

УДК 622:004.9

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В ПАО «ППГХО им. Е. П. СЛАВСКОГО»



Л. И. БАХАРЕВА¹,
начальник Управления обеспечения горных работ
ЦНИП



М. Н. СЕРЕДИНА¹,
начальник Отдела геоинформационных систем
и технологий ЦНИП



О. В. НАГОВИЦЫН²,
зам. директора по научной работе, д-р техн. наук,
o.nagovitsyn@ksc.ru

¹ ПАО «ППГХО им. Е. П. Славского», Краснокаменск, Россия

² Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

Введение

Исторически добыча твердых полезных ископаемых в мировом масштабе не является передовой в области применения цифровых технологий. Так, согласно индексу цифрового ускорения BCG (DAI), металлургический и горнодобывающий сектора примерно на 30–40 % менее развиты в цифровом плане, чем сопоставимые отрасли, такие как автомобилестроение или химическая промышленность [1, 2]. Несмотря на то, что Россия является мировым лидером по числу проектов цифровой трансформации в горнодобывающей отрасли [3], большая их часть основана на использовании зарубежных технологий. Однако в Российской Федерации имеются и собственные цифровые решения для горнодобывающей промышленности. Одним из положительных примеров применения отечественных цифровых технологий является внедрение горно-геологической информационной системы (ГГИС) «Майнфрэйм» на рудниках ПАО «ППГХО».

Каждое горнодобывающее предприятие ввиду особенностей геологического строения разрабатываемого массива, возможностей применения тех или иных видов горнотранспортного

Обрисованы процессы, проблемы и решения, сопутствующие внедрению программных средств горно-геологической информационной системы «Майнфрэйм» на предприятиях ПАО «ППГХО». В процессе внедрения системы сформирована и оперативно пополняется цифровая модель рудного поля, включающая модели рудных тел, тектонических нарушений, комплекса подземных горных выработок, закладочного массива, объектов поверхностной инфраструктуры, карьера и отвалов. Отечественная система «Майнфрэйм» выбрана в качестве рабочего инструмента ввиду наличия развитого функционала геологического моделирования, маркшейдерии и горной технологии.

Ключевые слова: ППГХО, горно-геологическая информационная система, рудник, моделирование, цифровизация, автоматизация, маркшейдерия, геология

DOI: 10.17580/gzh.2023.07.13

оборудования, специфики реализуемых систем разработки и инженерного обслуживания горных работ, в том числе методов отбора проб, маркшейдерского обеспечения, определения кондиций полезного ископаемого, по-своему уникально [4, 5]. Особенно ярко это проявляется на рудниках ПАО «ППГХО», разрабатывающих урановые месторождения со сложной морфологией рудных тел, удароопасных, с применением дорогостоящих технологий добычи полезного ископаемого и погашения выработанного пространства [6, 7]. В таких условиях автоматизация и цифровизация рабочих процессов стали целью и ключевым инструментом в достижении высокой эффективности производства [8, 9].

Для повышения эффективности горнодобывающего производства необходим единый подход к цифровой трансформации, основанный на тесной интеграции цифровых моделей геологической среды, технологических объектов, горного оборудования, процессов планирования и управления горными работами и реализующий общие принципы использования накопленных данных во всей цепочке формирования ценности товарного продукта [10].

Когда возникла потребность в выборе основной ГГИС предприятия, необходимо было проанализировать рынок отечественного и зарубежного программного обеспечения (ПО) для горных предприятий и оценить готовность и возможность их адаптации к условиям конкретного предприятия. Тогда базовые инструменты и алгоритмы таких систем не отвечали данному требованию, а также предполагали внесение большего числа данных с бумажных носителей, что существенно ограничивало

возможности планирования, проектирования и инженерного сопровождения горных работ. Чтобы повысить качество инженерного сопровождения и обеспечить комплексное взаимодействие служб предприятия в условиях применения уникальных методов инженерного обслуживания, требовались значительная доработка существующих и создание новых специальных инструментов.

Выбор был сделан в пользу программного комплекса «Майнфрэйм», разработанного Горным институтом Кольского научного центра РАН [11, 12]. Такое решение для цифровизации геолого-маркшейдерских работ в ПАО «ППГХО» было обусловлено несколькими приоритетными направлениями: наличием русифицированного интерфейса; прямым контактом с разработчиками ПО в части технического сопровождения; доступностью индивидуальной доработки продукта под нужды предприятия. Также при развитии функционале ГГИС имела относительно невысокую стоимость [13].

