ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(11-1):202-212
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.012:004.9:681.3.01 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-202-212

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ «ДВОЙНИКОВ» ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ АТРИБУТИВНОГО НАПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ 3D-МОДЕЛЕЙ В ГГИС

Д.А. Стадник[1], О.З. Габараев[1], Н.М. Стадник[1], К.Л. Григорян[1]
[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), Владикавказ, Россия

Аннотация: В настоящее время горнодобывающие компании все более активно внедряют цифровизацию в свое производство. При этом стоит отметить, что роль стандартов при создании «цифровых рудников» и «шахт будущего» трудно переоценить. Цифровизация и стандартизация являются тесно взаимосвязанными друг с другом процессами. Единственный правильный путь интеграции устройств, информационных систем и цифровых моделей, задействованных на горнодобывающих предприятиях, в первостепенной значимости опирается именно на технические стандарты и регламенты, которые в свою очередь укрепляют основу для интеллектуального цифрового производства в отрасли. Для того, чтобы обеспечить совместимость горно-геологических, горно-технологических и технических параметров, интеллектуальных систем управления и анализа данных, а также взаимодействие различных отделов горнодобывающих предприятий с государственными службами, необходимо создание отраслевых стандартов цифрового производства. Выделены основные этапы процесса создания каркасной модели выемочной камеры в ГГИС, проведен анализ стандартного набора атрибутов каркасных моделей элементов системы подземной разработки месторождений твердых полезных ископаемых (выемочные камеры, очистные забои, технологические единицы, панели, блоки, этажи подготовительные выработки, охранные целики и т. п.) в ГГИС и пользовательских атрибутов, необходимых для формализации технологических 3D-моделей. Предложен регламент атрибутивного наполнения технологических 3D-моделей, созданных в горно-геологических информационных системах, для стандартизации цифрового производства на подземном руднике. Использование подобных регламентов в дальнейшем дает возможность осуществлять государственный анализ проектных 3D-моделей в автоматизированном режиме и предопределяет переход к использованию нормативно-технической документации в электронном виде в составе цифровых «двойников» горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: горно-геологические информационные системы (ГГИС), 3D-моделирование в горной отрасли, цифровой «двойник» горнодобывающего предприятия, атрибуты технологических 3D-моделей в ГГИС, освоение георесурсов рудных месторождений, стандартизация горного цифрового производства.

Для цитирования: *Стадник Д.А., Габараев О.З., Стадник Н.М., Григорян К.Л.* Повышение качества цифровых «двойников» горнодобывающих предприятий на базе стандартизации атрибутивного наполнения технологических 3D-моделей в ГГИС // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11-1. — С. 202–212. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-202-212.

© Д.А. Стадник, О.З. Габараев, Н.М. Стадник, К.Л. Григорян. 2020.

Digital twin quality improvement for mines through standardization of attribute content for 3D GIS-based geotechnical modeling

D.A. Stadnik[1], O.Z. Gabaraev[1], N.M. Stadnik[1], K.L. Grigoryan[1]

[1] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia, e-mail: bezalina60@yandex.ru

Abstract: Currently, mining companies are increasingly implementing digitalization in their production. At the same time, it is worth noting that the role of standards in creating "digital mines" and "mines of the future" is difficult to overestimate. Digitalization and standardization are closely interrelated processes. The only correct way to integrate the devices, information systems and digital models used in mining enterprises is based primarily on technical standards and regulations, which in turn strengthen the Foundation for intelligent digital production in the industry. In order to ensure the compatibility of mining and geological, mining and technological and technical parameters, intelligent management systems and data analysis, as well as the interaction of various departments of mining enterprises with government services, it is necessary to create industry standards for digital production. This article highlights the main stages of the creating process a frame model of the excavation chamber in the GGIS, analyzes the standard set of attributes frame models of element's the underground mining system solid mineral deposits (excavation chambers, treatment faces, technological units, panels, blocks, floors of preparatory workings, security pillars, etc.) in the GGIS and user attributes necessary for formalization of technological 3D models. The rules of attributive filling technological 3D models created in mining and geological information systems for standardization of digital production at an underground mine are proposed. The use of such regulations in the future makes it possible to carry out state analysis of 3D design models in an automated mode, and determines the transition to the use of regulatory and technical documentation in electronic form as part of digital "images" of mining enterprises

Key words: Mining and geological information systems (GGIS), 3D modeling in the mining industry, digital "image" of a mining enterprise, attributes of technological 3D models in GGIS, development of ore deposits's georesources, standardization of mining digital production.

