

УДК 514.18

## **РОЛЬ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ В ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Конев Р.А., студент гр. ГПс-241

Аксенова О.Ю., к.т.н., доцент кафедры СКВиВ  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Исследование геометрических взаимосвязей и методов проецирования занимает одно из центральных мест в разработке подземных горнотехнических объектов. Структура пространства, сформированная крепью, шахтными выработками и сопутствующими коммуникациями, требует детального анализа с помощью точных проекционных схем. Научные источники указывают, что без заранее выверенных теоретических предпосылок затрудняется оптимизация расположения стволов и камер, поскольку возникает риск нерационального использования глубинных горизонтов.

Применяя математические методы начертательной геометрии, инженеры могут убедиться в корректности заданных углов, определяемых параметров сечения и взаимной ориентации объектов внутри горного массива. Для расчёта траекторий и взаиморасположения будущих выработок необходимо не только учитывать геологические особенности слоя, но и опираться на концепции ортогональных и аксонометрических проекций. Исходя из этих положений, формируется системный подход к построению чертежей, минимизирующий вероятность критических ошибок ещё на стадии предварительных проектов [1, с.15-30].

Важную роль играет выделение основных плоскостей, служащих ориентиром для комплексного моделирования проходок и технологических узлов. При этом теория пространственных построений даёт возможность объединять данные разных специализаций, включая маркшейдерские измерения и геомеханические расчёты, обеспечивая их точное отражение на графических схемах.

Начертательная геометрия обеспечивает фундаментальные принципы построения шахтных выработок, позволяя точно определять их пространственное положение, параметры и взаимосвязи. Благодаря строгим математическим методам и проекционным построениям удаётся минимизировать погрешности на этапе проектирования, что особенно важно для сложных подземных структур с высокой плотностью инженерных решений. Это делает возможным эффективное планирование проходческих

работ и снижает вероятность нештатных ситуаций при разработке месторождений.

Анализ геометрических параметров горных выработок позволяет учитывать пространственные соотношения между их элементами и обеспечивать соответствие нормативным требованиям. Одним из важнейших аспектов проектирования является выбор оптимальной формы поперечного сечения, определяющий устойчивость и удобство эксплуатации выработки.

В зависимости от назначения выработки, применяются различные геометрические конфигурации – прямоугольные, арочные, трапециевидные и другие. Выбор подходящей формы обусловлен условиями залегания пород, нагрузками на крепь и необходимостью эффективного использования объёма выработки. Например, при разработке месторождений в нестабильных породах чаще всего применяют арочные или сводчатые формы сечения, так как они равномерно распределяют нагрузку и уменьшают вероятность обрушения [2, с.100].

Другим важным параметром является угол наклона наклонных выработок, таких как бремсберги и уклоны. Этот показатель влияет на условия транспортировки руды и пустой породы, а также на безопасность передвижения персонала. Чрезмерно крутые уклоны затрудняют передвижение транспорта и требуют мощных тормозных систем, в то время как слишком пологие наклоны могут привести к увеличению длины выработки и, соответственно, затрат на её проведение. В связи с этим расчёты углов наклона должны учитывать не только механические характеристики транспортных средств, но и удобство работы обслуживающего персонала.

Сведения о влиянии некоторых геометрических параметров на эксплуатацию горных выработок представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние геометрических параметров на эксплуатацию горных выработок

Параметр	Влияние на эксплуатацию	Применение
Форма поперечного сечения	Влияет на устойчивость, удобство транспортировки и распределение нагрузки	Арочные – для слабых пород, прямоугольные – для крепких пород
Угол наклона	Определяет условия транспортировки руды и удобство передвижения персонала	10-15° для ленточных конвейеров, 20-30° для рельсовых дорог
Ширина выработки	Зависит от типа техники и интенсивности грузопотока	Магистральные выработки – $\geq 5$ м, вентиляционные – $\leq 3$ м

Одним из значимых аспектов проектирования горных выработок является анализ их устойчивости в условиях различных горно-геологических факторов. Геометрические параметры напрямую влияют на равномерное распределение нагрузок в крепи, что особенно важно в условиях сложных горных массивов с наличием тектонических разломов и зон ослабленных пород. При недостаточном учёте этих факторов возможно проявление деформаций, таких как сжатие, сдвиги или обрушения, что может привести к технологическим простоям и дополнительным затратам на восстановление инфраструктуры. Для предотвращения подобных проблем разрабатываются нормативные требования к геометрии выработок, учитывающие особенности конкретных условий эксплуатации.

Современные технологии расширяют возможности применения геометрических построений, включая цифровые методы автоматизированного проектирования и 3D-моделирования. Это позволяет создавать детализированные виртуальные модели шахтных сооружений, учитывать специфику геологических разломов и оптимизировать маршруты транспортировки полезных ископаемых. В результате инженеры получают инструменты для всестороннего анализа горных объектов, а также возможность оперативного внесения корректировок в проектную документацию без необходимости повторного выполнения трудоёмких расчётов.

