ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРОЧНОЙ КРЕПИ

С.В. Розов, ГВУЗ «Национальный горны университет», Украина

Современные темпы развития науки и промышленности требуют соответствующего подхода к решению производственных задач, которые в настоящее время реализуются традиционными, достаточно громоздкими и приближенными методами. Применение компьютерной техники и современных программных продуктов дает большие возможности в научных исследованиях, расчетах и проектировании объекта, обеспечивает возможность проведения сравнительного анализа и выбора оптимального варианта решаемой задачи при значительно меньших трудовых затратах.

Цель предлагаемой работы заключается в разработке (обозначении) новых методов исследования проведения прочностного анализа крепи на базе систем КОМПАС-3D и APM FEM на примере арочной крепи АП-27.

Основными задачами в совершенствовании подземной угледобычи являются: создание эффективных средств и способов сохранения устойчивости горных выработок, удешевление их поддержания.

Проблема поддержания горных выработок является весьма актуальной, т.к. неудовлетворительное состояние выработки ведет к дополнительным затратам на ремонтные работы, усложняет работу шахтного транспорта, нарушает проветривание очистных и подготовительных забоев, ведет к увеличению численности рабочих, занятых на работах по поддержанию выработок, что, в конечном итоге, снижает технико-экономические показатели работы шахты.

В отечественной практике основным видом крепи горизонтальных и наклонных выработок угольных шахт является металлическая крепь. Применяют следующие металлические крепи: арочные - кольцевые и трапециевидные податливые крепи; арочные - кольцевые и трапециевидные шарнирные жесткие крепи.

Арочные податливые крепи из шахтного спецпрофиля, получившие широкое распространение на шахтах, состоят из отдельных арок, устанавливаемых в выработках на расстоянии 0,5-1,2 м одна от другой, межрамных стяжек (распорок) и железобетонных, деревянных или металлических решетчатых затяжек, укладываемых в пролетах между арками.

В Украине и за рубежом (Германия, Великобритания и др.) крепи арочных конфигураций являются наиболее распространенными. Ими крепится от 80% до 95% выработок. В связи с увеличением глубины заложения горных выработок и ухудшением условий их поддержания идет устойчивый рост объема применения тяжелых спецпрофилей (СВП22, СВП27, СВП33) и снижение объема применения легких (СВП17, СВП19). Одновременно ухудшение условий поддержания горных выработок приводит к значительному увеличению объема ремонтных работ в них. По сведениям Министерства энергетики и угольной промышленности Украины протяженность поддерживаемых выработок, находящихся в неудовлетворительном состоянии, по разным бассейнам составляет от 15 до 50% от общей их протяженности. На шахтах Украины ежегодно ремонтируется 28,9-30,2% поддерживаемых выработок.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что проблема повышения устойчивости горизонтальных и наклонных выработок является актуальной.

Расчет крепей принято разделять на два основных этапа:

1. Изучение механизма взаимодействия пород и крепи с помощью упрощенных схем приближенных гипотез.

2. Изучение механизма взаимодействия пород и крепи, напряжений в крепи и породах, перемещений на поверхности и вблизи ствола на базе механики сплошной среды.

Основной особенностью первого этапа является рассмотрение горного давления пород в виде заданной статической нагрузки, для восприятия которой требуется выбор той или иной

крепи. Считается, что нагрузка не зависит от величины деформаций массива, конструкции и материала крепи, способа проходки и технологии крепления.

Работы, относящиеся к первому этапу, можно объединить под общим названием «метод сил», в рамках которого разработаны следующие основные гипотезы:

- гипотеза восстановления естественного напряженного состояния массива пород;
- гипотеза свода;
- гипотеза об отсутствии давления на крепь стволов в скальных породах.

Расчет крепи при этом сводится к трем стадиям:

- определению внешних нагрузок;
- определению внутренних сил или напряжений;
- проверке прочности конструкции крепи.

Второй этап характеризуется распространением «гипотезы деформаций», основанной на схеме «контактного взаимодействия крепи и массива», при котором давление на крепь выработки развивается и устанавливается в результате сложного взаимодействия системы «крепь – массив».