For citation: Stadnik D.A., Gabaraev O.Z., N.M. Stadnik, Grigoryan K.L. Digital twin quality improvement for mines through standardization of attribute content for 3D GIS-based geotechnical modeling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):202-212. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-202-212.

Введение

В настоящее время в отечественной горной промышленности отсутствует единый подход в области цифрового производства на предприятиях отрасли. Крупные российские горные компании активно сотрудничают с австралийским и новозеландским бизнесом, используют его опыт и практику в области цифровизации горных предприятий. Процесс цифровизации рудников или шахт на сегодняшний момент заключается в создании цифрового «двойника» с помощью современных горно-геологических информационных систем (ГГИС) [1, 2]. Уровень детализации и качество создания подобного «двойника» (постоянно действующей цифровой модели горнодобывающего предприятия) зависит от цифровой зрелости компании в использовании инновационных информационных тех-

нологий. Например, в соответствии с проведенными исследованиями флагманом в процессе цифровизации среди горнодобывающих компаний в России является ПАО «ГМК «Норильский никель», который на высоком уровне и успешно использовал современные цифровые технологии для привязки и позиционирования техники и персонала при ведении горных работ, в планировании и диспетчеризации горных работ, моделировании и оптимизации процессов, управлении промышленными активами, использовании ГГИС и т. п. [3].

Формализация ресурсных моделей, в качестве которых выступают 3D-блочные модели месторождений твердых полезных ископаемых, уже не вызывает трудностей у проектировщиков в связи с достаточной научной проработкой вопроса и наличием в составе ГГИС апробированного функционала [4—6]. Однако при дальнейшем развитии цифрового «двойника» горнодобывающего предприятия, как показывает практика, в его состав включают другой вид цифровых объектов технологические 3D-модели. К таким цифровым объектам относятся, например, каркасные модели элементов системы подземной разработки месторождений твердых полезных ископаемых (выемочные камеры, очистные забои, технологические единицы, панели, блоки, этажи, подготовительные выработки, охранные целики и т. п.), которые имеют специфические технологические атрибуты. При формализации технологических 3D-моделей каждое горнодобывающее предприятие опирается только на собственный опыт и мнения экспертов-технологов, которые регламентируют содержание подобных цифровых объектов. Часто встречаются случаи, когда в рамках даже одного горнодобывающего предприятия над созданием его цифрового «двойника» работали несколько проектных институтов [7]. В этом случае интеграция технологических 3D-моделей в состав цифрового «двойника» бывает затруднительной из-за различия в наименовании полей данных, значениях атрибутов моделей и т. п., где зачастую содержатся ошибки, заключающиеся, например, в одинаковых названиях каркасных моделей горных выработок. Ко всему прочему технологические 3D-модели не содержат объектных связей с актуальной нормативно-правовой и регламентирующей документацией [8]. Таким образом, актуальной научной задачей является стандартизация атрибутивного наполнения технологических 3D-моделей на горнодобывающих предприятиях, что обеспечит привязку их к ГОСТам, СНиПам, нормам технологического проектирования и т. п., возможность автоматизированного контроля проектной документации на соответствие государственным требованиям, а также использование подобных цифровых объектов в автоматизированных системах управления производством с целью перехода к безлюдным технологиям освоения георесурсов.

Методика исследования

В работе использовался комплексный метод исследования, включающего критический анализ существующих концепций, системный анализ регламентных документов горнодобывающего предприятия и инструментария ГГИС, а также эксперимент в промышленном масштабе.

Методической основой исследования являются теория статистики использования качественных и количественных характеристик каркасных моделей системы подземной разработки рудного месторождения при под-

готовке технического проекта, методика трехмерного моделирования рудного месторождения в программной среде ГГИС, а также типологический метод, основанный на выявлении однородных атрибутов в различных видах каркасных моделей рудника.

