

# Проблемы проектирования горнодобывающих предприятий в условиях высокой изменчивости внешней среды

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-8-100-105>

**ПИКАЛОВ В.А.**

Доктор техн. наук,  
начальник отдела  
ООО «НТЦ-Геотехнология»,  
454000, г. Челябинск, Россия,  
e-mail: [info@ustup.ru](mailto:info@ustup.ru)

**СОКОЛОВСКИЙ А.В.**

Доктор техн. наук,  
генеральный директор  
ООО «НТЦ-Геотехнология»,  
454000, г. Челябинск, Россия,  
e-mail: [info@ustup.ru](mailto:info@ustup.ru)

**ТЕРЕШИНА М.А.**

Канд. экон. наук,  
финансовый директор  
ООО «НТЦ-Геотехнология»,  
454000, г. Челябинск, Россия,  
e-mail: [info@ustup.ru](mailto:info@ustup.ru)

Возрастание изменчивости внешней среды функционирования горнодобывающих предприятий и усложнение условий эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых определяют изменение подходов и требований к проектно-исследовательским работам. Возникает противоречие: с одной стороны, необходимы выполнение серьезных предпроектных исследований, проработка стратегии развития предприятия, поиск инновационных решений, обеспечивающих эффективное освоение месторождения, с другой стороны, месторождение должно быть вовлечено в отработку в максимально короткие сроки с целью минимизации срока окупаемости и обеспечения инвестиционной привлекательности. Снятие противоречия обеспечивается балансом между концептуальным проектированием и глубиной проработки проектных решений для поиска вариантов и их оптимизации на разных этапах проектирования в рамках единой концепции с учетом условий и требований будущего. Для снижения рисков на первом этапе проектирования рассматриваются надежные, обоснованные решения, которые не вступают в противоречие с концептуальными. Технически сложные, комбинированные решения принимаются на этапах второй-третьей очередей проектирования, когда уже накоплен опыт освоения месторождения и необходимый объем исходных данных.

**Ключевые слова:** проектирование, комплексное освоение недр, месторождения твердых полезных ископаемых, эффективность разработки, риски освоения.

**Для цитирования:** Пикалов В.А., Соколовский А.В., Терешина М.А. Проблемы проектирования горнодобывающих предприятий в условиях высокой изменчивости внешней среды // Уголь. 2022. № 8. С. 100-105. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-8-100-105.

## ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование подходов к проектированию горнодобывающих предприятий является достаточно актуальным вопросом, обсуждаемым в последние два десятилетия [1]. Возникновение данной дискуссии связано с высокой изменчивостью не только внешней среды функционирования предприятия, но и внутренних условий деятельности. Принятие проектных решений в условиях неопределенности связано с риском финансовых потерь в случае ошибки [2].

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ**

Особенно данный вопрос актуален для новых месторождений, вовлекаемых в отработку, которые, как правило, расположены в удаленных районах на неосвоенной территории в условиях отсутствия инфраструктуры, дефицита энергетики, сложных природно-климатических условиях [3, 4]. Зачастую месторождения расположены в защитных лесах, в охранных зонах рек, вблизи особоохраняемых территорий. Все это предопределяет экологические ограничения, которые должны быть учтены при проектировании в форме серьезной проработки природоохранных мероприятий. Большое внимание уделяется очистке и сбросу промышленных стоков [5, 6, 7].

Кроме того, вновь вовлекаемые месторождения, с одной стороны, как правило, довольно крупные по объему оцениваемых запасов, с другой стороны – запасы в них либо низкого качества (с низким содержанием полезного компонента), либо характеризуются сложными условиями отработки, что требует применения инновационных технологий (см. таблицу).

Эффективность и окупаемость освоения подобных крупных месторождений достигается при строительстве мощных горнодобывающих комплексов с максимальным циклом переработки и высокой добавленной стоимостью [8, 9, 10]. Особое внимание должно быть уделено комплексному освоению, предусматривающему малоотходное использование всех георесурсов района месторождения и извлечение их рациональным сочетанием технологических процессов и оборудования, эксплуатацию и переработку техногенного сырья, рекультивацию территорий и многофункциональное использование сформированных открытыми и подземными работами выработанных пространств [11, 12]. Для работы таких предприятий требуется создание

энергетической и вспомогательной инфраструктуры, объектов транспортного доступа, социальных объектов.

