

С.В. Риб, В.В. Басов

Сибирский государственный индустриальный университет

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Околоштрековые целики являются основным элементом технологии отработки угольных пластов длинными очистными забоями на угольных шахтах. Обеспечение устойчивости целиков при различных горно-геологических характеристиках пластов и вмещающих пород в быстро меняющейся горнотехнической ситуации требует применения научно-обоснованной методики прогноза состояния напряженно-деформированного массива горных пород. Отсутствие методики прогноза изменяющихся параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) целиков, предназначенных для охраны подготовительных выработок, в определенной степени создает трудности в обеспечении безопасности горных работ на этапах проектирования, строительства и эксплуатации шахт.

На кафедре геотехнологии СибГИУ на протяжении 20 последних лет накоплен большой

опыт исследования параметров неоднородных угольных целиков [1 – 5]. Проводятся исследования строения, физико-механических и технологических свойств, НДС и характера деформирования горных пород при подземной разработке угольных пластов. В рамках этих направлений разработана методика исследований НДС неоднородных угольных целиков с применением современных компьютерных технологий. В основе методики лежит численный метод конечных элементов (МКЭ) [6], реализация которого осуществляется с помощью комплекса программ CoalPillar. Последний предназначен для двумерного численного моделирования МКЭ процессов изменения смещений, напряжений и деформаций под влиянием природных полей напряжений и горных выработок в углепородном массиве. Структура методики представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура методики численного исследования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков

В настоящей работе предлагается методика исследований, основанная на анализе горно-геологической и горнотехнической информации, результатах шахтных инструментальных измерениях и численном моделировании НДС массива горных пород методом конечных элементов. Ниже предлагается поэтапное рассмотрение этой методики.

На первом этапе исследований изучается состояние горных работ и проводится анализ горной графической документации для выявления факторов, определяющих состояние горных пород в окрестности исследуемой горной выработки, охраняемой неоднородным угольным целиком. В большинстве случаев основной причиной аварий при подземной разработке угольных пластов является несоответствие параметров целиков усложняющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям обрабатываемых участков. Часто такая ситуация приводит к деформированию целиков, что негативно отражается на состоянии горной выработки. Для выявления причин возникновения аварийных ситуаций уместно воспользоваться причинно-следственной диаграммой Исикавы [7]. Установленные факторы, влияющие на эксплуатационное состояние горной выработки, охраняемой неоднородным угольным целиком, скомпонованы в следующие группы: проектирование, технология, лю-

ди, состояние массива осадочных горных пород. Пример модифицированной диаграммы Исикавы при выявлении причин, влияющих на состояние горной выработки, представлен на рис. 2.

На втором этапе осуществляется группирование горно-геологических, горнотехнических факторов и геометрических параметров горного массива.

Согласно программе исследований [1], был проведен анализ влияния на формирование исходного поля напряжений в массиве горных пород и устойчивость угольных целиков следующих факторов:

- горно-геологических (геологические нарушения, породные прослойки, минерализованные включения, угол падения пласта, глубина ведения работ и др.);
- горнотехнических (ширина целика, размер горной выработки и др.).

Выделение факторов в группы необходимо для учета влияния каждого при разработке геометрической модели.

Третий этап необходим для разработки схемы дискретизации исследуемой области в массиве горных пород. Создается геометрическая двумерная модель системы выработок в расчетном поле напряжений. Первым шагом решения задачи МКЭ является дискретизация (разбиение) рассматриваемой области на ко-