Современные технологии проектирования шахтных выработок позволяют анализировать их геометрические параметры с высокой точностью. Использование программных комплексов, таких как Surpac, Micromine, AutoCAD Civil 3D, обеспечивает моделирование формы выработки с учетом механических характеристик породного массива. Это даёт возможность прогнозировать потенциальные зоны риска и корректировать проектные решения ещё на этапе подготовки чертежей. Интерактивные цифровые модели позволяют не только визуализировать конфигурацию выработки, но и анализировать динамические процессы, такие как смещение грунтов и перераспределение напряжений в породах, что особенно важно при разработке глубоких месторождений.

Дополнительным фактором, влияющим на проектирование выработок, является вентиляционная эффективность. Неправильный выбор геометрической формы или ширины тоннеля может приводить к застойным зонам воздушных потоков, увеличению газовой концентрации и ухудшению условий труда шахтёров. В этой связи геометрические параметры должны рассчитываться не только с точки зрения механической прочности, но и с учётом аэродинамических характеристик выработок. Специальные программы, такие как Ventsim, позволяют моделировать движение воздушных потоков, выявлять проблемные зоны и оптимизировать систему вентиляции, что играет важную роль в повышении безопасности работ в подземных условиях.

С учётом современных требований к безопасности и энергоэффективности проектирование горных выработок становится более сложным и требует интеграции различных инженерных дисциплин. Применение методов начертательной геометрии в сочетании с цифровыми технологиями позволяет не только автоматизировать расчёты и повысить точность чертежей, но и значительно сократить время на подготовку проектной документации. В перспективе дальнейшее развитие алгоритмов проектирования горных выработок приведёт к ещё более точному прогнозированию их поведения, что обеспечит повышение эксплуатационной надёжности и снижение производственных затрат на ведение горных работ.

Пространственная визуализация шахтной инфраструктуры представляет собой ключевой инструмент для проектирования, мониторинга и оптимизации подземных горных работ. Современные технологии позволяют создавать детализированные 3D-модели шахтных систем, включающих в себя стволы, вентиляционные и транспортные выработки, камерные пространства и технологические узлы. Такой подход значительно облегчает анализ структуры месторождения, помогает выявлять потенциальные риски и оптимизировать процессы добычи. Интеграция геоданных, маркшейдерской информации и цифровых симуляций в единую виртуальную среду обеспечивает более точное планирование и сокращение эксплуатационных издержек. Пример пространственной визуализации инфраструктуры горно-обогатительной фабрики представлен на рисунке 1. Аналогичный подход используется для моделирования шахтных выработок и подземных объектов.



Рис. 1. Пример пространственной визуализации инфраструктуры горно-обогатительной фабрики

Внедрение технологий пространственной визуализации позволяет горным инженерам работать с динамическими моделями шахтных систем в реальном времени. Это обеспечивает возможность оперативного внесения изменений в проектные решения, а также проведение анализа на основе фактических данных о состоянии горных пород и инфраструктуры. Программные комплексы, такие как Ventsim или AutoCAD Civil 3D, активно используются для расчёта вентиляционных потоков, транспортных маршрутов и проектирования крепёжных конструкций [3, с. 360].

Системы 3D-визуализации также широко применяются в обучении и подготовке персонала, обеспечивая им возможность изучения сложных подземных объектов без необходимости спуска в шахту. Виртуальные симуляции помогают моделировать аварийные ситуации, отрабатывать сценарии эвакуации и проводить тестирование новых инженерных решений. Это существенно снижает вероятность ошибок при эксплуатации и повышает уровень безопасности горных работ.

Дополненная и виртуальная реальность открывают новые перспективы в мониторинге шахтных сооружений. Использование VR-очков позволяет специалистам проводить виртуальные осмотры подземных объектов, анализировать изменения в инфраструктуре и взаимодействовать с проектной документацией в интерактивном формате. Данные технологии позволяют не только улучшить визуальное восприятие сложных объектов, но и повысить точность инженерных расчётов.

В заключение следует отметить, что современные методы начертательной геометрии в сочетании с цифровыми технологиями проектирования являются важнейшим инструментом в горнодобывающей промышленности. Их дальнейшее развитие и внедрение будут способствовать совершенствованию процессов добычи полезных ископаемых, обеспечению надёжности подземных объектов и повышению общей эффективности работы шахтных предприятий.

### Список литературы:

1. Галченко, Ю. П. Природно-технические системы подземной разработки рудных месторождений на основе конвергентных горных технологий / Ю. П. Галченко, В. А. Еременко. – М.: Горная книга, 2017. – 368 с.
2. Буркова, И. В. Начертательная геометрия. Инженерная графика / И. В. Буркова. – Томск: Томский политехнический университет, 2008. – 140 с.
3. Третьякова, З. О., Начертательная геометрия. Инженерная графика. Перспективное проецирование / З. О. Третьякова, В. А. Меркулова, П. В. Кононов. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2019. – 38 с.