Внедрение ГГИС и основные достижения

Начиная с 2006 г. предприятием пройден путь от приобретения первых 30 лицензий до промышленного внедрения ГГИС. Процесс сопровождался модернизацией рабочих мест специалистов маркшейдерских, геологических и проектно-технических отделов. Для обеспечения методического и технического сопровождения работ по внедрению и поддержке работоспособности системы «Майнфрэйм» был организован Отдел геоинформационных систем и технологий (ГИСИТ). В рамках подготовки к внедрению были созданы технологическая и геологическая базы данных (БД) по каждому подразделению, проведена апробация инструментов и модулей системы, разработаны первые рабочие методики и программы обучения пользователей.

Процесс промышленного внедрения системы «Майнфрэйм» был начат в 2007 г. на бурогольном разрезе «Уртуйский». С 2013 г. начались работы по промышленному внедрению системы в подразделениях Шахтопроходческого управления и подземного рудника № 8 [14]. С 2016 г. начато внедрение системы на руднике № 1 [15].

Были проведены комплексные работы по созданию горно-технологической модели Стрельцовского рудного поля с объединением в рамках этой модели всей значимой геологической, геомеханической и горно-технологической информации. В качестве пилотного было выбрано месторождение Антей. Модель учитывала основные горно-геологические и горнотехнические факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние массива пород в окрестности данного месторождения. Для обеспечения достоверных результатов расчетного поля напряжений применяли методику последовательных приближений, в основу которой положено трехмерное численное моделирование поля напряжений на нескольких масштабных уровнях. Расчеты выполняли методом конечных элементов в объемной постановке с использованием программного комплекса Sigma GT, разработанного в Горном институте КНЦ РАН [16, 17].



Рис. 1. Функции и задачи Отдела геоинформационных систем и технологий

Силами отдела ГИСИТ проводили обучение ключевых специалистов (маркшейдеров, геологов, инженеров), осуществляли сопровождение БД и проверку качества исходных данных, выполняли контроль решения задач по моделированию и актуализации моделей объектов горной технологии и геологии, соблюдения методик работы с инструментами ГГИС «Майнфрэйм» (рис. 1).

В результате подготовки и промышленного внедрения системы сформирована геолого-математическая модель (ГММ) рудного поля, несущая информацию о пространственном расположении подземных горных выработок, объемах проходки и качестве руды в том или ином забое. Все данные собирают на единый сервер и обновляют в режиме реального времени. Гибкость и открытость системы помогает оперативно принимать решения при анализе и прогнозе освоения месторождения, геологическом моделировании и планировании горных работ.

Используют три модуля ГГИС «Майнфрэйм» – GeoTech-3D, GeoTools, GeoUsers. Первый отвечает за формирование технологической БД путем моделирования объектов горной технологии, второй – геологической БД посредством внесения табличных данных по гамма-опробованию горных выработок и скважин, третий осуществляет обслуживание БД и управление правами пользователей.

Первое время формирование геологических баз данных выполняли через ручной ввод с накопленной бумажной документации (полевых журналов, журналов опробования и графических материалов). Также были импортированы табличные данные скважинного опробования, сформированные ОСП «Иркутск» ЗАО «Русбурмаш». В настоящее время базы геологических данных оперативно и непрерывно пополняют инженеры отдела ГИСИТ путем загрузки файлов обработанных полевых данных, полученных с приборов γ -каротажа и γ -опробования горных выработок [18, 19]. Для этих целей используют инструмент «Оперативное опробование», разработанный согласно принятым на предприятии методикам

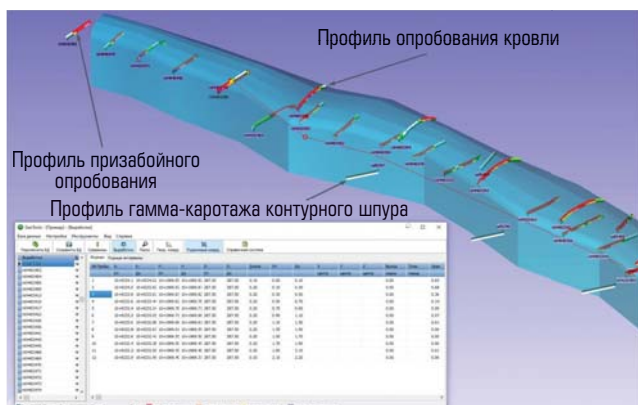


Рис. 2. Табличное представление профилей опробования и их визуализация в трехмерном пространстве

