействие подсистем предприятия между собой и с внешней средой и не позволяет обеспечивать системную реализацию концепции устойчивого развития на всех уровнях управления – от горно-металлургического холдинга до горнотехнической системы.

Таблица 3. Реализация принципов устойчивого функционирования и развития ГТС (на примере реализации проекта вскрывающей выработки с использованием карьерных подъемников)

Table 3. Implementation of the sustainable functioning and development principles of MTS (on the example of implementation of opening-up project using the opencast element for underground mining)

Цели устойчивого развития ГДП Goal of MO sustainable development	Результаты достижения целей Goal achievement results	Принципы устойчивого развития Sustainable development principles		
		ГДП MO	ГТС MTS	Система вскрытия Opening-up of an opencast system
Экономические Economic	Снижение затрат на транспортирование горной массы до 70 % и сокращение затрат на вскрышные работы от разноса бортов карьера на 25–45 % Reducing the cost of transportation of rock mass up to 70 % and reducing the cost of waste work from the develop of open pit walls by 25–45 %	Принципы устойчивого развития геотехнологий [56]; принцип ресурсосбережения [53]; принцип оптимальности [62] Principles of sustainable development of geotechnology [56]; resource saving principle [53]; optimality principle [62]	Принцип эффективности и безопасности [88] Principle of efficiency and safety [88]	Принципы формирования схемы вскрытия [10], принцип формирования грузопотоков [11] Opening-up of an opencast system principles [10], principle of haulage flows [11]
Экологические Ecological	Сокращение выбросов загрязняющих веществ до 50 %, снижение отходов в среднем на 30 % Reducing pollutant emissions by up to 50 %, reducing waste by an average of 30 %	Принцип минимизации воздействия [53] Minimizing impact principle [53]	Принцип проектирования ГТС [13] Principle of MTS design [13]	Принцип замещения видов транспорта [92] Principle of mining transport changes [92]
Социальные Social	Повышение безопасности работ, улучшение условий труда персонала, повышение уровня автоматизации производства Improving the safety of work, working conditions of staff, increasing the level of production automation	Принцип социальной стабильности [53] Principle of social stability [53]	Принципы обеспечения безопасности [81] Safety principles [81]	Принцип управления оборудованием [87] Equipment control principle [87]

Авторами настоящей работы разработана концепция и систематизированы принципы устойчивого функционирования и развития горнотехнических систем в переходные периоды, обеспечивающие согласование экономических целей подсистем ГТС с целями в области социального развития горнодобывающего предприятия и охраны окружающей среды. Существующие принципы проектирования и развития горного производства систем сгруппированы в соответствии с уровнями управления ГДП и ГТС в четыре группы: общесистемные принципы управления, принципы развития ГДП, принципы развития ГТС, принципы развития подсистем ГТС. Такой подход позволит осуществлять реализацию принципов на всех этапах проектирования и эксплуатации ГДП,

учитывая экономические, социальные и экологические аспекты функционирования ГДП.

Реализация предлагаемого в работе подхода позволила разработать проект вскрывающей выработки с использованием карьерных подъемников различных видов. Соблюдение принципов устойчивого функционирования и развития ГТС на всех уровнях управления горнодобывающим предприятием позволяет снизить затраты на транспортирование горной массы до 70 %, на выполнение вскрышных работ – до 45 %, сократить объемы выбросов загрязняющих веществ до 50 %, а также значительно улучшить условия труда персонала предприятия и повысить безопасность производства работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Katz J., Pietrobelli C. Natural resource based growth, global value chains and domestic capabilities in the mining industry // Resources Policy. – 2018. – V. 58. – P. 11–20.
- Finanz.ru. URL: <http://www.finanz.ru> (дата обращения 11.06.2019).
- The London Metal Exchange. URL: <https://www.lme.com> (дата обращения 11.06.2019).
- Abdollahisharif J., Bakhtavar E., Shahriar K. Open-pit to underground mining – Where is the optimum transition depth? // 21st WMC & Expo 2008. – London, 2008. – P. 189–196.
- Решетняк С.П. Перспективы развития открытого способа разработки на основе эффективного применения информационных технологий // Открытые горные работы в XXI веке: Сб. трудов межд. науч.-практ. конф. – Челябинск: ООО НТЦ «Горное дело», 2011. – С. 207–213.
- Paricheh M., Osanloo M. Determination of the optimum in-pit crusher location in open-pit mining under production and operating cost uncertainties // 16th International Conference on Computer Applications in the Mineral Industries. – Istanbul, Turkey, 5–7 October 2016. – P. 34.
- Czaplicki J.M. Shovel-truck systems. Modelling analysis and calculation. – London: CRC Press, 2009. – 172 p.
- Яковлев В.Л., Бахтурин Ю.А., Журавлев А.Г. Основные аспекты формирования и новые научные направления исследований транспортных систем карьеров // Наука и образование. – 2015. – № 4. – С. 67–72.
- Шпанский О.В. Влияние капитальной схемы вскрытия на конечные контуры карьеров // Горный журнал. – 2002. – № 11–12. – С. 37–42.
- Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – Т. II. – 535 с.

