

**Негрей, С.Г.** С К вопросу выбора метода исследования распределений напряжений вокруг подготовительной выработки [Текст] / Д.Н. Курдюмов, В.Н. Мокриенко, Д.Н. Климов // Матеріали міжнародної науково–практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Перспективи освоєння підземного простору» НГУ / Дніпропетровськ – 2011. – С. 17–20.

УДК 622.831.

## **К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ**

*К.т.н. НЕГРЕЙ С.Г., м.н.с. КУРДЮМОВ Д.Н., асп. МОКРИЕНКО В.Н., студ. Кривцов А.В. ДонНТУ, г. Донецк, Украина*

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Дальнейшая разработка угольных месторождений полезных ископаемых в условиях увеличения глубин ведения горных работ связана с проблемой обеспечения эксплуатационного состояния выемочных выработок. В связи с этим находят распространение схемы отработки выемочных участков с поддержанием подготовительных выработок вслед за очистным забоем, при этом большое внимания уделяется разработке эффективных способов и средств охраны подготовительных выработок. Считается, что существуют зависимости между устойчивостью подготовительных выработок и рядом факторов, основным из которых является уровень напряженности боковых пород [1, 2].

Поэтому разработка новых технологических решений по охране и поддержанию подготовительных выработок направлена на нейтрализацию этого основного фактора, т.е. на уменьшение концентрации напряжений в окружающих выработку породах.

Для изучения характера распределения напряжения в массиве горных пород целесообразно обратиться к моделированию, так как в реальных условиях это технологически сложно, трудоемко, и в некоторых случаях, невозможно. Моделирование должно быть комплексным, учитывающим как можно большее число влияющих факторов и их сочетаний, отражать реальную картину изучаемого физического процесса. Нельзя ограничиться только лабораторными исследованиями, которые дают возможность получения широкого диапазона решений, но со значительной степенью идеализации объектов изучения. К разработке способов и уточнения их параметров должны быть также привлечены аналитические методы, которые позволяют получить решения с наибольшей степенью общности и в широких диапазонах изменения условий.

К настоящему времени разработано множество методов аналитических исследований, а также программных комплексов для их реализации, при этом каждый из них имеет свою ограниченную область применения.

В связи с этим **целью** статьи является выбор наиболее приемлемого метода аналитического моделирования, который позволит с наибольшей степенью общности и в широких диапазонах изменения условий получить информацию о распределении напряжений вокруг выработки при проектировании различных способов охраны, а также выбор программного комплекса для реализации принятого метода.

В настоящее время получили широкое распространение численные методы, в которые входят: метод конечных разностей, метод дискретного элемента, метод граничных элементов, метод конечных элементов и др.

Сущность метода *конечных разностей* состоит в следующем: область непрерывного изменения аргументов, заменяется дискретным множеством точек (узлов), которое называется сеткой или решёткой. Вместо функции непрерывного аргумента рассматриваются функции дискретного аргумента, определённые в узлах сетки и называемые сеточными функциями. Производные, входящие в дифференциальное уравнение и граничные условия, заменяются разностными производными, при этом краевая задача для дифференциального уравнения заменяется системой линейных или нелинейных алгебраических уравнений [3.] . Методы конечных разностей можно приложить к любой системе дифференциальных уравнений, но учет граничных условий задачи очень часто является громоздкой и трудно программируемой операцией. Точность полученного численного решения полностью зависит от степени измельчения сетки, определяющей узловые точки, и, следовательно, в процессе решения задачи всегда приходится иметь дело с системами алгебраических уравнений очень высокого порядка

*Метод дискретного элемента* – метод для расчёта движения большого числа частиц, таких как молекулы или песчинки. Этот метод может быть использован для моделирования частиц с не сферичной поверхностью [4]. В основу метода положено то, что материал состоит из отдельных, дискретных частиц. Эти частицы могут иметь различные поверхности и свойства (жидкости и растворы, сыпучие вещества, такие как разрушенная горная порода; гранулированный материал, такой как песок и пр.). Моделирование МДЭ начинается с помещения всех частиц в конкретное положение и придания им начальной скорости. Затем силы, воздействующие на каждую частицу, рассчитываются, исходя из начальных данных и соответствующих физических законов. Все эти силы складываются, чтобы найти результирующую силу, воздействующую на каждую частицу. Преимущества: возможность моделирования и последующего анализа практически любого материала. Недостаток: метод дискретного элемента требуют интенсивной работы процессора ЭВМ; это ограничивает протяжённость модели или количество частиц. [5].

*Метод граничных элементов* в основу которого положено решение граничных интегральных уравнений относительно значений искомых величин, не заданных граничными условиями [6]. Для решения граница исследуемой области разбивается на граничные элементы и требуется решение уравнения в узловых точках элементов. В результате получается система линейных алгебраических уравнений относительно значений поверхностных напряжений и перемещений в узлах. Недостатком данного метода является отсутствие программно-вычислительных комплексов, в которых он был бы реализован.