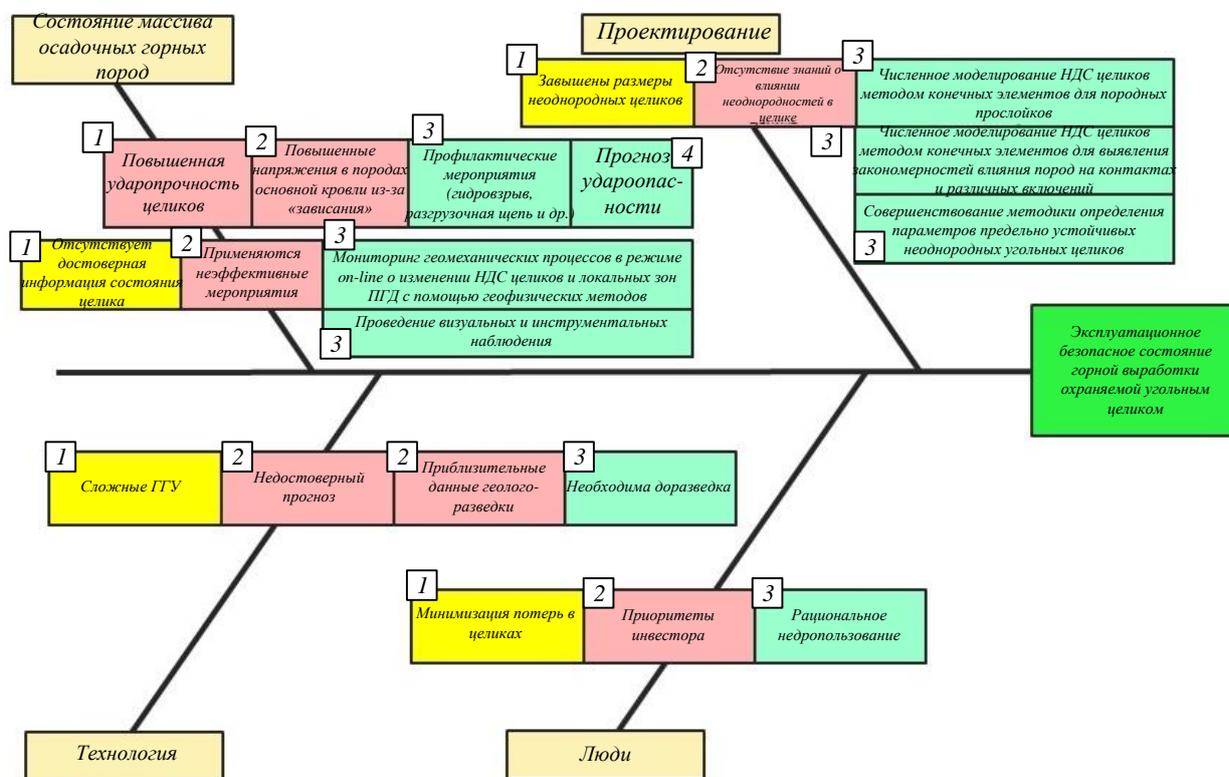


Рис. 2. Модифицированная диаграмма выявления причин с рекомендуемыми путями их устранения: 1 – проблема; 2 – причина; 3 – решение

нечные элементы (треугольники). Такое разбиение несет геометрическую информацию о заполнении области элементами, с каждым из которых связано определенное количество численных значений, необходимых для последующих вычислений (построение матриц, решение систем алгебраических уравнений, визуальное представление результатов и т. д.). Для любой задачи разбиение должно содержать сведения, необходимые на всех этапах решения. К этим сведениям относятся [8]:

- геометрическая информация (разбиение должно включать как можно более точное описание геометрического покрытия области, в которой проводятся вычисления);

- информация об интерполяции конечными элементами (разбиение должно определять выбранный способ интерполяции – число узлов в элементе, их список, их положения и т.д.);

- физическая информация (описание характеристик пород, нагрузок, сил, и т. д., при этом величины, содержащиеся в разбиении, должны допускать реализацию заданных краевых условий).

При построении геометрической модели обосновываются параметры разбиения области на горизонтальные слои, соответствующие условиям реального слоистого массива (см. рис. 1, методика, шаг 3а). Для детального моделирования с учетом геометрии горных выработок и элементов крепи подлежит обоснованию разбиение модели вертикальными линиями (методика, шаг 3б). Уменьшение размера конечного элемента служит основой для по-

вышения точности получаемых результатов [9].

На четвертом этапе обеспечивается адекватность математической модели условиям реального массива. Для достоверного прогноза параметров НДС с использованием комплекса программ CoalPillar и учетом всего многообразия горно-геологических условий и техногенного воздействия применяется настройка входных параметров математической модели по результатам мониторинга смещений горных пород. Общая схема мониторинга смещений горных пород включает оборудование наблюдательной станции (рис. 3) и измерение смещений реперов, установленных в кровле выработки (методика, шаг 4а). Результаты измерений оформляются в виде графиков.

