

УДК 622.1:004.94

## ОБЗОР ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Гринблат Д. А., аспирант, группа ГМа-221, II курс  
Научный руководитель: Михайлова Т. В., к.т.н., доцент,  
заведующий кафедрой маркшейдерского дела и геологии  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово

В 2011 году в Германии впервые появляется термин «Индустрия 4.0» для обозначения процесса коренного преобразования глобальных цепочек создания стоимости [1]. Четвёртая промышленная революция должна была объединить виртуальные и физические системы производства в одну глобальную с полной интеграцией систем между собой. Теперь цифровые технологии становятся не просто винтиком в системе автоматизации производства, но и базисом нового технологического уклада – цифровой экономикой [2]. Больше невозможно, находясь в современном мире, избежать цифровой трансформации, дающей возможность быстро и эффективно включать материальные инновации в промышленность. За счёт совмещения автоматизации в проектировании с аддитивными технологиями можно просчитать огромное число вариантов и выбрать наиболее экономически эффективную схему производства работ.

В 2020 г. консалтинговой компанией McKinsey было установлено, что с 2004 г. по 2014 г. операционные затраты на предприятиях горнодобывающей отрасли выросли в среднем на 90 % [3]. В связи с этим, переход на цифровые технологии представляет собой возможность компенсации роста издержек. Согласно исследованиям С.В. Лукичёва и О.В. Наговицына [2] усредненные эффекты от цифровизации оцениваются следующими значениями:

- прирост прибыли за счет роста производительности труда и снижения издержек – 10-15 %;
- повышение объема выпуска продукции за счет снижения простоя оборудования – 10-15 %;
- ускорение процесса проектирования, производства и доставки – 100-150 %;
- снижение затрат на проведение натурных испытаний за счет использования цифрового моделирования – 50-70 %;

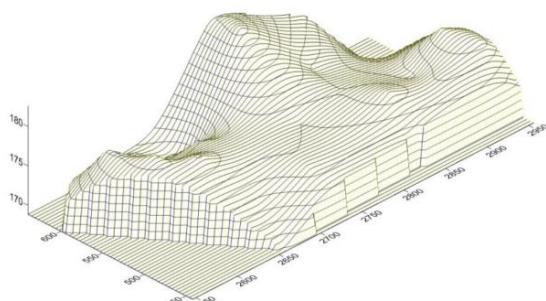
- снижение затрат по всему циклу управления цепочками поставок – 20-30 %;
- снижение затрат за счет совершенствования технологических операций ~30%.

На текущий момент, применительно к горному делу, наиболее актуальными являются две системы: САПР (система автоматизированного проектирования) и ГИС (геоинформационная система). Кроме того, отдельно выделяется особый класс подпрограмм трёхмерных ГИС, называемый горно-геологическими информационными системами (ГГИС). В своём устройстве ГГИС представляют собой систему управления базами данных, оснащённую трёхмерным графическим редактором. В профессиональной литературе ГГИС классифицируют как «программную систему общего назначения для горного предприятия»[4]. Выделяют основные разделы применения программы:

- моделирование горно-геологических данных;
- оценка запасов полезных ископаемых;
- маркшейдерское обеспечение;
- проектирование горных работ.

Программное обеспечение в виде ГГИС является основой для формирования цифрового пространства предприятия, давая возможность оцифровать имеющиеся данные по горному предприятию, чтобы представить объекты и процессы горной технологии в виде цифровых моделей, а в конечном итоге создать цифровой двойник предприятия – совокупность моделей, имеющих связи в on-line режиме со своими реальными прототипами [5].

В основе любой ГГИС положен инструмент моделирования геологической среды. Примеры поэтапного геологического моделирования показаны на рисунках 1–3. Для моделирования геометрии тел полезного ископаемого используется каркасная модель (рис. 1), для моделирования изменчивости характеристик полезного ископаемого – блочная модель (рис. 2). Векторная модель используется для отображения данных в виде графических примитивов (рис. 3).