Результаты

Формализацию атрибутивного наполнения технологических 3D-моделей горнодобывающего предприятия в ГГИС удобно продемонстрировать на примере создания каркасных моделей элементов системы подземной разработки рудного месторождения (выемочные камеры, подготовительные выработки и охранные целики и др.). Процесс создания каркасной модели выемочной камеры заключается в следующем:

1. Создание стрингов (контуров) выемочной камеры.
2. Построение каркасной модели выемочной камеры по созданным стрингам (контурам).
3. Сохранение цифрового объекта в файл данных с созданием и заполнением атрибутов.

Атрибуты каркасной модели задаются вручную, автоматически при использовании файла шаблона, которым является ранее созданный цифровой объект с наличием необходимых нам атрибутов (рис. 1), либо автоматизированным способом при помощи макросов [9].

При создании трехмерной каркасной модели выемочной камеры определяющим фактором является стандартный набор атрибутов, которые обязательно должны в себе содержать технологические 3D-модели горнодобывающего предприятия. При этом не исключается возможность использования так называемых пользовательских атрибутов, которые призваны нести в себе информацию, необходимую для работы предприятия [10—13]

Системный анализ потребностей проектировщиков при формировании атрибутики технологических 3D-моделей горнодобывающего предприятия [12] позволил сформировать минимальный набор атрибутов для каркасных моделей системы подземной разработки рудного месторождения, который указан в табл. 1.

Несмотря на то, что данный набор включает все основные атрибуты, он не является полным и отвечающим требованиям горнодобывающих предприятий [14], а также требованиям, необходимым при оформлении проектной документации [1, 15, 16]. Следовательно, была выявлена необходимость расширить и дополнить атрибутику каркасных

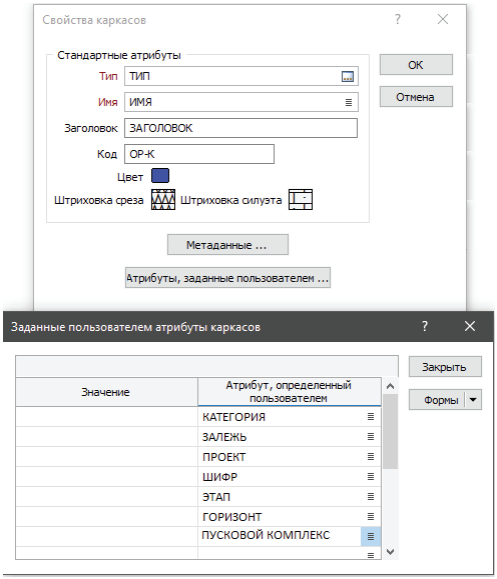


Рис. 1. Создание трехмерной каркасной модели выемочной камеры в ГГИС Micromine для системы подземной разработки рудного месторождения с использованием файла-шаблона

Fig. 1. Creating a three-dimensional frame model of a mining chamber in the MICROMINE GIS for the underground mining system of an ore Deposit using a template file

Таблица 1

Минимальный набор атрибутов каркасных моделей элементов системы подземной разработки рудных месторождений для наполнения технологических 3D-моделей горнодобывающего предприятия в ГГИС Micromine

Table 1

Minimum set of attributes for frame models of elements of the underground mining system for filling 3D technological models of a mining enterprise in the MICROMINE GIS

№ п/п	Атрибут	Кем создаётся, название атрибута	Характеристика	Примечание
1	ТИП	Micromine	Название файла.tridb	Наименование каркасных моделей должны соответствовать названиям, указанных на иных графических и текстовых материалах, включающих эти горные выработки. При наименовании моделей необходимо исключать пробелы, а также символы, не воспринимаемые операционной системой Windows («/», «\» и т. д.).
2	ИМЯ	Micromine	Название каркасной модели элемента системы подземной разработки рудных месторождений	Соответствует названиям, указанным на иных графических и текстовых материалах, включающих эти горные выработки.
3	ЗАГОЛОВОК	Micromine	Название файла *.tridb	Дублируется из поля ИМЯ
4	КОД	Micromine	ОР_К ГКР/ПП	ОР — очистные работы; ГКР/ПП — горно-капитальные/горно-подготовительные работы
5	ЦВЕТ	Micromine	Цвет каркасной модели элемента системы подземной разработки рудных месторождений	Заполнять не требуется
6	КАТЕГОРИЯ	Автором проекта	АТП	Заполняется стадия проектирования. Например: АТП АТП-актуализация технологических показателей
7	ЗАЛЕЖЬ	Автором проекта	Название залежи	Залежи, рассматриваемые в проектной документации, например: В-О
8	ПРОЕКТ	Автором проекта	Номер проекта	Заполняется согласно номеру проекта, например: 21 — 07 — 06 — 006 — 01