Сущность настройки математической модели состоит в использовании результатов мониторинга в качестве граничных условий на контуре выработки с последующей корректировкой деформационных свойств пород в модели (методика, шаг 4б).

При необходимости выполняются специальные шахтные замеры и лабораторные исследования по выявлению особенностей деформирования и свойств пород и угля с учетом неоднородного строения массива.

На пятом этапе проводится численное моделирование НДС массива горных пород. Моделируется массив горных пород со слоистой структурой, конкретными условиями залегания пород и пластов с размещенными горными выработками.

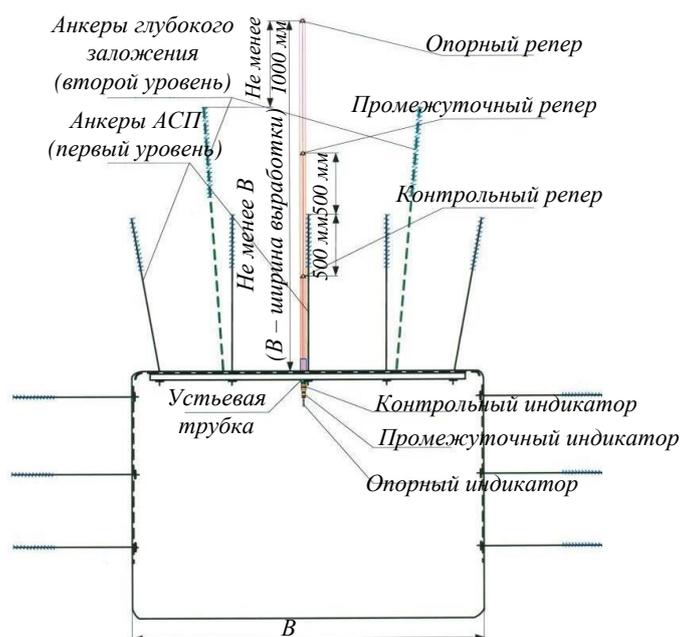


Рис. 3. Схема наблюдательной станции для измерения смещений пород кровли выработки

В процессе моделирования определяются геомеханические параметры с учетом изменения свойств пород и угля во времени. В зависимости от содержания решаемых задач имеется возможность выбрать один из следующих вариантов решения: упругое решение нетронутого массива; упругое решение массива с выработкой; упруго-пластическое решение с выработкой; упруго-пластическое решение с выработкой и с учетом времени. Существует возможность редактирования контуров выработок и выработанных пространств, учитывать изменения упругих и прочностных характеристик пород в модели.

После того, как задача решена численно, полученные результаты отображаются визуально. Для этого используется программа обработки и визуализации результатов моделирования Surfer, к графическим функциям которой относятся следующие: изображение линий, граней, различных видов; управление цветом; линии уровня на поверхности; разрезы; линии уровня в разрезе и др.

На шестом этапе выявляются по результатам численного моделирования закономерности и устанавливаются зависимости изменения геомеханических параметров в окрестности горных выработок. Численное моделирование МКЭ с помощью комплекса компьютерных программ CoalPillar позволяет установить качественный характер распределения геомеханических параметров в кровле, боках и почве горной выработки. Полученные на предыдущем этапе картины распределения полей напряжений, изолиний смещений подлежат анализу на предмет выявления влияющих факторов. Определяются зоны влияния размеров подземных выработок, выработанных пространств и целиков на НДС пород. Изучаются закономерности формирования возможных негативных проявлений горного давления. Для количественной оценки состояния массива в окрестности горных выработок выполняется корреляционный анализ взаимосвязей между распределением напряжений в целиках и горно-геологическими и горнотехническими условиями.

На седьмом этапе производится обоснование параметров неоднородных целиков. Полученные зависимости позволяют уточнить расчеты параметров крепи горной выработки и безопасных параметров целиков, используемых или планируемых к применению. Корреляционные уравнения позволяют оценить прогнозное состояние пород в целиках. Выявлено, что в краевых частях неоднородного целика напряжения изменяются на разную глубину с

различной интенсивностью. Это связано со значительными изменениями механических свойств и с неоднородностью строения и состава рабочих пластов и пород.