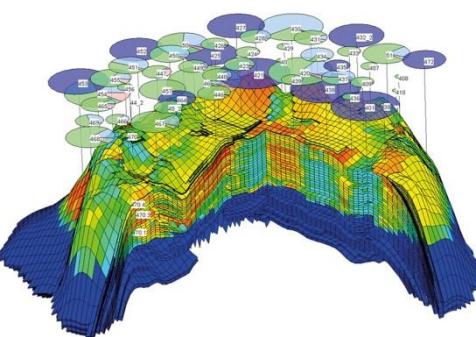


Рисунок 2 – Пример блочной модели



Рисунок 3 – Пример векторной модели

Себестоимость геологоразведочных работ высока, поэтому развитие программных средств геостатистики, используемых в ГГИС, может более точно отразить натурные данные о структуре месторождения.

Другой немаловажной составляющей частью любой ГГИС является инструмент, позволяющий создать модели горных выработок для расчёта технико-экономических показателей при проходке. Также современные ГГИС оснащены модулями для проектирования и планирования горных работ. Немаловажной частью будет являться модуль для обработки данных натурных измерений.

Рассмотрим наиболее популярные решения, предлагаемые сегодня на мировом рынке для разработки твёрдых полезных ископаемых. Таковыми являются линейка программ Carlson Mining, Geovia Surpac, K-Mine, Mircomine, Maptek Vulcan, ArcGIS.

Carlson Mining – линейка продуктов американской компании Carlson Software [6]. Разработчик предоставляет ряд продуктов для автоматизированного проектирования и обработки данных изысканий. Программное обеспечение включает в себя модули для геологического моделирования, планирования и проектирования открытых горных работ, планирования и проектирования подземных горных работ, решения задач маркшейдерской службы, составления схем рекультивации, обработки облаков точек.

Geovia Surpac – самое популярное в мире программное обеспечение из Канады для геологии и планирования горных работ в карьерах и подземных рудниках, а также для поддержки геологоразведочных проектов, которое ис-

пользуется более чем в 120 странах [7]. GEOVIA Surpas представляет собой 8 взаимосвязанных модулей, которые также поддерживают популярные GIS и CAD форматы. Программное обеспечение даёт комплексные инструменты для управления данными скважин, геологического моделирования, блочного моделирования, геостатистики, проектирования шахт, планирования горных работ, оценки ресурсов и других задач.

K-Mine – украинская ГГИС, разработанная под руководством академика Международной академии компьютерных наук и систем В.М. Назаренко, представляющая собой универсальный комплекс с интеграцией с диспетчерскими системами [8]. Главной особенностью ГГИС является сквозное планирование, позволяющее производить мониторинг данные в режиме реального времени, получать актуальную информацию и принимать наиболее эффективные решения. Помимо прочего с помощью ГГИС K-MINE появляется возможность оптимального расчёта нагрузки на технику и оборудование с учётом их технического состояния.

Mircomine – австралийская разработка, предоставляемая программное обеспечение для создания единого информационного пространства на горнодобывающем предприятии. Программно-аппаратный комплекс позволяет параллельно вести работы в едином сетевом пространстве, синхронизировать цифровые модели с актуальными полевыми данными в режиме реального времени, а также вести контроль техники и персонала [9]. Mircomine – универсальный комплекс, главными особенностями которого являются глубокая аналитическая обработка эффективности производимых работ и обработка массивов данных в реальном времени.

Maptek Vulcan – продукт австралийской компании Maptek, предоставляющий возможность 3D-моделирования, пространственного анализа и проектирования [10]. Одна из основных особенностей программы – высокоскоростная работа с большим объемом данных, имеющих много атрибутов. Maptek Vulcan позволяет осуществлять манипуляцию разнородными данными с большим числом атрибутов в одном программно-аппаратном комплексе. ГГИС также даёт возможность хранить базы данных буровых скважин с их наглядной визуализацией, а также отображать геофизические данные.

ArcGIS – комплекс геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI [11]. Продукты ArcGIS распространены крайне широко и применяются для земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, геодезии и недропользования и других областях. Главной особенностью ArcGIS является широкая поддержка кастомных модулей, позволяющих решать практически любую проблему, возникающую при разработке месторождения полезного ископаемого.