Метод конечных элементов (МКЭ) в настоящее время занял лидирующее положение благодаря возможности моделировать широкий круг объектов и явлений. В основе метода МКЭ лежит дискретизация (разбивка на более мелкие, обособленные, но взаимосвязанные между собой) объекта с целью решения уравнений механики сплошной среды в предположении, что эти соотношения выполняются в пределах каждой из элементарных областей. Эти области называются конечными элементами. Они могут соответствовать реальной части пространства, как, например, пространственные элементы или же быть математической абстракцией, как элементы стержней, балок, пластин или оболочек.

В пределах конечного элемента назначаются свойства, ограничиваемого им участка объекта (это могут быть, например, характеристики жесткости и прочности материала, плотность и т. д.) и описываются поля интересующих величин (применительно к механике это перемещения, деформации, напряжения и т. д.). Параметры из второй группы назначаются в узлах элемента, а затем вводятся интерполирующие функции, посредством которых соответствующие значения можно вычислить в любой точке внутри элемента или на его границе. Задача математического описания элемента сводится к тому, чтобы связать действующие в узлах факторы. В механике сплошной среды это, как правило, перемещения и усилия [7].

Преимуществом метода конечных элементов является возможность учитывать в расчетах разнообразные и сложные свойства материалов, возможность сведения задачи к системе линейных или нелинейных алгебраических уравнений непосредственно, без предварительной формулировки их дифференциальных аналогов. Основные процедуры МКЭ стандартны и не зависят от размерности и типа используемых конечных элементов, что позволяет осуществить унификацию этих процедур и создавать программные комплексы по расчету конструкций широкого класса и назначения.

Метод конечных элементов в сочетании с ЭВМ допускает использование моделей материалов практически любой степени сложности, поэтому необходимо выбрать программные комплексы позволяющие изучать различные физические процессы в окружающих выработку породах.

В настоящее время существует большое количество систем автоматизации инженерных расчетов и анализа базирующихся на методе конечных элементов: Nastran, Abaqus, T-FLEXCAE, Deform, Qform LS-DYNA, ANSYS, SolidWorks и др. наиболее распространенными являются два последних программных комплекса.

ANSYS - это пакет прочностного и теплового анализа, позволяющий выполнять большинство линейных и нелинейных задач конечно-элементного анализа, включающий функции: прочностного анализа, решения контактных задач; динамического анализа неустановившихся процессов; устойчивости конструкций; механики разрушений в линейных и нелинейных задачах для изделий из композиционных и армированных материалов, включая температурные воздействия. Недостатком применения данного программного пакета для анализа процессов происходящих вокруг выработки является сложность построения моделей.

Система автоматизации проектных работ (САПР) SolidWorks приобрела популярность благодаря простому интерфейсу пользователя. Функциональные возможности системы SolidWorks выгодно отличаются от ближайших конкурентов гибридностью параметрического моделирования, (2D и 3D -эскизы, твердые тела), возможностью автоматизации проектирования деталей и сборок. В приложении COSMOSXpress: возможно определение напряжений, деформаций, расчет коэффициента запаса прочности и других физических величин.

Нередки случаи, когда важно знать эволюцию процесса деформирования (или разрушения) пород вмещающих выработку с продолжающимся во времени внешним воздействием. При этом естественны большие геометрические и физические нелинейности, такого рода задачи вполне под силу программному комплексу Solidworks.

Таким образом, на основе анализа литературных источников установлено, что наиболее приемлемый метод аналитического моделирования, позволяющий с наибольшей степенью общности и в широких диапазонах изменения условий получить информацию о распределении напряжений вокруг выработки при проектировании различных способов охраны, является метод конечных элементов, который реализован во множестве программных комплексов, однако наиболее приемлемыми являются ANSYS и Solidworks

### **Библиографический список**

1.Способ охраны подготовительной выработки. Колоколов О.В., Табаченко Н.М., Медяник В.Ю. и др. Декларационный патент ДП №36714 А (UA) от 01.02.2000 № д.р. 2000020523, опубл. 16.04.2001 Бюл. № 3.

2. Медяник В.Ю. Обоснование параметров способа охраны подготовительных выработок при комбинированной системе разработки пологих пластов на больших глубинах: Дис. ... канд. техн. наук. – Д.: НГУ, 2005. – 193 с.

3. Рыжков А.В. Никулин Л.А. “Решение бигармонического уравнения методом Зейделя”. Воронеж, 1997

4. Сачков В.Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики.- Наука; 2004. -385 с: ил

5. Колесников Г. Н., Раковская М. И. Об одном варианте метода дискретных элементов. -сб.: Материалы XV Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС-2007). М.: Вузовская книга, 2007.

6. А.П.Господариков Л.А.Беспалов применение метода граничных элементов при расчете параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности выработок различного очертания. Записки Горного института; Стр. 217-220; С.-Петербург, 2009.

7. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред: Пер. с англ. — М.: Мир, 1976.