Таким образом, предложенная методика исследования состояния неоднородных угольных целиков позволит:

- оперативно и своевременно предоставлять информацию о состоянии неоднородных целиков в различных производственных ситуациях;
- осуществлять достоверный прогноз НДС неоднородных целиков методом численного моделирования;
- на каждом этапе эксплуатации целика предоставлять сведения об опасных участках для разработки рекомендаций по выбору способов охраны горных выработок;
- применять обоснованные параметры неоднородных целиков, тем самым обеспечивая устойчивость горных выработок и повышая безопасность ведения горных работ;
- получить изолинии распределения геомеханических параметров (напряжений, смещений и др.) по выбранному разрезу с нанесением фактически пройденных и проектных горных выработок для оценки НДС;
- оперативно решать технологические задачи с помощью компьютерного моделирования в периоды усложнения горно-геологических условий;
- оперативно сравнивать возможные варианты безопасного порядка ведения работ на стадии проектирования и эксплуатации горного предприятия;
- осуществлять сопровождение горных работ от проектирования горного предприятия до его ликвидации;
- используя широкие возможности МКЭ, моделировать горные выработки любой формы поперечного сечения, зоны обрушенных и уплотненных пород, элементы крепления выработок, задание внешней нагрузки в любой форме и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н. Численное моделирование упругопластического деформирования неоднородных угольных целиков в зоне влияния очистного выработанного пространства // Краевые задачи и математическое моделирование: Сб. науч. ст. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2014. С. 62 – 67.
2. Р и б С.В., Б а с о в В.В. Методика подготовки исходных данных для решения двумерных задач численного моделиро-

- вания неоднородных угольных целиков // Вестник СибГИУ. 2014. № 4. С. 11 – 13.
3. Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 367 – 372.
 4. Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н., В о л о ш и н В.А., Ч е р е п о в А.А. Закономерности формирования зон повышенного горного давления под влиянием угольного целика-штампа при отработке свиты пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7. С. 23 – 29.
 5. Н и к и т и н а А.М., Ф р я н о в В.Н. Геомеханическое обеспечение устойчивости подземных горных выработок в неоднородном углепородном массиве. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – 199 с.
 6. В е р ж б и ц к и й В.М. Основы численных методов: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 840 с.
 7. И с и к а в а К. Японские методы управления качеством / Сокр. пер. с англ. Под ред. А.В. Гличева. – М.: Экономика, 1988. – 214 с.
 8. Математика и САПР. В 2-х кн. Кн. 2. / Пер. с франц. / П. Ж е р м е н-Л а к у р, П.Л. Ж о р ж, Ф. П и с т р, П. Б е з ь е. – М.: Мир, 1989. – 264 с.
 9. Ш а й д у р о в В.В. Многосеточные методы конечных элементов. – М.: Наука, 1989. – 288 с.
- © 2015 г. С.В. Риб, В.В. Басов
Поступила 2 декабря 2015 г.

УДК 622.83:622'112

Е.М. Жуков¹, И.А. Лугинин¹, Ю.И. Кропотов¹, К.А. Зырянов¹, В.В. Басов²

¹ООО «ЭО «Экспертпромуголь»

²Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИН НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОРОД В КРОВЛЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Горные породы в естественном состоянии под влиянием циклических геотектонических процессов и изменяющихся при этом знакопеременных деформаций сжатия и растяжения подвергаются дезинтеграции с формированием системы блоков, границами которых являются трещины [1]. Возникшие на предыдущем геотектоническом цикле линеаменты могут служить каналами для миграции флюидов из земных недр или заполняться минеральными включениями. В структурированном блочном геомассиве в процессе поэтапного эволюционного изменения земных недр под влиянием знакопеременных напряжений формируются и прорастают новые трещины с пересечением линеаментов предыдущего геотектонического цикла. Указанные процессы являются следствием проявления общего закона универсаль-

ной фрактальной делимости нагружаемых твердых тел и сред [1, 2]. Таким образом, углепородный массив до начала ведения горных работ следует рассматривать как систему блоков, границами которых являются трехмерные сопряженные элементы: повреждения, трещины, разломы.

В процессе проведения и эксплуатации горных выработок возникают дополнительные техногенные напряжения, которые совместно с природными приводят к изменению иерархической структуры геосреды. Напряжения или силы, возникающие внутри массива горных пород вследствие проведения выработки и вызывающие деформации окружающих выработку горных пород, принято называть горным давлением.