11. Ржевский В.В. Открытые горные работы. В 2-х ч. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. – М.: Недра, 1985. – 549 с.
12. Гибадуллин З.Р., Красавин В.П., Самусенко А.К. Технология разработки месторождений Учалинского ГОКа // Горный журнал. – 2004. – № 6. – С. 25–30.
13. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы проектирования горнотехнических систем комплексного освоения рудных месторождений комбинированной геотехнологией // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2008. – № 6. – С. 58–66.
14. Соколовский А.В. Методология проектирования технологического развития действующих карьеров: автореферат дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2009. – 38 с.
15. Ютяев А.В. Комплексное обоснование параметров горнотехнических систем высокопроизводительных угольных шахт: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2017. – 129 с.
16. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проектирование формирования и развития горнотехнических систем при комбинированной геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S 1-1. – С. 229–240.
17. Проектирование карьеров / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин, В.С. Коваленко. – М.: Высшая школа, 2009. – 694 с.
18. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. – Новосибирск: Сиб. отд-ние: Наука, 1989. – 240 с.
19. Дриженко А.Ю. Развитие теории карьерных горнотранспортных систем // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 6. – С. 134–142.
20. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakhshakpaev A.N. The selection of open-pit dump trucks at the reconstruction of quarry // Procedia Engineering. – 2017. – V. 206. – P. 1696–1702.
21. Бурмистров К.В. Обоснование системы вскрытия в переходные периоды разработки месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – Т. 1. – № 12 (2). – С. 84–94.
22. Обоснование технологических схем транспортирования горной массы с применением карьерных подъемников при разработке месторождений открыто-подземным способом / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, С.Н. Корнилов, Н.Г. Томилина // Горный журнал. – 2016. – № 5 (2226). – С. 41–47.
23. Pozynich K., Telnova S., Pozynich E. Sandwich belt high-angle conveyors in solving the transportation problems of deep open pits // VIII International Scientific Siberian Transport Forum. Trans Siberia. – 2019. – V. 2. – P. 110–124.
24. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 479 с.
25. Вербицкий А.А. Энциклопедический словарь по психологии и педагогике. – М.: Изд-во ПСТГУ, 2013. – 400 с.
26. Исследование переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений / В.Л. Яковлев, И.В. Соколов, Г.Г. Саканцев, И.Л. Кравчук // Горный журнал. – 2017. – № 7. – С. 46–50.
27. The effectiveness of combining the stages of ore fields development / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, Z. Khasheva // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – V. 7. – № 5. – P. 401–405.
28. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – V. 10. – № 15. – P. 35410–35416.
29. Бутаков В., Фаградянц И. Политехнический терминологический толковый словарь. – М.: Polyglossum, 2014. – 526 с.
30. Невдяев Л.М. Телекоммуникационные технологии. Англо-русский толковый словарь-справочник / под ред. Ю.М. Горностаева. – М., 2002. – 592 с.
31. Горная энциклопедия / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 560 с.
32. Практическая реализация механизма устойчивого развития в создании и становлении горно-металлургического холдинга медной отрасли России / И.А. Алтушкин, А.Е. Череповицын, Ю.А. Король. – М.: ИД «Руда и Металлы», 2016. – 232 с.
33. Christmann P. Mining Industry // Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. – Elsevier, 2020. – P. 433–443.
34. The state of environmental sustainability considerations in mining / M. Tost, M. Hitch, V. Chandurkar, P. Moser, S. Feiel // Journal of Cleaner Production. – 2018. – V. 182. – P. 969–977.
35. Identifying and clarifying environmental policy best practices for the mining industry—A systematic review / F.X. Tuokuu, U. Idemudia, J.S. Gruber, J. Kayira // Journal of Cleaner Production. – 2019. – V. 222. – P. 922–933.
36. Monteiro N.B., Da Silva E.A., Moita Neto J.M. Sustainable development goals in mining // Journal of Cleaner Production. – 2019. – V. 228. – P. 509–520.
37. Zhu X., Chen Y., Feng C. Green total factor productivity of China's mining and quarrying industry: a global data envelopment analysis // Resources Policy. – 2018. – V. 57. – P. 1–9.
38. A review of studies on sustainable development in mining life cycle / E.T. Asr, R. Kakaie, M. Ataei, M.R. Tavakoli Mohammadi // Journal of Cleaner Production. – 2019. – V. 229. – P. 213–231.
39. Green logistics: element of the sustainable development concept. P. 1 / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, D. Muravev // Nase More. – 2017. – № 64 (3). – P. 120–126.
40. Ряховская А.Н. Устойчивое функционирование и развитие предприятий: основные механизмы, принципы, критерии оценки // Эффективное антикризисное управление. – 2012. – № 2 (71). – С. 58–66.
41. Conference of the Parties – Twenty-first session. – Paris, 30.11–11.12.2015. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> (дата обращения 20.05.2019).
42. Галиев С.Ж., Юсупова Л.И. Проблемы устойчивого развития горнодобывающего комплекса Казахстана // Доклад на Minex. – Казахстан, 2013. – 8 с.
43. Устойчивое развитие горнодобывающих предприятий и регионов в рамках концепции synchro-mining / А.Н. Шашенко, М.С. Пашкевич, А.В. Солодянкин, С.Н. Гапеев, С.А. Воронин // Перспективы развития строительных технологий: 8-я междунауч.-практ. конф. – Д.: Национальный горный университет, 2014. – С. 184–191.
44. Ускова Т.В. Управление устойчивым развитием региона: монография. – Вологда: ИСЭРТ РАН, 2009. – 355 с.
45. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н., Багинова В.В. Инновации в области зеленой логистики // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 2 (75). – С. 196–211.
46. Shi H.-q. Mine green mining // Energy Procedia. – 2012. – V. 16. – P. 409–416.
47. Dubiński J. Sustainable development of mining mineral resources // Journal of Sustainable Mining. – 2013. – V. 12. – № 1. – P. 1–6.
48. Dutta R. Green mining of rare Earth elements (REE) to diminish greenhouse gas (GHG) footprint // Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. – Elsevier, 2020. – P. 513–525.
49. Dominy S., O'Connor L., Parbhakar-Fox A. Geometallurgy – a route to more resilient mine operations // Minerals. – 2018. – V. 8. – № 12. – P. 560.
50. Aasly K., Ellefmo S. Geometallurgy applied to industrial minerals operations // Mineralproduksjon. – 2014. – V. 5. – A21–A34.
51. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?menu=2361> (дата обращения 20.05.2019).
52. Green logistics: a system of methods and instruments. P. 2 / A. Rakhmangulov, A. Sladkowski, N. Osintsev, D. Muravev // Nase More. – 2018. – № 65 (1). – P. 49–55.
53. Юн А.Б. Разработка и обоснование параметров горнотехнической системы комплексного освоения Жезказганского месторождения в условиях восполнения выбывающих мощностей рудников: дисс. ... д-ра техн. наук. – Караганда, 2016. – 333 с.
54. Jeswiet J. Including towards sustainable mining in evaluating mining impacts // Procedia CIRP. – 2017. – V. 62. – P. 494–499.
55. Федаш А.В. Принципы создания системы управления качеством проектов угледобывающих предприятий // Уголь. – 2013. – № 1(1042). – С. 73–74.
56. Каплунов Д.Р., Чаплыгин Н.Н., Рыльникова М.В. Принципы проектирования комбинированных технологий при освоении крупных месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. – 2003. – № 12. – С. 21–25.
57. Molotilov S.G., Cheskidov V.I., Norri V.K. Methodical principles for planning the mining and loading equipment capacity for open cast mining with the use of dumpers. P. I // Journal of Mining Science. – 2008. – V. 44. – № 4. – P. 376–385.