Возможность реализации различных модулей вышерассмотренных ГГИС представлена в таблице 1.

Таблица 1  
Реализация модулей зарубежных ГГИС при моделировании месторождений твердых полезных ископаемых

Модуль	Carlson Mining	Geovia Surpac	K-Mine	Mircomine	Maptek Vulcan	ArcGIS
Геология	+	+	+	+	+	+
Маркшейдерия	+	+	+	+	+	+
Проектирование и планирование ОГР	+	+	+	+	+	по заказу
Проектирование и планирование ПГР	+	+	+	+	+	по заказу
Буровзрывные работы	+	+	+	+	+	по заказу
Рекультивация	+	-	-	-	-	по заказу
Геофизика	-	+	-	-	+	-
Геомеханика	-	+	+	+	-	по заказу
Инфраструктура	-	-	+	+	+/-	+
Геостатистика и оценка содержания полезного компонента	-	+	+	+	+	-
Серверный доступ	-	-	+	+	-	+

В отечественной промышленности ещё в 1980-х годах пришли к выводу, что за автоматизированным проектированием горных работ грядут значительные выгоды, поэтому в СССР были реализованы и внедрены несколько информационных систем [2]. К сожалению, распад СССР помешал их развитию, а горные предприятия начали переход в цифровое пространство с использованием иностранного программного обеспечения.

С 1 апреля 2024 года в России вступает в силу закон о запрете госорганам использовать зарубежные системы [12], да и в целом политическая ситуация сложилась таким образом, что иностранные геоинформационные системы использовать рискованно. Часть разработчиков зарубежных ГГИС поддержали санкции и были вынуждены свернуть поддержку своих программных продуктов. В связи с чем, в России возникла благоприятная ситуация для развития отечественных геоинформационных систем, тем более, что единицы отечественных команд разработчиков смогли сформироваться в условиях жёсткой конкуренции [2].

На текущий момент можно выделить три наиболее крупные российские разработки в сфере геоинформационных систем для обслуживания нужд предприятий, занятых добычей твёрдых полезных ископаемых: Геомикс, Mineframe и ГИС Integro. Кроме того, компания «Норникель» по поручению премьер-министра РФ Михаила Мишустина в 2023 году взяла на себя ответственность за создание новых цифровых проектов в рамках импортозамещения для горного производства [12]. Была создана ИТ-компания «Норсофт», взявшая на себя ответственность за разработку следующих проектов: ГГИС –

горно-геологическая информационная система, ГП – горное планирование и ДПГР – диспетчеризация подземных горных работ (под брендом MAGMA).

Ниже приведен обзор имеющихся ГГИС отечественного производства.

ГГИС Геомикс разработана в ОАО ВИОГЕМ (г. Белгород) и предоставляет собой продукт для решения задач горного производства, ведения горной графической документации и документооборота недропользования [13]. Модули данной системы интегрированы в единую информационную среду и полностью охватывают все этапы цикла геолого-маркшейдерских работ на предприятии. Помимо стандартных модулей для моделирования геологии, планирования и оптимизации горных работ, обработки маркшейдерских измерений, ГГИС Геомикс даёт возможность моделирования геомеханического состояния массива горных пород, а также обслуживать буровзрывные работы на карьере. Кроме того, программа предоставляет уникальный модуль «Развал», позволяющий моделировать эксперименты формирования развала после взрывных работ и осуществлять прогноз содержания полезного компонента во взорванной горной массе. Вышеперечисленные возможности ГГИС Геомикс делают его крайне привлекательным продуктом для предприятий, осуществляющих добыву полезных ископаемых открытым способом.

ГГИС Mineframe разработана горным институтом КНЦ РАН (г. Апатиты) и является одной из наиболее перспективных отечественных разработок, предоставляя эффективные цифровые решения для геологии, маркшейдерии, проектирования и планирования горных работ [14]. Mineframe предоставляет инструментальную основу для создания цифровых моделей объектов горной технологии и функциональные инструменты для обеспечения основных горнотехнологических бизнес-процессов при добыче минерального сырья [15]. Единственным слабым местом ГГИС является неразвитый математический аппарат геостатистики, что на текущий момент активно решают сотрудники института. Стоит отметить универсальность Mineframe для предприятий, добывающих полезные ископаемые открытым и подземным способом.