получения и обработки геолого-геофизической информации. Загрузка профилей происходит непосредственно в трехмерном пространстве модуля GeoTech-3D с увязкой и корректировкой в пространстве с фактическим положением выработок (рис. 2). Также проведена большая работа по адаптации расчета объединенных интервалов в соответствии с утвержденными в ПАО «ППГХО» условиями. На сегодняшний день геологическая БД подземных рудников содержит около 110 тыс. скважин и 150 тыс. профилей опробования.

Создание технологических БД на первоначальном этапе осуществляли путем векторизации бумажной документации. Затем по мере разработки и модернизации инструментов добавили более простой и быстрый способ ввода непосредственно полевых данных в программу. В настоящее время большая часть основных объектов системы разработки на рудниках оцифрована. БД оперативно пополняют результатами текущих маркшейдерских съемок, рудные тела актуализируют по результатам оперативного опробования, осуществляют моделирование закладочного массива, тектонических нарушений, горных пород, планирование горных работ и проектирование объектов горной технологии (рис. 3). Векторизацию бумажной документации почти не используют, за исключением случаев, когда существует необходимость пополнения архивных данных, например по недействующим рудникам.

Модель Уртуйского разреза пополняют по мере выполнения эксплуатационной разведки угольного пласта геологической службой, а также данными специалистов планово-технического отдела и результатами маркшейдерской съемки (рис. 4).

Трехмерные модели подземных горных выработок в настоящее время строят силами специалистов маркшейдерских отделов рудников по результатам маркшейдерских съемок. Они представляют собой набор упорядоченных сечений, на основе которых методом триангуляции создают каркасную модель. Доработка ПО в части создания моделей таких объектов в соответствии с принятой методикой маркшейдерских



Рис. 3. Фрагмент технологической БД рудника в трехмерном представлении

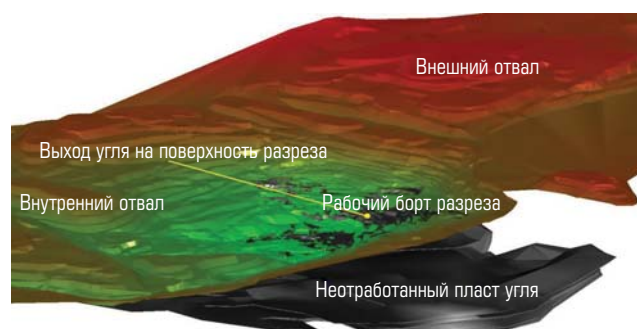


Рис. 4. Фрагмент модели угольного разреза

съемок в шахте стала одной из первых и значительных и позволила строить модели выработок сразу в системе, без предварительного нанесения на бумажные носители. Таким образом, было сокращено время на обработку полевых данных и повышена точность определения основных геометрических параметров выработки либо ее частей. Для формирования отчетов о выполнении плана горных работ за календарный период разработан инструмент «Маркшейдерский замер».

Разработку месторождений в ПАО «ППГХО» ведут нисходящими горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Именно для этого способа погашения в системе был разработан модуль «Твердеющая закладка», позволяющий как планировать фронт закладочных работ в эксплуатационных блоках, так и осуществлять моделирование фактического положения искусственного массива (рис. 5), с автоматизированным расчетом параметров и характеристик секций, формированием документации по утвержденным на предприятии шаблонам.

Для моделирования объектов геологической среды, горной технологии и различного рода поверхностей используют каркасные конструкции, а для моделирования изменчивости характеристик полезного ископаемого – блочные [20]. Каркасные модели рудных тел создают на основе информации, содержащейся в геологической БД, путем оконтуривания рудных интервалов в трехмерной среде по принятым на предприятии методикам. Контуры увязывают между собой каркасными