58. Methodical principles for planning the mining and loading equipment capacity for open cast mining with the use of dumpers. P. II: Engineering capacity calculation / S.G. Molotilov, V.I. Cheskidov, V.K. Norri, A.A. Botvinnik // *Journal of Mining Science*. – 2009. – V. 45. – № 1. – P. 43–58.
59. Methodical principles for planning the mining and loading equipment capacity for open cast mining with the use of dumpers. P. III: Service capacity determination / S.G. Molotilov, V.I. Cheskidov, V.K. Norri, A.A. Botvinnik, D. Kh. Il'bul'din // *Journal of Mining Science*. – 2010. – V. 46. – № 4. – P. 38–49.
60. Ramani R.V. Surface mining technology: progress and prospects // *Procedia Engineering*. – 2012. – V. 46. – P. 9–21.
61. Kalabin G.V. Principles of macro-ecological risk mapping of mining industry areas // *Journal of Mining Science*. – 2012. – V. 48. – № 6. – P. 1071–1078.
62. Ракишев Б.Р. Проектирование карьеров. – Алматы: КазННТУ им. К.И. Сатпаева, 2013. – 298 с.
63. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы проектирования и реализации горнотехнических систем с полным циклом освоения рудных месторождений // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2013. – № 27. – С. 3–11.
64. Хохряков В.С. Проектирование карьеров. – М.: Недра, 1992. – 383 с.
65. Соколовский А.В. Принципы проектирования развития действующего карьера // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2007. – № 12. – С. 21–26.
66. Williams D.J. Applying geomechanics principles to mine waste management / 7th International Congress on Environmental Geotechnics: 7ICEG. – Australia, 2014. – P. 198–205.
67. Обоснование принципов развития геотехнологии подземной разработки жильных месторождений / Г.А. Курсакин, А.А. Фаткулин, В.Н. Макишин, А.В. Жуков // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. Специальный выпуск. – 2013. – № 12. – С. 61–74.
68. Overburden management in open pits: options and limits in large limestone quarries / C. Oggeri, T.M. Fenoglio, A. Godio, R. Vinai // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2019. – V. 29. – № 2. – P. 217–228.
69. Claassen J.O. Application of systemic flow-based principles in mining // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2015. – V. 115. – № 8. – P. 747–754.
70. ICMM 10 Principles. URL: <https://www.icmm.com/en-gb/members/member-commitments/icmm-10-principles> (дата обращения 20.05.2019).
71. Erzurumlu S.S., Erzurumlu Y.O. Sustainable mining development with community using design thinking and multi-criteria decision analysis // *Resources Policy*. – 2015. – V. 46. – P. 6–14.
72. Fraser J. Creating shared value as a business strategy for mining to advance the United Nations Sustainable Development Goals // *The Extractive Industries and Society*. – 2019. – V. 6. – № 3. – P. 788–791.
73. Lawrence R., Moritz S. Mining industry perspectives on indigenous rights: Corporate complacency and political uncertainty // *The Extractive Industries and Society*. – 2019. – V. 6. – № 1. – P. 41–49.
74. Mills T. Fully armed: is the application of the arm's length principle the best method to address transfer mispricing in the mining industry in developing countries? // *The Extractive Industries and Society*. – 2019. – V. 6. – № 4. – P. 1075–1078.
75. Nourali H., Osanloo M. A new cost model for estimation of open pit copper mine capital expenditure // *International Journal of Engineering*. – 2019. – V. 32. – № 2. – P. 346–353.
76. Mining at the crossroads: sectoral diversification to safeguard sustainable mining? / W. de Lange, B. de Wet, L. Haywood, W. Stafford, C. Musvoto, I. Watson // *The Extractive Industries and Society*. – 2018. – V. 5. – № 3. – P. 269–273.
77. Effectiveness of using learning factories to impart Lean principles in mining employees / S. Makumbe, T. Hattingh, N. Plint, D. Esterhuizen // *Procedia Manufacturing*. – 2018. – V. 23. – P. 69–74.
78. Mancini L., Sala S. Social impact assessment in the mining sector: review and comparison of indicators frameworks // *Resources Policy*. – 2018. – V. 57. – P. 98–111.
79. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы обоснования параметров устойчивого и экологически сбалансированного освоения месторождений твердых полезных ископаемых // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. Специальный выпуск. – 2014. – № 2. – С. 3–10.
80. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgatyi L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // *The Social Sciences (Pakistan)*. – 2015. – V. 10. – № 6. – P. 750–754.
81. Принципы управления безопасностью производства при совершенствовании технологических схем карьеров / А.В. Цыганов, Н.А. Осинцев, К.В. Бурмистров, А.А. Колодюк, В.Ю. Заляднов // Проблемы повышения экологической и промышленной безопасности производственно-технических комплексов промышленных регионов: Сб. науч. тр. 4 всерос. конф. МГТУ им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2004. – С. 66–68.
82. Лапаев В.Н., Пикалов В.А. Принципы проектирования высокопроизводительных горнотехнических систем карьеров // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2011. – № S11. – С. 429–435.
83. Fleurisson J.-A. Slope design and implementation in open pit mines: geological and geomechanical approach // *Procedia Engineering*. – 2012. – V. 46. – P. 27–38.
84. Open pit mine waste dump area design based on stability principles / C.A. Ozturk, S. Ercelebi, I.E. Onsel et al. // *International Mining Congress and Exhibition of Turkey: 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, IMCET'15*. – Turkey, 2015. – P. 570–578.
85. Paramonov G.P., Mysyn A. V., Babkin R. S. Formation of load parameters of destroyed massifs in explosion of multicharge Composition with separation of its parts by profile inert interval // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – V. 5. – № 87. – P. 11–16.
86. Baranov E.G., Tangaev I.A. Energy principles for analysis and optimization of mining and ore preparation processes // *Soviet Mining Science*. – 1989. – V. 25. – № 4. – P. 334–345.
87. Open-pit mine truck real-time dispatching principle under macroscopic control / Q. Wang, Y. Zhang, C. Chen, W. Xu // *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICIC'06)*. – China, 2006. – V. I. – P. 702–706.
88. Формирование технологических схем безопасной работы карьеров: монография / А.В. Цыганов, Н.А. Осинцев, С.Е. Гавришев, А.Н. Рахмангулов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 166 с.
89. Selyukov A.V. Advanced technology based on new technological and organization principles of spatial development of front of mining operation at open pits // *Chinese coal in XXI century: mining, green and safety: Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control*. – Qindao, China, 17–20 October 2014. – P. 156–160.
90. Взаимодействие транспортных звеньев в комбинированных транспортных системах глубоких карьеров / Ю.И. Лель, С.В. Исаков, А.Л. Костин, О.Э. Ширинкин // *Уральская горная школа – регионам: Сб. докладов междунауч.-практ. конф.* – Екатеринбург, 11–12 апреля 2016. – Екатеринбург: Изд-во Уральского горно-геологического университета, 2016. – С. 400–401.
91. Энергетический принцип оценки и оптимизации параметров транспортных систем карьеров / Ю.И. Лель, Е.С. Калужный, С.В. Исаков, О.А. Иванова // *Уральская горная школа – регионам: Сб. докладов междунауч.-практ. конф.* – Екатеринбург, 11–12 апреля 2016. – Екатеринбург: Изд-во Уральского горно-геологического университета, 2016. – С. 417–418.
92. Громов Е.В. Повышение эффективности разработки месторождений бедных руд в условиях экологических ограничений (на примере апатит-нефелинового месторождения «Партомчорр»): дис. ... канд. техн. наук. – Апатиты, 2016. – 164 с.
93. Оценка эффективности схем вскрытия законурных запасов с применением карьерных подъемников / С.Е. Гавришев, В.Н. Калмыков, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина, В.Ю. Заляднов // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2014. – № 1. – С. 8–12.
94. Braun T., Hennig A., Lottermoser B.G. The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt

- conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry // Journal of Sustainable Mining. – 2017. – V. 16. – № 1. – P. 24–30.
95. Карьерное подъемное устройство: пат. РФ 186195; опубл. 11.01.2019. – Бюл. № 2.
96. Reliable and cost-effective: ThyssenKrupp to deliver conveyor system for new underground copper mine in Mongolia // Mining World. – 2017. – V. 14. – № 4. – P. 20. URL: <https://www.thyssenkrupp.com/en/newsroom/press-releases/reliable-and-cost-effective--thyssenkrupp-to-deliver-conveyor-system-for-new-underground-copper-mine-in-mongolia-1586.html> (дата обращения 11.06.2019).

Поступила 12.03.2020 г.

Информация об авторах

Бурмистров К.В., кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.

Осинцев Н.А., кандидат технических наук, доцент кафедры логистики и управления транспортными системами Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.

UDC 622.012:338.3

PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MINING AND TECHNICAL SYSTEMS IN TRANSITIONAL PERIODS

Konstantin V. Burmistrov¹,
k.burmistrov@magtu.ru

Nikita A. Osintsev¹,
osintsev@magtu.ru

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University,
38, Lenin avenue, Magnitogorsk, 455000, Russia.

The relevance. Functioning of mining operations in modern conditions is characterized by the active influence of external and internal factors. In the conditions of unstable external environment, upon transition from one development stage to another, subsystems of mining operations have to submit to the purpose of ensuring steady functioning of the enterprise – providing output streams with the set parameters. During this period stability of mining and technical systems changes that have an impact on a condition of economic and social subsystems of mining operations, and also on the state of environment caused by changes in parameters of technology and engineering procedures. It demands the development of the new approaches and the management principles of work of the mining operations based on coordination of economic targets with the purposes in the field of ecology and social development.

The main aim of the research is to form sustainable development concept of mining and technical systems in transitional periods of open pit mining based on systematization of the existing principles of sustainable development in the mining industry.

Objects: mining operations, mining and technical systems, opening-up system of opencast.

Methods: literature review, structural and functional analysis, system analysis.