№ п/п	Атрибут	Кем создаётся, название атрибута	Характеристика	Примечание
9	ШИФР	Автором проекта	Шифр проекта	Заполняется согласно шифру проекта, например: РО-ВР-1
10	ЭТАП	Автором проекта	Номер этапа	Заполняется автором проекта в случае наличия выделенных этапов, например: 1
11	ГОРИЗОНТ	Автором проекта	Горизонт проходки горной выработки	Для очистных работ (ОР) заполняется согласно положению выработки, т.е. название залежи, например: В-О
12	ГОД	Автором проекта	Год разработки каркасной модели элемента системы подземной разработки рудных месторождений	Например: 2019
13	ПУСКОВОЙ КОМПЛЕКС	Автором проекта	Указывается пусковой комплекс	Указывается, к какому пусковому комплексу относится выполненная каркасная модель, например: 1 ПК; 2 ПК; 3 ПК и т. д.
14	ПАНЕЛЬ	Автором проекта	Указывается панель	Указывается номер панели, где расположена каркасная модель,например: 10 — 10 панель
15	ЛЕНТА	Автором проекта	Указывается лента	Указывается лента, например: 136
16	ЧАСТЬ ПАНЕЛИ	Автором проекта	Указывается часть панели	При делении панели на части (60 м/60 м) указывается часть панели, где расположена каркасная модель относительно сторон света С/Ю/З/В. Например: С
17	ПОЛОЖЕНИЕ	Автором проекта	Указывается часть ленты	Ц — цельная лента; Н — нижняя часть ленты по разрезу; В — верхняя часть ленты по разрезу, например: Ц
18	УРОВЕНЬ	Автором проекта	Указывается номер подэтажа	0/1/2 — номер подэтажа или рудного тела в ленте. Например: 1
19	ВЫПОЛНЕНИЕ	Автором проекта	Указывается год строительства или отработки	После составления календарного графика отработки указывается год отработки запасов в камере/ленте, например: 2022

моделей элементов системы подземной разработки рудных месторождений системы вспомогательными технологическими атрибутами. К ним стоит отнести:

- разубоживание — как показатель потери качества полезного ископаемого, которое заключается в снижении содержания полезного ископаемого при его добыче по сравнению с его содержанием в балансовых запасах;
- вес руды — как показатель, представляющий собой вес одного кубического метра руды в тоннах в естественном залегании, без нарушений, свойственных рудным месторождениям, пустот и пор [17];
- вес породы — как показатель массы единицы объема породы с учетом пор, трещин и их заполнителей;
- содержание полезных компонентов;
- плотность породы — как показатель массы единицы объема абсолютно сухой породы без учета пор и трещин;
- плотность руды — как показатель минералогического удельного веса, составляющий вес единицы объема руды в плотном ее состоянии, без пор и пустот;
- угол наклона осевой линии рудного тела.

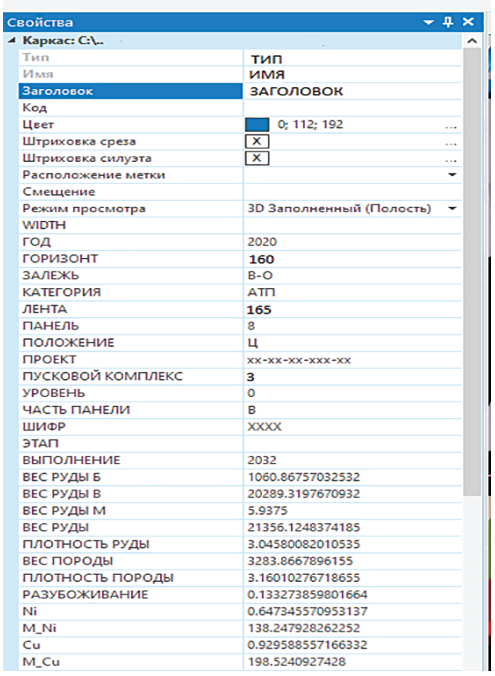
Вышеперечисленные атрибуты необходимы при проведении планирования подземной разработки рудных месторождений и управлении производственными мощностями предприятия [18].