ГИС Integro – программно-технологический комплекс, разработанный во ФГУП ГНЦ РФ ВНИИгеосистем (г. Москва), на текущий момент обслуживающийся отделением Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ» (г. Москва) [16]. Integro не является горно-геологической информационной системой в полном смысле этого слова, но достойна упоминания за свои возможности в геологическом моделировании месторождений. ГИС Integro способна обрабатывать большие массивы информации, поддерживает обработку геохимических, геофизических и маркшейдерских измерений. Отдельного упоминания достойны возможности системы в обработке корреляции между скважинных данных и аналитике прогнозно-диагностических признаков факторов модели.

Анализ научной литературы и популярных решений в области геоинформационных систем показывает, что в рамках четвёртой промышленной революции появились специализированные системы для горнодобывающих предприятий, направленные на автоматизацию управлеченческих решений и контроль процесса добычи полезных ископаемых. Такие системы дают воз-

можность снизить издержки производства за счёт комплексного моделирования геологической среды и производственных процессов, увеличения точности прогноза оценки запасов полезных ископаемых и оптимизации технологических операций при проектировании, планировании горных работ и разработке месторождений.

Сегодняшние зарубежные и отечественные разработки ГГИС способны решать широкий спектр задач для горнодобывающей отрасли. При этом сложившаяся ситуация предопределила перед разработчиками отечественных программных продуктов необходимость дальнейшего развития их решений, в том числе возможность интеграции с системами других разработчиков, а также интеграции информационных данных в единую цифровую систему горного предприятия.

### Список литературы

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо; 2016. 208 с. Режим доступа:  
[http://ncrao.rsvpu.ru/sites/default/files/library/k.\\_shvab\\_chetvertaya\\_promyshlenna ya\\_revoluciya\\_2016.pdf](http://ncrao.rsvpu.ru/sites/default/files/library/k._shvab_chetvertaya_promyshlenna ya_revoluciya_2016.pdf).
2. Лукичёв, С.В. Цифровая трансформация горнодобывающей промышленности: прошлое, настоящее, будущее / С.В. Лукичёв, О.В. Наговицын. – Текст : непосредственный // Горный журнал. – 2020. – №9. – С. 13-18.
3. Canart G., Kowalik L., Moyo M., Raj Kumar Ray. Has global mining productivity reversed course? McKinsey & Company, 2020. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-andmining/our-insights/has-global-mining-productivity-reversed-course> (accessed: 02.06.2020).
4. Самородская М.А., Бородушкин А.Б., Самородский П.Н., Дворецкая Ю.Б., Макаров В.А. Конспект лекций по курсу «ГИС и ГГИС в геологии».
5. Лукичёв, С.В. Цифровое прошлое, настоящее и будущее горнодобывающих предприятий. Горная промышленность. 2021;:73–79. DOI 10.30686/1609-9192-2021-4-73-79.
6. Carlsonsoftware.ru : сайт. – URL: <https://carlsonsoftware.ru/>.
7. Dassault Systèmes Geovia : официальный сайт. – URL: <https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/geovia/produkty/surpac/>.
8. K-mine.com : сайт. – URL: <https://k-mine.com/ru/>.
9. Micromine : официальный сайт – URL: <https://www.micromine.ru/>.
10. ESRI : официальный сайт – URL: <https://www.esri.com/ru-ru/industries/mining/segments/exploration>.
11. РИА новости : [сайт]. – Москва – Обновляется в течение суток. – URL: <https://ria.ru/20230804/putin-1888274228.html>. – Текст : электронный.

12. TAdviser. Государство. Бизнес. Технологии. : [сайт]. – URL:  
<https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Норсофт>. – Текст : электронный.
13. ГЕОМИКС : официальный сайт – URL: <https://geomix.ru/>.
14. MINEFRAME : официальный сайт – URL: <http://mineframe.ru/>.
15. ГИС INTEGRO : официальный сайт – URL : <http://www.gis-integro.ru/integro/>.