Results. The paper substantiates the key role of the opening-up system of opencast in the structure of the mining and technical systems for achieving sustainable development goals of the mining operations. The systematization of the sustainable functioning and development principles of the mining operations and their systems were carried out, four groups of principles were highlighted: system-wide principles of management, development principles of the mining operations, development principles of mining and technical systems, development principles of the subsystems of mining and technical systems. The idea of consecutive transformation of the subsystems of mining and technical systems at all design stages and operation considering economic, social and ecological aspects for ensuring the established parameters of functioning of the mining operations is the basis for the offered system of the principles. The authors proposed the concept of sustainable development of mining and technical systems in transitional periods of open pit mining. The use of the proposed approach during transition from open pit mining to the open-underground mining allows us to improve the economic, environmental and social indicators of the functioning of the mining operations systems.

Key words:

Principles, mining operations, mining and technical system, opening-up of an opencast system, sustainable functioning, sustainable development, transition period, mining transport.

REFERENCES

1. Katz J., Pietrobello C. Natural resource based growth, global value chains and domestic capabilities in the mining industry. *Resources Policy*, 2018, vol. 58. pp. 11–20.
2. *Finanz.ru*. Available at: <http://www.finanz.ru> (accessed 11 June 2019).
3. *The London Metal Exchange*. Available at: <https://www.lme.com> (accessed 11 June 2019).
4. Abdollahisharif J., Bakhtavar E., Shahriar K. Open-pit to underground mining – Where is the optimum transition depth? *21st WMC & Expo 2008*. London, 2008. pp. 189–196.
5. Reshetnyak S.P. Perspektivy razvitiya otkrytogo sposoba razrabotki na osnove effektivnogo primeneniya informatsionnykh tekhnologiy [Prospects for development of an open pit mine based on the effective use of information technologies]. *Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsi. Otkrytye gornye raboty v XXI veke* [Proceedings of the international scientific-practical conference. Open Mining in the Twenty-first Century]. Chelyabinsk, NTC Mining LLC, 2011. pp. 207–213.
6. Paricheh M., Osanloo M. Determination of the optimum in-pit crusher location in open-pit mining under production and operating cost uncertainties. *16th International Conference on Computer Applications in the Mineral Industries*. Istanbul, Turkey, 2016. p. 34.
7. Czaplicki J.M. *Shovel-truck systems. Modelling analysis and calculation*. London, CRC Press, 2009. 172 p.
8. Yakovlev V.L., Bahturin Yu.A., Zhuravlev A.G. Osnovnye aspekty formirovaniya i novye nauchnye napravleniya issledovaniya transportnykh sistem karerov [The main aspects of formation and new scientific directions of research of transport systems of quarries]. *Nauka i Obrazovanie*, 2015, no. 4. pp. 67–72.
9. Shpansky O.V. Vliyaniye kapitalnoy skhemy vskrytiya na konechnye kontury karerov [The impact of capital schemes of opening on the final contours of quarries]. *Gornyi Zhurnal*, 2002, no. 11–12. pp. 37–42.
10. Trubetskoy K.N., Krasnyansky G.L., Chronin V.V. *Proektirovaniye karerov*. Ch. II [Design of open pit. P. II]. Moscow, Academy of Mining Sciences Publ. house, 2001. 535 p.
11. Rzhnevsky V.V. *Otkrytye gornye raboty*. Ch. 2. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya [Open pit mining. P. 2. Technology and integrated mechanization]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 549 p.
12. Gibadullin Z.R., Krasavin V.P., Samusenko A.K. Tekhnologiya razrabotki mestorozhdeniy Uchalinskogo GOKa [Mining technology of Uchalinsky GOK deposits]. *Gornyi Zhurnal*, 2004, no. 6. pp. 25–30.
13. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Printsipy proektirovaniya gornotekhnicheskikh sistem kompleksnogo osvoeniya rudnykh mestorozhdeniy kombinirovannoy geotekhnologiy [Principles of design of mining systems for integrated development of ore deposits with combined geotechnology]. *Fiziko-Tekhnicheskie Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh – Journal of Mining Science*, 2008, no. 6. pp. 58–66.
14. Sokolovsky A.V. *Metodologiya proektirovaniya tekhnologicheskogo razvitiya deystvuyushchikh karerov*. Dis. Dr. nauk [Methodology for design of technological development of open pit mine. Dr. Diss.]. Moscow, 2009. 38 p.