Разработка проектной документации для таких объектов связана с учетом осложняющих факторов, структура которых приведена на рис. 1.

Учет осложняющих факторов приводит к возникновению противоречия: с одной стороны, необходимы выполнение серьезных предпроектных исследований, проработка стратегии развития предприятия, поиск инновационных решений, обеспечивающих эффективное освоение месторождения, с другой стороны, месторождение должно быть вовлечено в отработку в максимально короткие сроки с целью минимизации срока окупаемости и обеспечения инвестиционной привлекательности.

Устранение данного противоречия предопределяет порядок проектирования, отличный от общепринятого. Предлагаемый порядок проектирования основан на реализации следующих обязательных этапов работ:

- разработка технико-технологической концепции строительства предприятия на минимальном объеме исходных данных, в которой обосновываются состав и расположение будущих объектов предприятия. Для этого требуется привлечение специалистов, обладающих опытом проектирования и освоения подобных объектов;
- определение параметров и размещение на генеральном плане системообразующих объектов, изменение которых в дальнейшем затруднительно, дорого или невозможно (карьер/шахта, обогатительная фабрика, хвостохранилище, высоковольтные ЛЭП, железнодорожные станции, магистральные транспортные коммуникации и т.п.). На этом этапе определяются резервные возможности по изменению расположения объектов по мере получения новых данных;
- работа с общественностью, формирование положительного образа компании-недропользователя;

**Характеристика крупных месторождений твердых полезных ископаемых, вовлекаемых в отработку в последние годы**

Месторождение	Запасы, млн т (округл.)	Осложняющие факторы
Удоканское месторождение меди	1380	Среднее содержание полезного компонента – 1,46% Неосвоенность района месторождения Сложные горно-технологические условия Глубина отработки – св. 500 м
Ошурковское месторождение апатитов	2800	Среднее содержание полезного компонента – 3,89% Руды весьма труднообогатимые В непосредственной близости река Селенга, впадающая в Байкал, и рекреационные зоны г. Улан-Удэ
Томинское месторождения меди	330	Среднее содержание полезного компонента – 0,46% и 0,44% соответственно Месторождения расположены в районе с высокой плотностью населения
Михеевское месторождения меди	365	Близость жилой застройки, крупных водных объектов Глубина отработки – св. 600 м
Эльгинское месторождение угля	2200	Зольность – 27-39%. Доля запасов с благоприятными условиями отработки – 20% Удаленность и неосвоенность района месторождения
Малмыжское месторождение меди	3500	Среднее содержание полезного компонента – 0,4% Близость р. Амур. Сложные гидрогеологические условия Дефицит электроэнергии Удаленность и неосвоенность района месторождения Глубина отработки – св. 700 м

Природные факторы	Экологические и социальные ограничения	Сложные горно-технические условия	Отсутствие инфраструктуры
<p>Проектирование в условиях вечной мерзлоты; заболоченности, сейсмичности, значительных ветровых и снежных нагрузок, обводненности</p> <p>Проведение дополнительных изысканий, НИР, испытаний в части инженерно-геологических и гидрометеорологических изысканий, исследований устойчивости глубоких карьеров и высоких отвалов</p>	<p>Проработка природоохранных мероприятий на этапы строительства, эксплуатации, ликвидации</p> <p>Формирование положительного общественного мнения о компании-недропользователе</p> <p>Проектирование очистных сооружений с полным циклом очистки</p> <p>Обеспечение экологической и промышленной безопасности посредством опережающего контроля состояния объектов</p>	<p>Высокие темпы развития и понижения горных работ</p> <p>Проектирование предприятия очередями</p> <p>Проектирование с учетом прогноза будущего</p> <p>Проектирование ЦПТ и комбинированных технологий</p> <p>Определение порядка отработки с учетом обеспечения потребностей строительства (скальная вскрыша, глинистые породы)</p>	<p>Проработка ген. плана объекта с перспективой до конца отработки</p> <p>Проектирование полного комплекса инфраструктуры, включая объекты автономного энергоснабжения (ГПС) и водоснабжения</p> <p>Поиск решений с минимальным ресурсопотреблением</p> <p>Гармонизация графика строительства объектов и добычи полезного ископаемого</p>