Кроме того, в программных продуктах Micromine и Leapfrog достаточно часто встречаются необходимые для 3D-проектирования и качественной визуализации трехмерных моделей такие атрибуты, как:

- штриховка блочной модели, отражающая в ней уже пройденные выработки и очистные пространства, закладочный материал и др.
- координаты (X; Y; Z), которые привязаны к координатной системе поверхности земли, что позволяет привязать ту или иную модель к определенной точке на земной поверхности.

Следовательно, окончательный регламентный набор атрибутов каркасных моделей системы подземной разработки рудного месторождения будет иметь вид, представленный на рис. 2.

Вышеописанные современные тенденции в проектировании горнодобывающих предприятий были использованы для актуализации цифрового «двойника» в рамках выполнения проектных работ для ПАО «ГМК «Норильский никель» [19] На рис. 3 показан



Свойства

Каркас: C:\...

Тип	ТИП
Имя	ИМЯ
Заголовок	ЗАГОЛОВОК
Код	
Цвет	0; 112; 192
Штриховка среза	X
Штриховка силуэта	X
Расположение метки	
Смещение	
Режим просмотра	3D Заполненный (Полость)
WIDTH	
ГОД	2020
ГОРИЗОНТ	160
ЗАЛЕЖЬ	В-О
КАТЕГОРИЯ	АТП
ЛЕНТА	165
ПАНЕЛЬ	8
ПОЛОЖЕНИЕ	Ц
ПРОЕКТ	xx-xx-xx-xxx-xx
ПУСКОВОЙ КОМПЛЕКС	3
УРОВЕНЬ	0
ЧАСТЬ ПАНЕЛИ	В
ШИФР	XXXX
ЭТАП	
ВЫПОЛНЕНИЕ	2032
ВЕС РУДЫ Б	1060.86757032532
ВЕС РУДЫ В	20289.3197670932
ВЕС РУДЫ М	5.9375
ВЕС РУДЫ	21356.1248374185
ПЛОТНОСТЬ РУДЫ	3.04580082010535
ВЕС ПОРОДЫ	3283.8667896155
ПЛОТНОСТЬ ПОРОДЫ	3.16010276718655
РАЗУБОЖИВАНИЕ	0.133273859801664
Ni	0.647345570953137
M_Ni	138.247928262252
Cu	0.929588557166332
M_Cu	198.5240927428

Рис. 2. Атрибуты каркасных моделей элементов системы подземной разработки рудных месторождений, созданных в ГГИС Micromine с использованием предложенного регламентного набора

Fig. 2. Attributes of frame models of elements of the underground mining system for ore deposits created in the MICROMINE GIS using the proposed regulatory set