15. Yutyaev A.V. *Kompleksnoe obosnovanie parametrov gornotekhnicheskikh sistem vysokoproizvoditelnykh ugolnykh shakht*. Dis. Kand. nauk [Comprehensive substantiation of the parameters of mining systems of high-performance coal mines. Cand. Diss.]. Moscow, 2017. 129 p.
16. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Designing the formation and development of mining systems with combined geotechnology. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2015, no. S1-1, pp. 229–240. In Rus.
17. Trubetskoy K.N., Krasnyansky G.L., Khronin V.V., Kovalenko V.S. *Proektirovanie karerov* [Quarry design]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2009. 694 p.
18. Yakovlev V.L. *Teoriya i praktika vybora transporta glubokikh karerov* [Theory and practice of transport choice of deep quarries]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1989. 240 p.
19. Drizhenko A.Yu. Development of the theory of mining and mining transport systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2014, no. 6, pp. 134–142. In Rus.
20. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakshakpaev A.N. The Selection of open-pit dump trucks at the reconstruction of quarry. *Procedia Engineering*, 2017, no. 206, pp. 1696–1702.
21. Burmistrov K.V. Justification of the developing system in the mining transitional stages. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2015, S1-1, pp. 291–300. In Rus.
22. Gavrishchev S.E., Burmistrov K.V., Kornilov S.N., Tomilina N.G. Obosnovanie tekhnologicheskikh skhem transportirovaniya gornoy massy s primeneniem karernykh podemnikov pri razrabotke mestorozhdeniy otkryto-podzemnym sposobom [Justification of technological schemes for transportation of rock mass using quarry lifts in the development of deposits by the open-underground method]. *Gornyi Zhurnal*, 2016, no. 5 (2226), pp. 41–47.
23. Pozynich K., Telnova S., Pozynich E. Sandwich belt high-angle conveyors in solving the transportation problems of deep open pits. *VIII International Scientific Siberian Transport Forum. Trans Siberia*, 2019, vol. 2, pp. 110–124.
24. Raizberg B.A., Lozovskiy L.Sh., Starodubtseva E.B. *Sovremenny ekonomicheskii slovar* [Modern economic dictionary]. Moscow, INFRA-M Publ., 1999. 479 p.
25. Verbitskiy A.A. *Entsiklopedicheskiy slovar po psikhologii i pedagogike* [Encyclopedic dictionary on psychology and pedagogy]. Moscow, PSTGU Publ., 2013. 400 p.
26. Yakovlev V.L., Sokolov I.V., Sakantsev G.G., Kravchuk I.L. Issledovanie perekhodnykh protsessov pri kombinirovannoy razrabotke rudnykh mestorozhdeniy [Investigation of transition period in the combined development of ore deposits]. *Gornyi Zhurnal*, 2017, no. 7, pp. 46–50.
27. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metalurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 5, pp. 401–405.
28. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 15, pp. 35410–35416.
29. Butakov V., Fagradants I. *Politekhnichestkiy terminologicheskii slovar* [Polytechnic terminological explanatory dictionary]. Moscow, Polyglossum, 2014. 224 p.
30. Nevdyayev L.M. *Telekommunikatsionnye tekhnologii. Anglorusskiy tolkovy slovar-spravochnik* [Telecommunication technology. English-Russian explanatory dictionary-directory]. Moscow, 2002. 592 p.
31. Kozlovskiy E.A. *Gornaya entsaiklopediya* [Mountain encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1984. 560 p.
32. Altushkin I.A., Cherepovitsyn A.E., Korol Yu.A. *Prakticheskaya realizatsiya mekhanizma ustoychivogo razvitiya v sozdanii i stanovlenii gorno-metallurgicheskogo kholdinga mednoy otrasli Rossii* [Practical implementation of sustainable development mechanism in creation of mining and metallurgical holding of the copper industry in Russia]. Moscow, Rudy i metally Publ. house, 2016. 232 p.
33. Christmann P. Mining Industry. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Elsevier, 2020. pp. 433–443.
34. Tost M., Hitch M., Chandurkar V., Moser P., Feiel S. The state of environmental sustainability considerations in mining. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 182, pp. 969–977.
35. Tuokuu F.X., Idemudia U., Gruber J.S., Kayira J. Identifying and clarifying environmental policy best practices for the mining industry – a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 222, pp. 922–933.
36. Monteiro N.B., Da Silva E.A., Moita Neto J.M. Sustainable development goals in mining. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 228, pp. 509–520.
37. Zhu X., Chen Y., Feng C. Green total factor productivity of China's mining and quarrying industry: a global data envelopment analysis. *Resources Policy*, 2018, vol. 57, pp. 1–9.
38. Asr E.T., Kakaie R., Ataei M., Tavakoli Mohammadi M.R. A review of studies on sustainable development in mining life cycle. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 229, pp. 213–231.
39. Rakhmangulov A., Sladkowski A., Osintsev N., Muravev D. Green logistics: element of the sustainable development concept. P. 1. *Nase More*, 2017, vol. 64, no. 3, pp. 120–126.
40. Ryakhovskaya A.N. Ustoychivoe funktsionirovanie i razvitie predpriyatiy: osnovnye mekhanizmy, printsipy, kriterii otsenki [Sustainable functioning and development of enterprises: basic mechanisms, principles, evaluation criteria]. *Effektivnoe anti-krizisnoe upravlenie*, 2017, no. 2 (71), pp. 58–66.
41. *Conference of the Parties – Twenty-first session*. Paris, 2015. Available at: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/09r01.pdf> (accessed 20 May 2019).
42. Galiev S.Zh., Yusupova L.I. Problemy ustoychivogo razvitiya gornodobyvayushchego kompleksa Kazakhstana [Problems of sustainable development of the mining complex of Kazakhstan]. *Doklad na Minex* [Report on Minex]. Kazakhstan, 2013. 8 p.
43. Shashenko A.N., Pashkevich M.S. Solodyankin A.V., Gapeev S.N., Voronin S.A. Ustoychivoe razvitie gornodobyvayushchikh predpriyatiy i regionov v ramkakh kontseptsii synkhro-mining [Sustainable development of mining enterprises and regions within the concept of synchro-mining]. *Perspektivy razvitiya stroitelnykh tekhnologiy. 8-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh, aspirantov i studentov* [Proceedings of the 8th International scientific-practical conference. Prospects for the Development of Building Technologies]. Dnepropetrovsk, National Mining University Publ., 2014. pp. 184–191.
44. Uskova T.V. *Upravlenie ustoychivym razvitiem regiona: monografiya* [Management of sustainable development of the region: a monograph]. Vologda, ISEDT RAS, 2009. 355 p.
45. Osintsev N.A., Rakhmangulov A.N., Baginova V.V. Innovatsii v oblasti zelyonoy logistiki [Innovations in the sphere of green logistics]. *Mir Transporta*, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 196–211.
46. Shi H.-Q. Mine green mining. *Energy Procedia*, 2012, vol. 16, pp. 409–416.
47. Dubinski J. Sustainable development of mining mineral resources. *Journal of Sustainable Mining*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 1–6.
48. Dutta R. Green mining of rare Earth elements (REE) to diminish greenhouse gas (GHG) footprint. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Elsevier, 2020. pp. 513–525.
49. Dominy S., O'Connor L., Parbhakar-Fox A. Geometallurgy – a route to more resilient mine operations. *Minerals*, 2018, vol. 8, no. 12, p. 560.
50. Aasly K., Ellefmo S. Geometallurgy applied to industrial minerals operations. *Mineralproduksjon*, 2014, vol. 5, A21–A34.
51. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?menu=2361> (accessed 20 May 2019).
52. Rakhmangulov A., Sladkowski A., Osintsev N., Muravev D. Green logistics: a system of methods and instruments. P. 2. *Nase More*, 2018, vol. 65, no. 1, pp. 49–55.
53. Yun A.B. *Razrabotka i obosnovanie parametrov gornotekhnicheskoy sistemy kompleksnogo osvoeniya Zhezkazganskogo mestorozhdeniya v usloviyakh vospolneniya vybyvayushchikh moshchnostey rudnikov*. Dis. Dokt. nauk [Development and substantiation of the parameters of the mining system of integrated development of the Zhezkazgan field in terms of replenishing the outgoing capacity of mines. Dr. Diss.]. Karaganda, 2016. 333 p.
54. Jeswiet J. Including towards sustainable mining in evaluating mining impacts. *Procedia CIRP*, 2017, vol. 62, pp. 494–499.
55. Fedash A.V. Printsipy sozdaniya sistemy upravleniya kachestvom proektov ugledobyvayushchikh predpriyatiy [Principles of establishing coal production company project quality management system]. *Ugol*, 2013, no. 1 (1042), pp. 73–74.