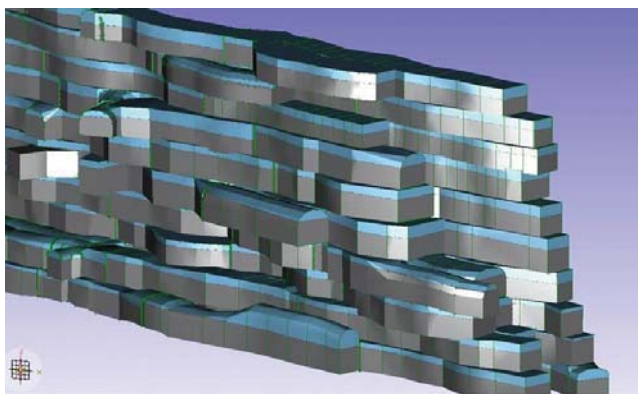


Рис. 5. Формирование закладочного массива

моделями, что обеспечивает возможность экспорта объектов в универсальные форматы для работы с другими программными продуктами, применяемыми в ПАО «ППГХО». Данные модели в совокупности с рудными интервалами позволяют оперативно выполнять расчеты количественных и качественных показателей руды, определять содержание урана и попутных компонентов, используя доступный объем структурированной по блокам, секциям и слоям информации. На каждом подземном руднике в геологических отделах ведут планомерную работу по трехмерному моделированию рудных тел.

На основе каркасов рудных тел создают блочные модели. Они позволяют моделировать пространственное распределение содержаний на основе точечных и интервальных данных, используя интерполированные значения в блоках. После выполнения геостатистических расчетов и интерполяции появляется возможность рассчитывать запасы как в целом по рудному телу, так и по выемочным единицам. Визуализация моделей наглядно показывает распределение урана в блочной модели (рис. 6). Высокую достоверность расчетов

обеспечивает соблюдение двух условий – достаточность и равномерность проведения эксплуатационно-разведочных работ.

Горные работы планируют на основе актуализированных моделей рудных тел, геологической БД и фактического положения выработанного пространства. Формирование направленной очистной добычи опирается на фактические значения рудных интервалов профилей опробования и скважин в примыкающих выработках и целике. Инструменты позволяют осуществлять выборку необходимых данных, рассчитать количественные и качественные показатели добываемой руды. Реализованы различные варианты использования наборов опробования и расчета содержания урана в очистных заходках.

Выпуск проектов для горно-капитальных, горно-подготовительных и очистных работ с целью обеспечения производства осуществляется на основах, созданных специалистами отдела ГИСиТ, которые консолидируют информацию, составляют и согласовывают с главными специалистами ПАО «ППГХО» графическую документацию с дальнейшей передачей в Отдел горного проектирования.

Единая информационная среда для ведения работ основными инженерными службами ПАО «ППГХО» позволяет работать с актуальными данными и обеспечить их оперативное обновление, исключить дублирование информации, визуализировать объекты горной технологии, осуществлять выпуск графической документации каждым пользователем. Сейчас технологическая БД насчитывает около 80 тыс. объектов, относящихся к различным подразделениям в общей иерархии организационной и технологической структур предприятия.

Администрирование БД и управление многопользовательским режимом осуществляют инструментами модуля GeoUsers. Всю информацию размещают на специально выделенных серверах, где обеспечивается ее хранение и резервное копирование. Объем рабочих БД составляет около 200 Гб без учета резервных копий. Основными группами пользователей