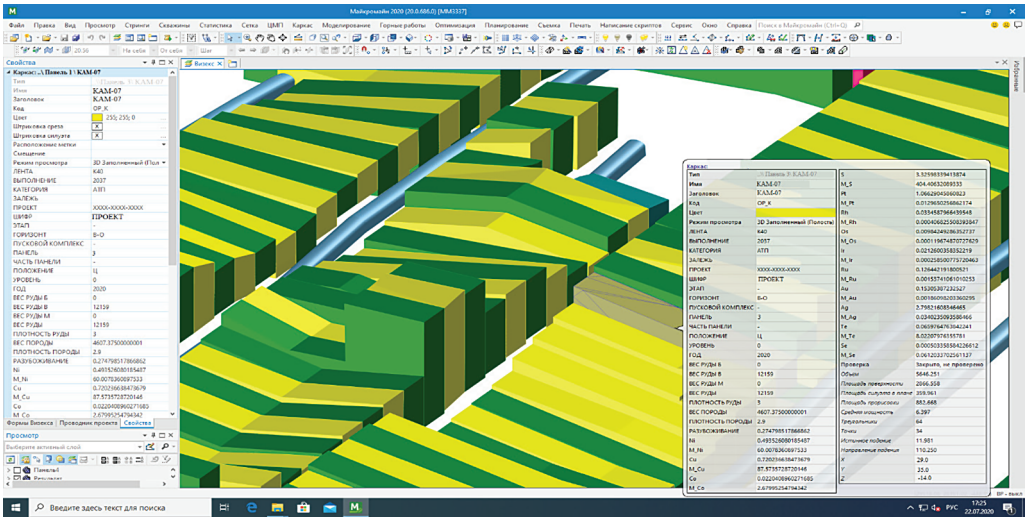


Рис. 3. Фрагмент цифрового «двойника» подземного рудника с регламентированными атрибутами технологических 3D-моделей в ГГИС Micromine
Fig. 3. Fragment of a digital «double» of an underground mine with regulated attributes of technological 3D models in the MICROMINE GIS

фрагмент цифрового «двойника» с регламентированными атрибутами каркасных моделей элементов системы подземной разработки рудного месторождения.

Заключение

Таким образом, разработка подобных регламентов атрибутивного наполнения технологических 3D-моделей, созданных в ГГИС, позволяет стандартизировать сам процесс цифрового производства на подземном руднике, открывает возможности по реализации системы управления требованиями как для использования человеком, так и автоматизированными системами проектирования. Стоит также отметить, что переход горнодобывающих предприятий к цифровизации производства предполагает в скором будущем введение отдельного раздела проектной документации, включающей в себя цифровые модели. Следовательно, составление подобных разделов требует современной нормативно-методической базы для корректного использования ГГИС при создании цифровых «двойников» горнодобывающих предприятий и автоматизированного государственного анализа проектных 3D-моделей, предопределяет переход к использованию нормативно-технической документации в электронном виде в составе цифровых «двойников» горнодобывающих предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клюев, Р.В.* Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы / Р.В. *Клюев, И.И. Босиков, А.В. Майер, О.А.* Гаврина // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — № 2. — Т. 12. — С. 283—290.

2. *Noone, G.* What does the future hold for automation in the mining industry? / G. Noone // World mining frontiers. — 2019. — Т. 2. — С. 18—21.

3. Сайт публикаций сведений о разработках и использовании геоинформационных систем [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://gistechnik.ru (дата обращения: 25.09.2020).

4. *Голик, В.И.* Основа устойчивого развития РСО-Алания — горнодобывающая отрасль / В.И. Голик, Ю.И. Разоренов, К.Г. Каргинов // Устойчивое развитие горных территорий. — 2017. — № 2. — Т. 9. — С. 163—171.

5. *Кузнецов, Ю.Н.* Автоматизированное распознавание геоструктур пластовых месторождений / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник, Б.В. Курцев // Горный журнал. — 2016. — № 2. — С. 86—91.

6. *Golik, V.I.* The provision of development conversion perspectives into undeground one for Russian iron ore deposits development / V.I. Golik, L.. Gabaraev, O.Z. Maslennikov, S.A. Khasheva, Z.M. Shulgaty // The social sciences (Pakistan). — 2016. — № 18. — Т. 11. — С. 4348—4351

7. *Стадник, Н.М.* Основные методические принципы формирования интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений / Н.М. Стадник // Горная промышленность. — 2016. — № 3(127). — С. 73—76.

8. *Стадник, Д.А.* Обоснование функциональных подсистем единой отраслевой системы автоматизированного проектирования угольных шахт / Д.А. Стадник // Уголь. — 2017. — № 10(1099). — С. 52—56.

9. *Клюев, Р.В.* Оценка горно-геологических и горнотехнических условий карьера «Северный» с помощью математических моделей / Р.В. Клюев, И.И. Босиков, Е.В. Егорова, О.А. Гаврина // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — № 3. — С. 418—427.