В настоящее время используют три основные схемы контактного взаимодействия массива горных пород с подземными сооружениями. В первой из них крепь подземной конструкции моделируется дискретной системой (стержневой пластинчатой, оболочечной или их комбинацией), а массив - основанием Винклера. Соответствующие расчетные методики базируются на методах строительной механики стержневых и тонкостенных конструкций.

Вторая схема является дискретно-континуальной. Крепь подземной конструкции моделируется дискретной системой, а породный массив - сплошной средой с отверстием. Расчетные методики основаны на сочетании методов строительной механики и теории упругости, пластичности или ползучести, в зависимости от выбора соотношений, используемых для описания процесса деформирования сплошной среды.

Третья схема континуальная. Крепь выработки моделируется цилиндрическим телом, поперечное сечение которого представляет собой сплошное кольцо произвольной формы, а породный массив моделируется сплошной средой с отверстием. Расчетные методики построены на основе методов теории упругости, пластичности или ползучести, в соответствии с используемой моделью деформирования сплошной среды.

Выбор схемы контактного взаимодействия определяется конструкцией крепи выработки и особенностями процессов деформирования и разрушения породного массива. Для рамных и

панельных конструкций используют первую или вторую схемы. Расчетные методики для первой схемы более просты в использовании, тогда как вторая схема позволяет моделировать процессы неупругого деформирования и разрушения приконтурного породного массива. Третья схема применяется при расчетах параметров монолитных и сборно-монолитных многослойных конструкций, тюбинговых и блочных конструкций.

Возможности дальнейшего совершенствования аналитических методов расчета крепи и оценки устойчивости выработок практически исчерпаны.

С переходом горных работ на большие глубины каждый характерный участок глубокого ствола представляет собой уникальную геотехническую систему, подверженную влиянию комплекса факторов. Рассмотрение таких систем стало возможным с развитием компьютерной техники и появлением программных средств, реализующих те или иные математические методы. Их использование позволило перейти к новому, постоянно совершенствуемому способу исследования геомеханических процессов - вычислительному эксперименту, основанному на расчете серии вариантов при изменении влияющих параметров.

Исследуемые задачи позволяют решать системы КОМПАС-3D и APM FEM, которые образуют цельную среду проектирования и анализа, обеспечивают ассоциативную связь с геометрической моделью, единую библиотеку материалов и общий интерфейс. Это позволяет избежать передачи 3D-данных через сторонние форматы и тем самым снизить вероятность возникновения ошибок.

В состав APM FEM входят инструменты подготовки сборок (объекта) к расчету по заданным граничным условиям и нагрузкам, встроенные генераторы конечно-элементной сетки (как с постоянным, так и с переменным шагом), расчетные модули, постпроцессор и средства

визуализации результатов расчетов в виде цветовых схем. Этот функциональный набор дает возможность смоделировать твердотельный объект и комплексно проанализировать поведение расчетной модели при различных воздействиях с точки зрения статики, собственных частот, устойчивости и теплового нагружения.

Процедуры расчета в APM FEM построены на базе метода конечных элементов. Поэтому в расчетных моделях могут быть учтены практически все особенности конструкций и условий их эксплуатации.

Прочностной анализ в APM FEM позволяет решать линейные задачи:

- напряженно-деформированного состояния (статический расчет);
- статической прочности сборок;
- устойчивости;
- термоупругости;
- стационарной теплопроводности.

Динамический анализ позволяет определять частоты и формы собственных колебаний, в том числе для моделей с предварительным нагружением.

Результатами расчетов являются:

- распределение эквивалентных напряжений и их составляющих, а также главных напряжений;
- распределение линейных, угловых и суммарных перемещений;
- распределение деформаций по элементам модели;
- карты и эпюры распределения внутренних усилий;
- значение коэффициента запаса устойчивости и формы потери устойчивости;
- распределение коэффициентов запаса и числа циклов по критерию усталостной прочности;
- распределение коэффициентов запаса по критериям текучести и прочности;
- распределение температурных полей и термонапряжений;
- координаты центра тяжести, вес, объем, длина, площадь поверхности, моменты инерции модели, а также моменты инерции, статические моменты и площади поперечных сечений;
- реакции в опорах конструкции, а также суммарные реакции, приведенные к центру тяжести модели.

Карты напряжений позволяют наиболее точно проанализировать работу крепи под действием нагрузки, выявить концентраторы напряжений, оценить жесткость конструкции.