Рис. 1. Влияние осложняющих факторов на проектно-изыскательские работы при освоении месторождений

- получение землеустроительных документов под основными объектами предприятия с учетом всех ограничений (экологических, административных, социальных и др.);
- выделение очередей проектных решений:
  - проработанных и надежных – которые уже можно предусматривать в проекте с ограниченными исходными данными;
  - переходных – которые будут приняты после уточнения данных с требуемой корректировкой параметров;
  - перспективных – принимаемых на последующих этапах и обеспечивающих комплексность освоения георесурсов.

Первые этапы проектирования необходимо совмещать со строительством системообразующих объектов. Начиная с первых же этапов должна проводиться работа

с общественностью, по формированию положительного образа компании-недропользователя.

Приведенный порядок обуславливает изменение принципов проектирования и проектного управления.

**Поэтапное проектирование**

Данный принцип предполагает выполнение проектных работ в несколько этапов (очередей). На первом этапе в отработку могут вовлекаться запасы, посчитанные даже по временным кондициям на локальном участке недр. Проект предполагает строительство системообразующей инфраструктуры. На следующих этапах предусматривается перепроектирование объекта с проектированием и строительством новых переделов, увеличением объема инфраструктуры. Выделение очередей (этапов) целесообразно осуществлять в границах применения одной технологии добычи и/или переработки. На начальных этапах