10. *Голик, В.И.* Обоснование возможности и целесообразности использования хвостов обогащения руд для изготовления твердеющих смесей / В.И. *Голик, В.Г. Лукьянов, З.М.* Хашева // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2015. — № 5. — Т. 326. — С. 6—14.

11. *Голик, В.И.* Отходы обогащения железистых кварцитов как сырье для доизвлечения металлов и использования в качестве закладочных смесей / В.И. *Голик, В.И.* Комащенко // Горный журнал. — 2017. — С. 43—47.

12. *Капутин, Ю.Е.* Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров) / Ю.Е. Капутин. — СПб: Недра, 2004. — 424 с.

13. *Wang, Y.* Coal mine safety production forewarning based on improved BP neural network / Y. Wang, C. Lu, C. Zuo // International Journal of Mining Science and Technology. — 2015. — № 2. — Т. 25. — С. 319—324

14. *Малкин, А.С.* Проектирование шахт: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Технол. и техника разведки полез. ископаемых», «Подзем. разраб. месторождений полез. ископаемых» / А.С. *Малкин, Л.А. Пучков, А.Г. Саламатин, В.М.* Еремеев; под ред. Л.А. Пучкова. — 4-е изд. — М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. — 374 с.

15. *Ан, Т.В.* Оценка надежности системы управления вентиляцией на горнодобывающих объектах / Т.В. Ан, Р.В. Клюев, И.И. Босиков, Б.С. Цидаев // Устойчивое развитие горных территорий. — 2018. — № 1. — Т. 10. — С. 117—124.

16. *Groshong, R.H.* 3-D structural geology: A practical guide to quantitative surface and subsurface map interpretation / R.H. Groshong. — Springer Berlin Heidelberg, 2006. — 400 с.

17. *Копылов, А.С.* Повышение устойчивости выпускных воронок при изменении фракционного состава выпускаемой руды / А.С. Копылов // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — № 4. — Т. 11. — С. 535—546.

18. *Габараев, О.З.* Закономерности взаимодействия разрушенных геоматериалов и рудовмещающего массива при отработке подработанных вкрапленных руд /

О.З. *Габараев, Ю.В. Дмитрак, К. Дребенштедт, В.И.* Савелков // Устойчивое развитие горных территорий. — 2017. — № 4. — Т. 9. — С. 406—413.

19. *Petitjean, F.* Skopus: Mining top-k sequential patterns under leverage / F. *Petitjean, T. Li, N. Tatti, G.I.* Webb // Data Mining and Knowledge Discovery. — 2016. — № 5. — Т. 30. — С. 1086—1111. ГИАБ

REFERENCES

1. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Majer A.V., Gavrina O.A. Complex analysis of the use of effective technologies to improve the sustainable development of the natural and technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020. no. 2. T. 12. pp. 283—290. [In Russ]

2. Noone, G. What does the future hold for automation in the mining industry? World mining frontiers. 2019. T. 2. C. 18—21. [In Russ]

3. Sajt publikacij svedenij o razrabotkah i ispol'zovanii geoinformacionnyh sistem [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://gistechnik.ru (data obrashcheniya: 25.09.2020). [In Russ]

4. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Karginov K.G. Basis of sustainable development of the RSO-Alania-mining industry. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. no. 2. T. 9. pp. 163—171. [In Russ]

5. Kuznecov Yu.N., Stadnik D.A., Stadnik N.M., Kurcev B.V. Automated detection of structures of bedded deposits. *Gornyj zhurnal*. 2016. no. 2. pp. 86—91. [In Russ]

6. Golik V.I., Gabaraev L., Maslennikov O.Z., Khasheva S.A., Shulgaty Z.M.. The provision of development conversion perspectives into undeground one for Russian ironproviding prospects for conversion of development to underground for the development of Russian iron ore deposits. *The social sciences (Pakistan)*. 2016. no. 18. T. 11. pp. 4348—4351 [In Russ]

7. Stadnik N.M. Basic methodological principles for the formation of an integrated geoinformation base for forecasting and evaluating coal reserves . *Gornaya promyshlennost'*. 2016. no. 3(127). pp. 73—76. [In Russ]