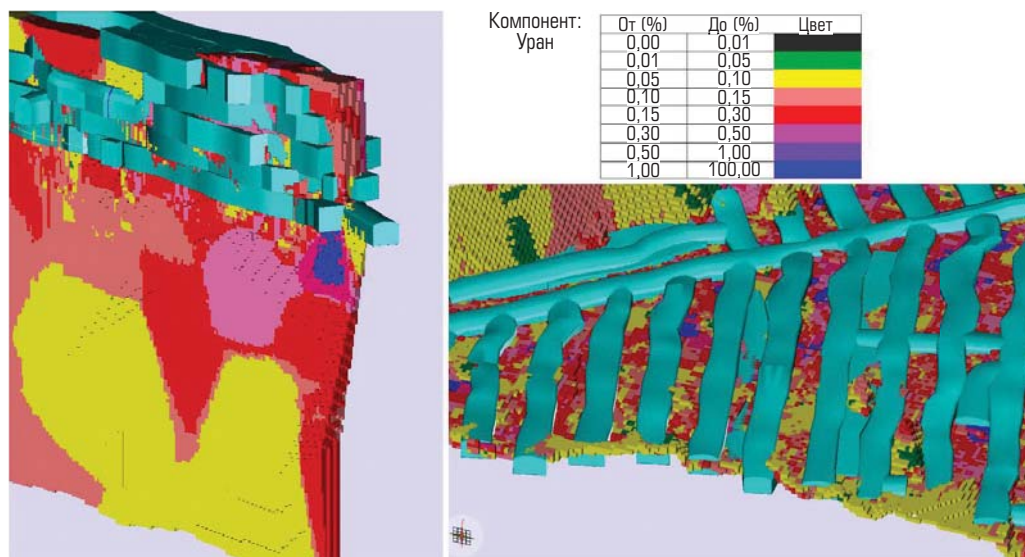


Рис. 6. Блочные модели рудных тел крутопадающего и пологого залегания

являются геологи, маркшейдеры и технологи, для которых предусмотрено разделение прав доступа на редактирование и просмотр данных согласно их специализации. Сейчас численность специалистов, задействованных в работе с ГГИС, составляет приблизительно 100 человек.

Для обеспечения работы в едином цифровом пространстве нескольких десятков специалистов, с целью регулирования бизнес-процесса технического и инженерного сопровождения горных работ в подразделениях ПАО «ППГХО» инструментами системы «Майнфрэйм» были разработаны регламенты взаимодействия между инженерными службами предприятия. Ключевые задачи включают формирование, поддержание и актуализацию БД автоматизированной системы сопровождения горного производства, рабочего проектирования горно-подготовительных и очистных работ на основе каркасных моделей геологических ресурсов рудных тел для отдельных геологических блоков, а также контроль эффективности выполнения горных работ по утвержденным проектам.

Для эффективной работы и комплексного взаимодействия пользователей системы «Майнфрэйм» в условиях применения уникальных методов инженерного обеспечения потребовались как доработка существующих инструментов, так и создание новых уникальных модулей специально для ПАО «ППГХО». С начала апробации системы, а также в процессе внедрения решено около 500 задач по доработке инструментов системы с целью их адаптации к условиям работы предприятия. По техническим заданиям разработаны, опробованы и внедрены три крупных модуля: «Оперативное опробование» – для оперативного внесения в БД и пространственной увязки моделей профилей текущего опробования скважин и подземных горных выработок; «Твердеющая закладка» – для моделирования сложной структуры и параметров закладочного массива; «Маркшейдерский замер» – для моделирования выполненных горных работ за отчетный период с возможностью формирования отчетов.

Множество идей и предложений, рациональных технических решений реализовано благодаря совместным усилиям специалистов ПАО «ППГХО» и Горного института КНЦ РАН. Выявление необходимости доработок, составление технических заданий, дальнейшее тестирование и адаптация под условия предприятия, а также промышленное внедрение в производственные процессы осуществляют при непосредственном участии специалистов отдела ГИСиТ. Для ключевых групп пользователей по основному функционалу ПО разработаны методики, индивидуальные файлы настроек, краткие инструкции, отработаны схемы взаимодействия и обмена данными. Информацию о работе с обновленными инструментами доводят до пользователей в виде обучающих роликов или путем проведения очного краткосрочного обучения специалистами отдела. По запросам подразделений осуществляют обучение вновь принятых специалистов.

Инженером-программистом отдела ГИСиТ разработана программа по работе с пользовательскими отчетами

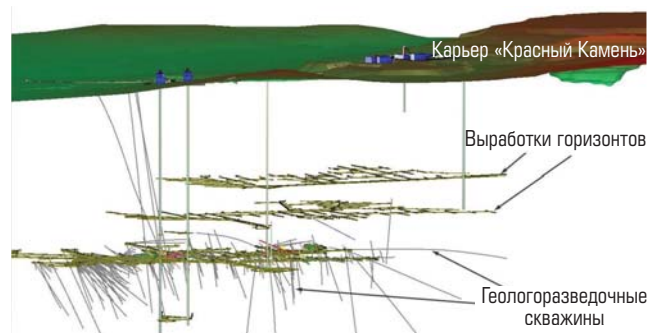


Рис. 7. Подготовка технологической и геологической баз данных ГММ по руднику № 6

и историей данных для сотрудников, не обладающих навыками программирования. В БД модуля GeoUsers накоплено большое число данных об истории создания и корректировки объектов системы «Майнфрэйм». Решена проблема самостоятельного поиска, анализа, выявления ошибочно внесенных или измененных данных по горным работам пользователями в рамках своей специализации. Также разработан отчет по автоматизированному формированию статистических данных активности пользователей.