56. Kaplunov D.R., Chaplygin N.N., Rylnikova M.V. Printsipy proektirovaniya kombinirovannykh tekhnologiy pri osvoenii krupnykh mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh [Principles of design of combined technologies in the development of large solid mineral deposits]. *Gornyi Zhurnal*, 2003, no. 12, pp. 21–25.
57. Molotilov S.G., Cheskidov V.I., Norri V.K. Methodical principles for planning the mining and loading equipment capacity for open cast mining with the use of dumpers. P. I. *Journal of Mining Science*, 2008, vol. 44, no. 4, pp. 376–385.
58. Molotilov S.G., Cheskidov V.I., Norri V.K., Botvinnik A.A. Methodical principles for planning the mining and loading equipment capacity for open cast mining with the use of dumpers. P. II: Engineering capacity calculation. *Journal of Mining Science*, 2009, vol. 45, no. 1, pp. 43–58.
59. Molotilov S.G., Cheskidov V.I., Norri V.K., Botvinnik A.A., Il'bul'din D.Kh. Methodical principles for planning the mining and loading equipment capacity for open cast mining with the use of dumpers. P. III: Service capacity determination. *Journal of Mining Science*, 2010, vol. 46, no. 4, pp. 38–49.
60. Ramani R.V. Surface mining technology: progress and prospects. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 46, pp. 9–21.
61. Kalabin G.V. Principles of macro-ecological risk mapping of mining industry areas. *Journal of Mining Science*, 2012, vol. 48, no. 6, pp. 1071–1078.
62. Rakishev B.R. *Proektirovanie karerov* [Open pit design]. Almaty, KazNTU Publ., 2013. 298 p.
63. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Principles of design and implementation of mining systems with a full cycle of development of ore deposits. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2013, no. 27, pp. 3–11. In Rus.
64. Khokhryakov B.C. *Proektirovanie karerov* [Open pit design]. Moscow, Nedra Publ., 1992. 383 p.
65. Sokolovsky A.V. Principles for designing the development of an existing career. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2007, no. 12, pp. 21–26. In Rus.
66. Williams D.J. Applying geomechanics principles to mine waste management. *7th International Congress on Environmental Geotechnics: 7ICEG-2014*. Australia, 2014. pp. 198–205.
67. Kursakin G.A., Fatkulin A.A., Makishin V.N., Zhukov A.V. Justification of the principles of geotechnical development of underground mining of vein deposits. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2013, no. 12, pp. 61–74. In Rus.
68. Oggeri C., Fenoglio T.M., Godio A., Vinai R. Overburden management in open pits: Options and limits in large limestone quarries. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2019, vol. 29, no. 2, pp. 217–228.
69. Claassen J.O. Application of systemic flow-based principles in mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2015, vol. 115, no. 8, pp. 747–754.
70. *ICMM 10 Principles*. Available at: <https://www.icmm.com/en-gb/members/member-commitments/icmm-10-principles> (accessed 20 May 2019).
71. Erzurumlu S.S., Erzurumlu Y.O. Sustainable mining development with community using design thinking and multi-criteria decision analysis. *Resources Policy*, 2015, vol. 46, pp. 6–14.
72. Fraser J. Creating shared value as a business strategy for mining to advance the United Nations Sustainable Development Goals. *The Extractive Industries and Society*, 2019, vol. 6, no. 3, pp. 788–791.
73. Lawrence R., Moritz S. Mining industry perspectives on indigenous rights: Corporate complacency and political uncertainty. *The Extractive Industries and Society*, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 41–49.
74. Mills T. Fully armed: is the application of the arm's length principle the best method to address transfer mispricing in the mining industry in developing countries? *The Extractive Industries and Society*, 2019, vol. 6, no. 4, pp. 1075–1078.
75. Nourali H., Osanloo M. A new cost model for estimation of open pit copper mine capital expenditure. *International Journal of Engineering*, 2019, vol. 32, no. 2, pp. 346–353.
76. De Lange W., De Wet B., Haywood L., Stafford W., Musvoto C., Watson I. Mining at the crossroads: Sectoral diversification to safeguard sustainable mining? *The Extractive Industries and Society*, 2018, vol. 5, no. 3, pp. 269–273.
77. Makumbe S., Hattingh T., Plint N., Esterhuizen D. Effectiveness of using Learning Factories to impart Lean principles in mining employees. *Procedia Manufacturing*, 2018, vol. 23, pp. 69–74.
78. Mancini L., Sala S. Social impact assessment in the mining sector: review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy*, 2018, vol. 57, pp. 98–111.
79. Trubetsky K.N., Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Principles of substantiation of parameters of sustainable and environmentally balanced development of solid mineral deposits. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2014, no. 2, pp. 3–10. In Rus.
80. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste. *The Social Sciences (Pakistan)*, 2015, vol. 10, no. 6, pp. 750–754.
81. Tsyganov A.V., Osintsev N.A., Burmistrov K.V., Kolonyuk A.A., Zalyadnov V.Yu. Printsipy upravleniya bezopasnostyu proizvodstva pri sovershenstvovanii tekhnologicheskikh skhem karerov [Principles of production safety management while improving technological schemes of quarries]. *Problemy povysheniya ekologicheskoy i promyshlennoy bezopasnosti proizvodstvenno-tekhnicheskikh kompleksov promyshlennykh regionov* [Problems of improving the environmental and industrial safety of production and technical complexes of industrial regions]. Magnitogorsk, MSTU Publ., 2004. pp. 66–68.
82. Lapaev V.N., Pikalov V.A. Principles of designing high-performance mining and technical systems of quarries. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2011, no. S11, pp. 429–435. In Rus.
83. Fleurisson J.-A. Slope design and implementation in open pit mines: geological and geomechanical approach. *Procedia Engineering*, 2013, no. 46, pp. 27–38.
84. Ozturk C.A., Ercelebi S., Önsel I.E. Open pit mine waste dump area design based on stability principles. *24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, IMCET'15*. Turkey, 2015. pp. 570–578.
85. Paramonov G.P., Mysin A.V., Babkin R.S. Formation of load parameters of destroyed massive in explosion of multicharge composition with separation of its parts by profile inert interval. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 87, no. 5, pp. 11–16.
86. Baranov E.G., Tangaev I.A. Energy principles for analysis and optimization of mining and ore preparation processes. *Soviet Mining Science*, 1989, vol. 25, no. 4, pp. 334–345.
87. Wang Q., Zhang Y., Chen C., Xu W. Open-pit Mine truck real-time dispatching principle under macroscopic control. *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control. (ICIC'06)*. China, 2006. Vol. I, pp. 702–706.
88. Tsyganov A.V., Osintsev N.A., Gavrishev S.E., Rakhmangulov A.N. *Formirovanie tekhnologicheskikh skhem bezopasnoy raboty karerov: monografiya* [Formation of technological schemes for the safe operation of quarries: monograph]. Magnitogorsk, NMSTU Publ., 2014. 166 p.
89. Selyukov A.V. Advanced technology based on new technological and organization principles of spatial development of front of mining operation at open pits. *Chinese coal in XXI century: mining, green and safety. Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control*. Qindao, China, 2014. pp. 156–160.
90. Lel Yu.I., Isakov S.V., Kostin A.L., Shirinkin O.E. Vzaimodeystvie transportnykh zvenev v kombinirovannykh transportnykh sistemakh glubokikh karerov [Interaction of transport links in the combined transport systems of deep quarries]. *Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Uralskaya Gornaya Shkola – Regionam* [International Scientific and Practical Conference Ural Mountain School – Regions]. Yekaterinburg, UGGU Publ., 2016. pp. 400–401.
91. Lel Yu.I., Kalyuzhny. E.S., Isakov S.V., Ivanova O.A. Energeticheskii printsip otsenki i optimizatsii parametrov transportnykh sistem karerov [Energy principle of estimation and optimization of the parameters of quarry transport systems]. *Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Uralskaya Gornaya Shkola – Regionam* [International Scientific and Practical Conference Ural Mountain School – Regions]. Yekaterinburg, URSMU Publ. house, 2016. pp. 417–418.
92. Gromov E.V. *Povyshenie effektivnosti razrabotki mestorozhdeniy bednykh rud v usloviyakh ekologicheskikh ogranicheniy (na primere apatit-nefelinovogo mestorozhdeniya «Partomchorr»)*. Dis. Kand. nauk [Improving the efficiency of the development of deposits of poor ores in the conditions of environmental constraints