Рис. 2. Структурная схема организации проектирования

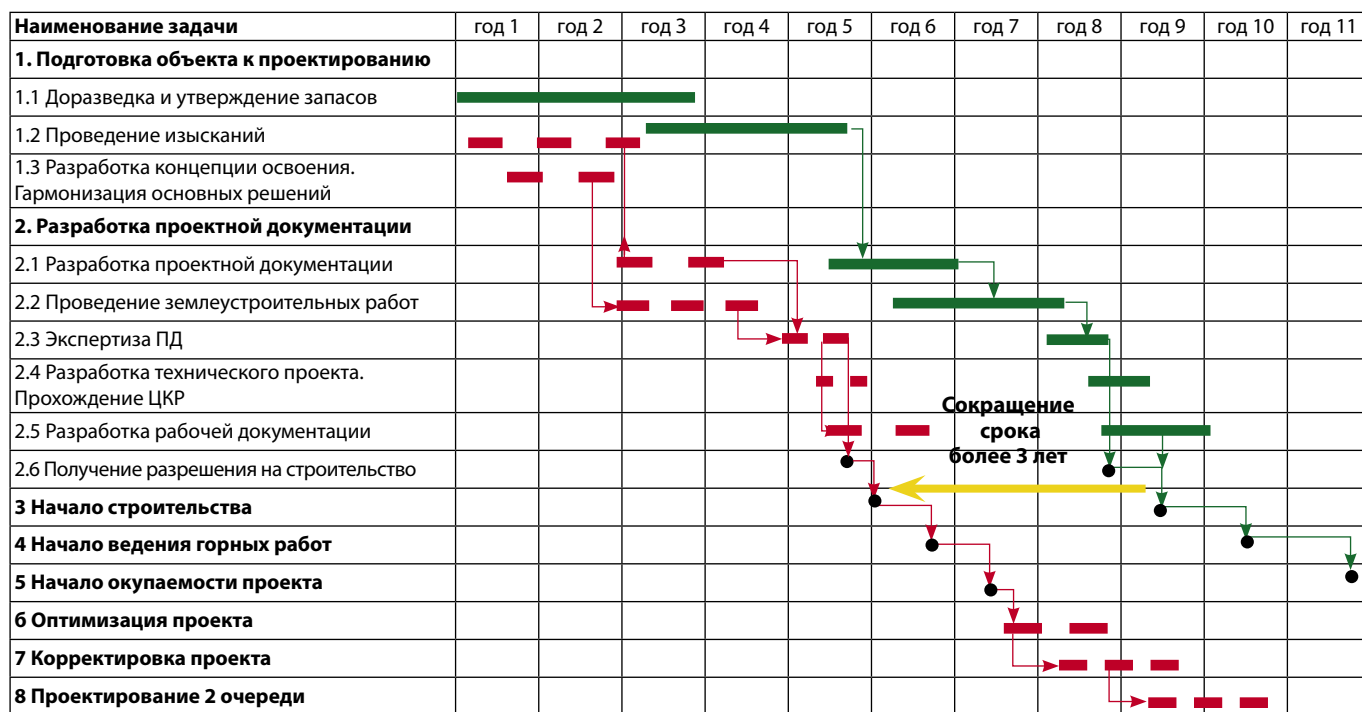


Рис. 3. Традиционный и предлагаемый графики проектирования

проектирования совместно с разработкой проекта, строительством и вводом объекта в эксплуатацию осуществляется проведение доразведки, изысканий, дополнительных исследований, испытаний и пр.

**Преимственность проектирования**

Поэтапное проектирование предполагает наличие единой концепции объекта с учетом видения будущего и обеспечения устойчивости развития. Реализация проектных решений не должна ухудшать перспектив развития предприятия, а каждый новый этап проектирования выполняется с учетом уже реализованных решений и имеющейся концепции. При использовании данного принципа необходим баланс между концептуальным проектированием и глубиной проработки проектных решений для поиска вариантов и оптимизации решений.

**Междисциплинарное взаимодействие специалистов**

Проектирование крупных горно-обогатительных комплексов, эксплуатация которых предполагается на многие годы вперед, требует поиска и применения лучших доступных технологий в разных сферах. Требуется поиск форм взаимодействия специалистов в области совместной разработки эффективных и безопасных решений, гармонизированных по всем этапам и направлениям проекта.

**Программное обеспечение**

Требуются программные комплексы, включающие: цифровые двойники объекта; имитационные модели различного горизонта прогноза; интеллектуальные системы помощи принятия решений. Эти комплексы должны быть способны работать с большим массивом данных при поис-

ке оптимальных решений, многовариантной проработке сценариев развития ситуаций [13, 14].

Структурная схема предлагаемого подхода к организации проектирования представлена на рис. 2

Предлагаемый порядок позволяет сократить срок освоения месторождение на 2-3 года. Это происходит за счет того, что многие этапы выполняются параллельно: доразведка – проектирование – строительство.

На рис. 3 приведены два графика проектирования – традиционный и предлагаемый.

**ВЫВОДЫ**

1. Освоение крупных месторождений твердых полезных ископаемых в условиях значительной изменчивости внешней среды требует изменения подходов к организации выполнения проектно-изыскательских работ, обеспечивающих, с одной стороны, ускорение сроков проектирования, с другой – повышение надежности проектных решений.

2. Сокращение сроков проектирования обеспечивается поэтапным выполнением работ. Этапы проектирования выделяются с учетом имеющихся данных о месторождении, разведанности запасов, смены технологии по мере отработки месторождения и развития горно-обогатительного комплекса.

3. Большое внимание на начальном этапе проектирования уделяется формированию единой концепции комплексного освоения георесурсов, при разработке которой с учетом баланса между концептуальным проектированием и глубиной проработки осуществляется поиск вариантов и оптимизации проектных решений. Дальнейшие этапы проектирования осуществляются в рамках единой концепции с учетом условий и требований будущего.

4. Для повышения надежности реализации проектных решений и снижения рисков на первом этапе проектирования формируется положительное общественное мнение об объекте, рассматриваются проверенные, надежные технологии. Инновационные, комбинированные технологии принимаются на следующих этапах проектирования, когда уже накоплены опыт освоения месторождения и достаточный объем исходных данных. Кроме того, в ходе проектирования и накопления знаний об объекте требуется формировать информационные модели, позволяющие осуществлять поиск оптимальных решений с учетом заданной концепции обработки месторождения.