8. Stadnik, D.A. Justification of functional subsystems of the unified industry system of automated design of coal mines. *Ugol'*. 2017. no. 10(1099). pp. 52—56. [In Russ]

9. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Egorova E.V., Gavrina O.A. Mining and Evaluation of geological and mining conditions of the Severny quarry using mathematical models. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020. no. 3. pp. 418—427. [In Russ]

10. Golik V.I., Luk'yanov V.G., Hasheva Z.M. Justification of the possibility and feasibility of using ore dressing tailings for the manufacture of hardening mixtures. *Izvestiya tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2015. no. 5. T. 326. pp. 6—14. [In Russ]

11. Golik V.I., Komashchenko V.I. Waste of ferruginous quartzite enrichment as a raw material for metal recovery and use as filling mixtures. *Gornyj zhurnal*. 2017. pp. 43—47. [In Russ]

12. Kaputin, Yu.E. *Informacionnye tekhnologii planirovaniya gornyh rabot (dlya gornyh inzhenerov)* [Information technologies for planning mining operations (for mining engineers)]. Saint-Petersburg: Nedra, 2004. 424 p. [In Russ]

13. Wang, Y. Coal mine safety production forewarning based on improved BP neural network / Y. Wang, C. Lu, C. Zuo. International Journal of Mining Science and Technology. 2015. no. 2. T. 25. C. 319—324.

14. Malkin A.S., Puchkov L.A., Salamatin A.G., Eremeev V.M.; pod red. Puchkova L.A. *Proektirovanie shaht: ucheb. dlya studentov vuzov, obuchayushchihsya po special'nostyam «Tekhnol. i tekhnika razvedki polez. iskopaemyh», «Podzem. razrab. mestorozhdenij polez. iskopaemyh»* [Design of mines: textbook. for University students

studying in the specialty «Technol. and the technique of intelligence is useful. resources», «Underground. conver. he got up. fossils»]. 4-e izd. Moscow: Izd-vo Akademii gornyh nauk, 2000. 374 p. [In Russ]

15. An T.V., Klyuev R.V., Bosikov I.I., Cidaev B.S. Evaluation of the reliability of the ventilation control system at mining facilities. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. no. 1. T. 10. pp. 117 — 124. [In Russ]

16. Groshong, R.H. 3-D structural geology: A practical guide to quantitative surface and subsurface map interpretation / R.H. Groshong. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 400 p.

17. Kopylov, A.S. Increasing the stability of exhaust funnels when changing the fractional composition of the produced ore. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. no. 4. T. 11. pp. 535 — 546. [In Russ]

18. Gabaraev O.Z., Dmitrak Yu.V., Drebenshtedt K., Savelkov V.I. Regularities of interaction of destroyed geomaterials and ore-containing massif during mining of interspersed ores. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. no. 4. T. 9. pp. 406 — 413. [In Russ]

19. Petitjean, F. Skopus: Mining top-k sequential patterns under leverage / F. Petitjean, T. Li, N. Tatti, G.I. Webb. Data Mining and Knowledge Discovery. 2016. no. 5. T. 30. pp. 1086 — 1111.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Стадник Денис Анатольевич[1] — докт. техн. наук, профессор кафедры «Горное дело» sined777@yandex.ru;
Габараев Олег Знаурович[1] — докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Горное дело», gabaraev59@mail.ru;
Стадник Нино Мамукаевна[1] — канд. техн. наук, доцент кафедры «Горное дело» Kun17@yandex.ru;
Григорян Константин Левонович — студент 6 курса Горно-Металлургического Факультета;
[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, Владикавказ, ул. Космонавта Николаева 44, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Stadnik D.A.[1], Dr. Sci. (Eng.), professor of mining Department;
Gabaraev O.Z.[1], Dr. Sci. *(Eng.)*, professor, head of the mining Department;
Stadnik N.M.[1], Cand. Sci. (Eng.), associate professor of mining Department;
Grigoryan K.L.[1], 6th level student;
[1]North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), 362021, Vladikavkaz, Russia.

Получена редакцией 02.07.2020; получена после рецензии 04.09.2020; принята к печати 10.10.2020.
Received by the editors 02.07.2020; received after the review 04.09.2020; accepted for printing 10.10.2020.