В настоящее время перед отделом ГИСиТ стоят важнейшие задачи по сбору и цифровизации архивных данных для перспективных направлений разработки урановых месторождений ПАО «ППГХО» с целью предоставления информации для принятия грамотных и взвешенных инженерных решений. Уже формируется геологическая БД для месторождения Широудукой, созданы фактические 3D-модели горно-капитальных, горно-подготовительных и очистных выработок.

Для подземного рудника № 6 (месторождений Жерловое и Аргунское) создана технологическая БД с фактическим пространственным положением горных выработок, а также импортированы каркасы рудных тел (рис. 7). В практике ПАО «ППГХО» не было опыта отработки месторождений силикатных руд, поэтому структуру геологической БД «Майнфрэйм» модифицируют для внесения результатов такого вида опробования.

Заключение


Основная ГГИС предприятия на сегодня насчитывает 89 лицензий на рабочие места различной специализации. В 2023 г. запланирован переход на обновленную версию ПО. Помимо доработки основных процессов и инструментов, в «Майнфрэйм» предусмотрено внедрение виртуальных лицензий, которые будут развернуты на локальном сервере ПАО «ППГХО», что позволит рационализировать доступ пользователей в систему. Предусмотрены обновление автоматизированных мест специалистов, создание дополнительных инструкций и обучающих материалов.

Совместная работа разработчиков ПО и специалистов ПАО «ППГХО» открывает новые возможности для развития

и совершенствования отечественных геоинформационных систем. Это позволит решить задачи импортозамещения и обеспечения технологической независимости страны. При этом следует отметить, что развитие отечественных цифровых технологий — это поддержка не только разработчиков ПО, но и горнодобывающих предприятий, делающих выбор в пользу отечественных решений [13]. Применение современных технологий ГММ обеспечивает специалистов своевременной и качественной информацией для проведения анализа и планирования, а также повышает уровень безопасности горных

работ. Накопленный опыт создания ГГИС в ПАО «ППГХО» открывает возможности для комплексного решения задач геотехнологии и разработки цифровых моделей, обеспечивающих технологический суверенитет страны в области добычи стратегически важного минерального сырья.

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 7, pp. 79–84
DOI: 10.17580/gzh.2023.07.13

Advanced digital technologies in mining engineering at E. P. Slavsky PIMCU

Information about authors

L. I. Bakhareva¹, Head of Mining Operations Management at Central Research Laboratory

M. N. Seredina¹, Head of Geoinformation Systems and Technologies Department at Central Research Laboratory

O. V. Nagovitsyn², Deputy Director of Science, Doctor of Engineering Sciences, o.nagovitsyn@ksc.ru

¹E. P. Slavsky PIMCU, Krasnokamensk, Russia

²Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract

The article describes the processes, problems and solutions that accompany introduction of mining and geology information system MINEFRAME at mines of PIMCU. The stage-wise introduction began in 2006 and involved a number of underground uranium mines and an open pit coal mine. The preconditions for introduction of digital technologies were the necessity of mining efficiency enhancement in difficult geological conditions, the rockburst hazard, and the expensiveness and complexity of a mining technology with top-downward cut-and-fill. The selected digital tool MINEFRAME possesses a mature functional for geological modeling, surveying and mining engineering. This domestic software product solves the problem connected with import substitution in the critical sector of industry—solid mineral mining.

While introducing the mining and geology information system, a digital model of the mine field is constructed and updated in real time, including ore bodies, tectonic faults, the set of underground openings, backfill, surface infrastructure facilities, open pit and dumps. A modeling framework is being prepared for planning mining operations and for designing objects of underground and open pit mining.

The specially developed procedure rules of interaction between engineering services provide operation of several dozen specialists in a single digital space. The engineering services perform formation, upkeep and updating of data bases, detailed design of heading and stoping operations using frame and block models of geological objects, as well as control of mining efficiency in conformity with the approved projects.

Keywords: PIMCU, mining and geology information system, mine, modeling, digitalization, automation, surveying, geology.