#### Список литературы

- Каплунов Д.Р. Теоретические основы проектирования освоения недр: становление и развитие // Горный журнал. 2014. № 7. С. 49-51.
- Чмыхалова С.В. Системный подход к оценке риска, способствующий предотвращению потерь и повышению безопасности горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 6-1. С. 146-153.
- Яковлев В.Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 5-1. С. 6-18.
- Яковлев В.Л., Корнилов С.В., Соколов И.В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья. Екатеринбург: УрО РАН, 2018. 360 с.
- Аленичев В.М. Критерии системной оценки изменений природно-технологических систем при недропользовании // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 5-1. С. 207-216.
- Matthias P. Material Flows in the Industrial System: Model-Based Analysis of Material Consumption in Germany and the Effects of Efficiency Measures. Fraunhofer IRB Verlag, 2020. 250 p.
- Jeffrey Howard. Anthropogenic Soils. Springer International Publishing, 2017. 231 p.
- Унукович А.В., Аношко Я.И. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых Беларуси. Минск: Беларуская навука, 2012. 454 с.
- Швец С. Теоретико-методологические подходы концептуальных основ формирования инвестиционной политики в минерально-сырьевом комплексе. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 558 с.
- Краденых И.А., Барчуков А.В. Стратегия развития золотодобывающих предприятий с учетом оценки внешних и внутренних влияющих факторов // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 42. С. 43-51.
- Цифровая трансформация – условие и основа устойчивого развития горнотехнических систем / М.В. Рильникова, К.И. Струков, Д.Н. Радченко и др. // Горная промышленность. 2021. № 3. С. 74-78.
- Sustainable Development and Resource Productivity. The Nexus Approaches (edited by Harry Lehmann). Taylor & Francis, 2020. 386 p.
- Козлова О.Ю. Опыт применения и перспективы развития имитационного моделирования в горном деле // Уголь. 2022. № 5. С. 42-45. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-5-42-45.
- Barnes J., Black A., Roberts S. Towards a digital industrial policy for South Africa: a review of the issues. Industrial Development Think Tank; 2019. URL: <http://www.thedtic.gov.za/wp-content/uploads/DPIP.pdf> (дата обращения: 15.07.2022).

#### Original Paper

UDC622.273.031.06:622.7:622.271 © V.A. Pikalov, A.V. Sokolovskiy, M.A. Teryoshina, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 8, pp. 100-105  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-8-100-105>

#### Title

**PROBLEMS OF DESIGNING MINING ENTERPRISES IN CONDITIONS OF HIGH VARIABILITY OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT**

#### Author

Pikalov V.A.<sup>1</sup>, Sokolovskiy A.V.<sup>1</sup>, Teryoshina M.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Scientific-Technical Center Geotechnology LLC, Chelyabinsk, 454000, Russian Federation

#### Authors Information

**Pikalov V.A.**, Doctor of Engineering Sciences, Head of Department, e-mail: [info@ustup.ru](mailto:info@ustup.ru)

**Sokolovskiy A.V.**, Doctor of Engineering Sciences, General Director, e-mail: [info@ustup.ru](mailto:info@ustup.ru)

**Teryoshina M.A.**, PhD (Engineering), Financial Director, e-mail: [info@ustup.ru](mailto:info@ustup.ru)

#### Abstract

The increasing variability of the external environment of the functioning of mining enterprises and the increasing complexity of the operating conditions of solid mineral deposits predetermine a change in approaches and requirements for design and survey work. There is a contradiction: on the one hand, it is necessary to carry out serious pre-project studies, work out the development strategy of the enterprise, search for innovative solutions that ensure effective development of the field, on the other hand, the field should be involved in development as soon as possible, in order to minimize the payback period and ensure investment attractiveness. The removal of the contradiction is ensured by a balance between conceptual design and the depth of elaboration of design solutions to find options and optimize them

at different stages of design within a single concept, taking into account the conditions and requirements of the future. In order to reduce risks at the first stage of design, reliable, reasonable solutions that do not conflict with conceptual ones are considered. Technically complex, combined decisions are made at the stages of the second-third stages of design, when the experience of field development and the necessary amount of initial data have already been accumulated.

#### Keywords

Design, Integrated development of subsurface resources, Deposits of solid minerals, Development efficiency, Development risks.