В данной работе мы выполнили прочностной анализ металлической арочной крепи при различных, в том числе критических, нагрузках.

Для выполнения прочностного анализа металлической арочной крепи при критических нагрузках предпочтение отдано программному комплексу автоматизированных систем «Компас 3D V-13». В этом программном продукте была построена трехмерная модель металлической арочной крепи АП-27, которая легко представляема и наглядна. В дальнейшем объект исследования был подвергнут изучению при помощи системы прочностного анализа APM FEM. Для этого построенная трехмерная модель металлической арочной крепи была подготовлена для расчета, а именно: были указаны закрепления, заданы совпадающие поверхности и указаны плоскости, на которые оказывается давление горной породы. Последней операцией, выполняемой перед расчетом, является генерация конечно-элементной (КЭ) сетки, т.е. разбивка деталей на конечные элементы. Следует отметить, что от качества КЭ сетки, сгенерированной на детали или сборочной единице, зависит достоверность получаемых результатов прочностного расчета. После указания всех факторов, влияющих на металлическую арочную крепь, был произведен статический расчет.

Статический расчет в свою очередь разделяется на:

- эквивалентное напряжение по Мизесу;
- суммарное линейное перемещение;
- коэффициент запаса по текучести; коэффициент запаса по прочности.

Одновременно были определены слабые места в крепи при превышении допустимых показаний нагрузки.

Таким образом, полученный результат показывает определенный запас прочности в арочной крепи в пределах возлагаемых на нее нагрузок.

Помимо графического отображения деформаций и критических зон в исследуемой модели, после выполнения расчета, система выдает и текстовый отчет об исследуемом объекте:

1. Информация о материалах.
2. Информация о нагрузках.
3. Информация о закреплениях.
4. Информация о совпадающих поверхностях.
5. Конечно-элементная сетка.
6. Результаты. (Инерционные характеристики модели. Результаты статического расчета.)

Вывод.

Применение компьютерной техники значительно снижает трудоемкость выполнения сложных расчетов при проектировании, обеспечивает выбор необходимого типа расчета, позволяет визуально контролировать результаты для дальнейшего анализа и подготовке расчетно-пояснительной документации. Большое значение имеет возможность выполнения различных вариантов расчетов крепи для выбора оптимального варианта типа крепи.

Использование инструментов систем КОМПАС-3D и APM FEM для выполнения прочностного анализа металлической арочной крепи АП-27 позволило смоделировать крепь как трехмерную модель и комплексно проанализировать поведение модели при различных воздействиях с точки зрения статики, собственных частот, устойчивости и теплового нагружения.

Полученный результат имеет не только высокую точность, но и визуален.

Список литературы

1. А.В. Солодянкин, С.Н. Гапеев, В.В. Раскидкин Обеспечение устойчивости сопряжений протяженных выработок шахт. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 5/2011(70).

2. Р.Н. Терещук, С.Н. Гапеев Рациональный способ крепления подготовительных выработок рамно-анкерной крепью. Науковий вісник НГУ, 2011, №5.

3. И.В. Бакланов, Б.А. Картозия, А.Н. Шашенко, В.Н. Борисов Геомеханика. Том 2. Геомеханические процессы. Издательство МГГУ, 2004

4. Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко, Е.В. Емец Расчет крепи горных выработок на ЭВМ: Уч. пособ., Алчевск, ДонГТУ, 2011, 174 с.

5. КОМПАС-3D-13 Производитель: Научно-технический центр «Автоматизированное проектирование машин»

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ В ОСОБО СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А.А. Мишедченко, Московский государственный горный университет, Россия

В статье приводится историческая справка о строительстве перегонных тоннелей между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» Кировско-Выборгской линии Санкт-Петербургского метрополитена и причинах их затопления. Для восстановления движения по данному радиусу метрополитена построены новые тоннели с помощью ТПК, с креплением тоннелей обделкой из высокоточных железобетонных блоков. Для резервного тоннеля Кировско-Выборгской линии были применены чугунные тюбинги с внешним желобком и резиновой шиной.

История сооружения тоннельного перегона между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» широко освещалась в прессе, напомню кратко основные события.

Тоннели между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» Кировско-Выборгской линии Санкт-Петербургского метрополитена сооружались в пределах древнего размыва кровли