- (for example, the Partomchorr apatite-nepheline deposit) Cand. Diss.]. Apality, 2016, p. 164.
93. Gavrishev S.E., Kalmykov V.N., Burmistrov K.V., Tomilina N.G., Zalyadnov V.Yu. Otsenka effektivnosti skhem vskrytiya zakonturnykh zapasov s primeneniem karernykh podemnikov [Evaluation of the effectiveness of schemes for the opening of marginal reserves using career lifts]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*, 2014, no. 1, pp. 8–12.
94. Braun T., Hennig A., Lottermoser B.G. The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry. *Journal of Sustainable Mining*, 2017, vol. 16, no. 1, pp. 24–30.
95. Gogotin A.A., Kalmykov V.N., Gavrishev S.E., Burmistrov K.V. *Karerno podemnoe ustroystvo* [Career lift]. Patent RF 186195, 2019.
96. Reliable and cost-effective: thyssenkrupp to deliver conveyor system for new underground copper mine in Mongolia. *Mining World*, 2017, vol. 14, no. 4, pp. 20. Available at <https://www.thyssenkrupp.com/en/newsroom/press-releases/reliable-and-cost-effective--thyssenkrupp-to-deliver-conveyor-system-for-new-underground-copper-mine-in-mongolia-1586.html> (accessed 11 June 2019).

Received: 12 March 2020.

Information about the authors

Konstantin V. Burmistrov, Cand. Sc., associate professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Nikita A. Osintsev, Cand. Sc., associate professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University.