## References

1. Kaplunov D.R. Theoretical foundations of the design of subsurface development: formation and development. *Gornyj zhurnal*, 2014, (7), pp. 49-51. (In Russ.).
2. Chmykhalova S.V. A systematic approach to risk assessment that helps to prevent losses and improve the safety of mining production. *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2020, (6-1), pp. 146–153. (In Russ.).
3. Yakovlev V.L. Methodological foundations of the strategy of innovative development of mining systems in the development of deep-lying deposits. *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2021, (5-1), pp. 6–18. (In Russ.).
4. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V. & Sokolov I.V. Innovative basis of the strategy of integrated development of mineral resources. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2018, 360 p. (In Russ.).
5. Alenichev V.M. Criteria for a systematic assessment of changes in natural and technological systems in subsurface use. *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2021, (5-1), pp. 207–216. (In Russ.).
6. Matthias P. Material Flows in the Industrial System: Model-Based Analysis of Material Consumption in Germany and the Effects of Efficiency Measures. Fraunhofer IRB Verlag, 2020, 250 p.
7. Jeffrey Howard. Anthropogenic Soils. Springer International Publishing, 2017, 231 p.
8. Unukovich A.V. & Anoshko Ya.I. Geological and economic assessment of mineral deposits in Belarus. Minsk: Belorusskaya navuka Publ., 2012, 454 p.
9. Shvets S. Theoretical and methodological approaches of the conceptual foundations of the formation of investment policy in the mineral resource complex. Moscow, UNITY-DANA, Publ. 2010, 558 p.
10. Kradenykh I.A. & Barchukov A.V. Development strategy of gold mining enterprises taking into account the assessment of external and internal influencing factors. *Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika*, 2014, (42), pp. 43-51. (In Russ.).
11. Rylnikova M.V., Strukov K.I., Radchenko D.N. & Esina E.N. Digital transformation – a condition and basis for sustainable development of mining systems. *Gornaya promyshlennost*, 2021, (3), pp. 74–78. (In Russ.).
12. Sustainable Development and Resource Productivity. The Nexus Approaches (edited by Harry Lehmann). Taylor & Francis, 2020, 386 p.
13. Kozlova O.Yu. Experience in application and development prospects of simulation modeling in mining. *Ugol*, 2022, (5), pp. 42-45. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-5-42-45.
14. Barnes J., Black A. & Roberts S. Towards a digital industrial policy for South Africa: a review of the issues. Industrial Development Think Tank; 2019. Available at: <http://www.thedtic.gov.za/wp-content/uploads/DPIP.pdf> (accessed 15.07.2022).

## For citation

Pikalov V.A., Sokolovskiy A.V. & Teryoshina M.A. Problems of designing mining enterprises in conditions of high variability of the external environment. *Ugol*, 2022, (8), pp. 100-105. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-8-100-105.

## Paper info

Received July 18, 2022

Reviewed July 22, 2022

Accepted July 25, 2022



ООО Научно-исследовательский центр –  
Институт проектирования горных предприятий «РАНК»,  
г. Кемерово, Россия

УДК 622.013.3:658.012.22 © ООО «НИЦ-ИПГП «РАНК», 2022

## Актуальность создания цифровых моделей горных предприятий

### ВВЕДЕНИЕ

Горное предприятие – сложная система с уникальной комбинацией горно-геологических и техногенных факторов. Прогноз возникающих горнотехнических ситуаций и инженерное обеспечение на различных этапах ведения работ являются сложной задачей. Для решения данной проблемы в настоящее время получают распространение различные программные продукты. Применение разнородных программных продуктов и использование разноформатных баз данных (БД) для геологического и маркшейдерского обеспечения, планирования и проектирования горных работ, приводят к потерям времени на передачу данных и повышает риск их утраты. Отсутствие единого цифрового пространства является предпосыл-

кой для возникновения неупорядоченности в хранении и использовании данных.

На сегодняшний день актуальными для горных предприятий являются горно-геологические информационные системы (ГИС), позволяющие автоматизировать процесс инженерного обеспечения при производстве горных работ и увеличить тем самым его производительность. Это достигается за счет исключения потерь времени на подготовку и передачу информации в цифровом виде между подразделениями, снижения риска искажения и потери целостности данных, обеспечивая прямой доступ специалистов к актуальной информации, хранящейся в едином информационном пространстве. Также ГИС являются основой для создания инженерных информационных