References

1. Amit Ganeriwalla, Saurabh Harnathka, Voigt N. Racing Toward a Digital Future in Metals and Mining. 2021. Available at: <https://www.bcg.com/publications/2021/adopting-a-digital-strategy-in-the-metals-and-mining-industry> (accessed: 26.12.2022).
2. Barnewold L. Digital technology trends and their implementation in the mining industry. *Mining Goes Digital : Proceedings of the 39th International Symposium "Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry". Proceedings in Earth and Geosciences Series*. London : Taylor & Francis Group, 2019. Vol. 3. pp. 9–16.
3. Mining Magazine Intelligence Digitalisation : Report 2021. London : Aspermot Media, 2021. 141 p.

4. Sidorov D. V., Potapchuk M. I., Sidlyar A. V. Forecasting Rock Burst Hazard of Tectonically Disturbed Ore Massif at the Deep Horizons of Nikolaevskoe Polymetalliferous Deposit. *Journal of Mining Institute*. 2018. Vol. 234. pp. 604–611.
5. Trushko V. L., Protosenya A. G. Prospects of Geomechanics Development in the Context of New Technological Paradigm. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 236. pp. 162–166.
6. Shabarov A. N., Rasskazov I. Yu., Filinkov A. A. et al. Indications for safe mining operations at the rock bump hazardous Antei deposit. Saint-Petersburg : Izdatelstvo SPbGGI, 2008. 71 p.
7. Laverov N. P., Petrov V. A., Poluektov V. V., Nasimov R. M., Hammer J. et al. The Antei Uranium Deposit: A Natural Analogue of an SNF Repository and an Underground Geodynamic Laboratory in Granite. *Geology of Ore Deposits*. 2008. Vol. 50, No. 5. pp. 339–361.
8. Günther F., Mischo H., Löscher R., Grehl S., Güth F. Increased safety in deep mining with IoT and autonomous robots. *Mining Goes Digital Proceedings of the 39th International Symposium "Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry". Proceedings in Earth and Geosciences Series*. London : Taylor & Francis Group, 2019. Vol. 3. pp. 603–611.
9. Hollis B., White J. A golden age for optimization in the mining industry. *Mining Geology 2019 : Proceedings of the 11th International Mining Geology Conference 2019*. Perth, 2019. p. 409.
10. Chandramohan R., Pyle M., Byfield R., Whittering R. Value-driven optimisation using integrated technology solutions. *Future Mining 2019 : The 4th International Future Mining Conference 2019*. Sydney, 2019. pp. 193–197.
11. Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V. Digital transformation and technological independence of the mining industry. *Gornaya promyshlennost*. 2022. No. 5. pp. 74–78.
12. Lukichev S. V. (Ed.). Theory and application of digital technologies in the mining industry. Apatity : Izdatelstvo FITS KNTs RAN, 2019. 192 p.
13. Lukichev S. V. Domestic software development—The solution to both import substitution and technological independence of the country. *Gornaya promyshlennost*. 2022. No. 2. pp. 12–14.
14. Prosekin B. A., Ilin E. A., Tolstobrov V. A. Introduction of computer technologies for the mining operations modeling at "Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union" JSC. *Gornyi Zhurnal*. 2013. No. 8-2. pp. 14–18.
15. Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V., Ilin E. A., Rudin R. S. Digital technologies for sustainable engineering in mining — The first step towards a "smart mine". *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 7. pp. 86–90.
16. Kozyrev A. A., Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V., Semenova I. E. Technological and geomechanical modelling for mining safety improvement. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry : Proceedings of the 37th International Symposium (APCOM 2015)*. Fairbanks, 2015. pp. 411–419.
17. Kozyrev A. A., Semenova I. E., Avetisyan I. M. Development of numerical geomechanical model of Antey deposit as a base of rock mass stress–strain state forecasting. *GIAB*. 2014. No. 4. pp. 33–40.
18. Tirskey A. V., Bakharev Yu. V., Lebedev V. V. Geological and geophysical support of production at "Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union" JSC. *Gornyi Zhurnal*. 2013. No. 8-2. pp. 6–8.
19. Bakharev Yu. V., Lebedev V. V., Lavrentiev O. V. Geophysical maintenance of production at Priargunsky Mining and Chemical Works. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 7. pp. 13–16.
20. Lukichev S. V. Digital past, present, and future of mining industry. *Gornaya promyshlennost*. 2021. No. 4. pp. 73–79.