

С.В. Риб

Сибирский государственный индустриальный университет

**АНАЛИЗ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОВЛИЯЮЩИХ
ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК И ЦЕЛИКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ
ПЛАСТОВ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ**

Массив горных пород является весьма сложной средой, в которой при ведении горных работ одновременно происходят процессы деформирования различного характера: допредельное (упругое и упруго-пластическое) и запредельное. Проведение горных выработок в массиве горных пород нарушает естественное равновесие, тем самым формирует в нем область опорного горного давления, состоящую из двух зон [1]. В предельно-напряженной зоне, непосредственно примыкающей к выработке, породы находятся в пластическом состоянии, а во второй зоне породы деформируются упруго. При этом границу раздела пластической и упругой зон, а также зависимость напряжений в этих зонах от параметров горной выработки можно установить лишь приближенно. Необходимо отметить, что прочность окружающих горных пород, как правило, существенно выше прочности угля в пласте, поэтому возможна ситуация, когда горные породы находятся еще в упругой стадии, а краевая часть пласта уже переходит в запредельное состояние.

Повышение надежности методов оценки напряженно-деформированного состояния элементов подземной геотехнологии (в том числе неоднородных угольных целиков) представляется возможным за счет рационального сочетания следующих подходов: натурных измерений, физического и математического моделирования.

Натурные исследования предполагают высокую стоимость, значительную трудоемкость, требуют довольно длительного времени. Кроме того, в натурных условиях ограничены возможности варьирования изучаемых параметров.

Одним из предназначений физического эксперимента является корректировка результатов исследований при математическом моделировании. В результате лабораторных испытаний на моделях из эквивалентных материалов в работе [2] отражены все стадии деформирования целиков: допредельное состояние (когда целик упруго изменял свои формы); предельное состояние (наличие начальных разрушений и

течение материала модели под действием предельной нагрузки с эффектом релаксации напряжений и, как следствие, снижение нагрузки на целик); запредельное состояние (с длительным процессом проявлений деформаций при поддержании внешней нагрузки, неизменной на определенном уровне). Выявленные закономерности, формы деформирования и разрушения целиков могут быть использованы для расчета параметров охранных целиков.

В настоящее время перспективным является математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Широкое распространение получил метод конечных элементов [3 – 5], с помощью которого моделируются трещиноватость, различные включения и сложные вырезы. В частности, для моделирования сцепления слоев на контактах используются специальные «контактные» элементы, а получение решения о распределении напряжений в ленточных целиках разных размеров не представляет сложности [6].

В зарубежной практике для решения такой задачи определенное распространение получили вероятностно-статистические методы (RFRI и др.) [7].

Для решения задач при исследовании условий работы целиков при подготовке выемочных столбов двумя штреками может применяться комплексный метод, в основе которого лежат физическое и компьютерное моделирование [8]; этот метод позволяет учитывать нелинейные реакции массива на техногенные воздействия и изменения физико-механических параметров массива.

Положительные результаты применения и развития численного моделирования неоднородных угольных целиков опубликованы в ряде работ [9, 10], но, несмотря на это, в горной геомеханике есть задачи, в которых не отражены фактическая структура массива и свойства его неоднородности. Например, пласты сложного строения вмещают в себя породные прослойки, минерализованные включения, размывы, разрывные нарушения и др. Включе-

ния (колчеданы) и породные прослои в пластах часто имеют свойства, существенно отличающиеся от свойств угля. Подготовительные выработки, пройденные по таким пластам, часто находятся в неудовлетворительном состоянии.

Условия осадконакопления кузнецких каменных углей и тектоническая активность бассейна предопределили разные формы залегания пластов и их нарушенность, разнообразие углей по физико-механическим свойствам [11, 12].

Таким образом, разработка метода прогнозирования геомеханических параметров взаимовлияющих подземных выработок и целиков при отработке угольных пластов сложного строения является весьма актуальной.

На шахтах юга Кузбасса при разработке угольных пластов средней мощности и мощных в основном используется система разработки длинными столбами с проведением сдвоенных подготовительных выработок с охраной их целиками угля. Большая изменчивость горно-геологических условий формирует сложную геомеханическую обстановку, что требует от инженеров глубоких знаний о влиянии различных факторов на характер распределения напряжений в окрестности горных выработок и в целиках.

Всесторонний анализ научной литературы позволил выделить участки околотрековых целиков, в которых прогнозируется ухудшение геомеханических условий. Такие участки возникают при неблагоприятных сочетаниях напряжений в зоне опорного давления от движущихся забоев и существующих в пласте от влияния выработки. При выделении характер-

ных участков исследовали параметры массива в выемочном поле согласно развития горных работ. Выделено пять участков (рис. 1), которые соответствуют различным стадиям деформирования целиков:

- 1 – выработки проведены, целик сформирован;
- 2 – целик находится под влиянием опорного давления лавы с одной стороны;
- 3 – влияние на целик выработанного пространства с одной стороны;
- 4 – целик находится под влиянием опорного давления второй лавы;
- 5 – влияние на целик выработанного пространства с двух сторон.

В массиве вокруг взаимовлияющих выработок и целиков распределение напряжений имеет более сложный характер и протекает в значительно большей области по сравнению с одиночной выработкой.

На картину распределения напряжений в окрестности взаимовлияющих выработок и целиков на выше обозначенных участках влияет комплекс горно-геологических, горнотехнических и технологических факторов:

- максимальные горизонтальные напряжения;
- разнородность предельных напряжений внутри неоднородных целиков (краевые части становятся податливыми задолго до того, как на всей площади целика будут достигнуты максимальные нагрузки (рис. 2));
- размеры целика;
- учет ширины выработанного пространства;
- соотношение ширины и высоты выработки;

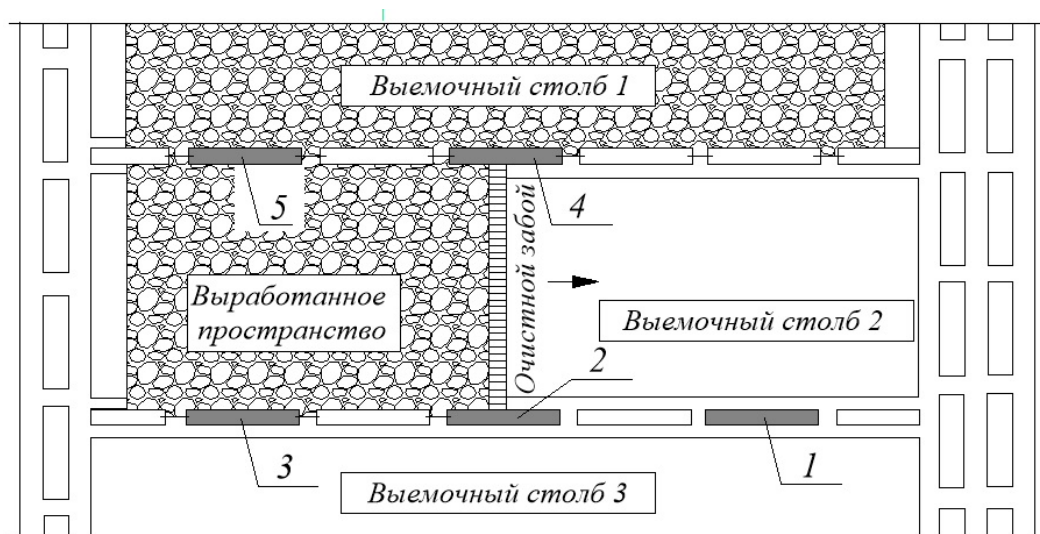


Рис. 1. Последовательность деформирования (1 – 5) околотрековых целиков с учетом их пространственно-временного расположения

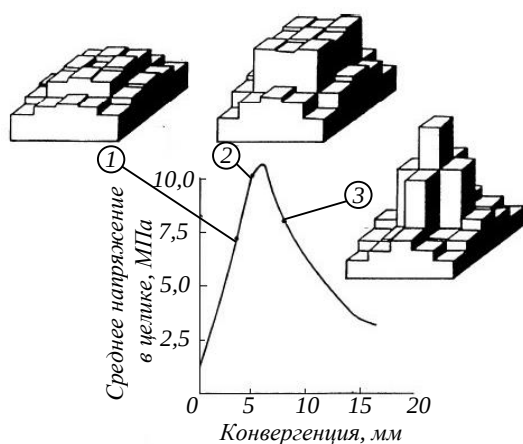


Рис. 2. Распределение напряжений в угольных целиках [13]

- дополнительная нагрузка на целик приходится со стороны зон повышенного горного давления, которые создаются от краевых частей и целиков при разработке свиты;
- форма и площадь поперечного сечения выработки;
- чередование и мощность слабых и прочных слоев пород;
- трещины отдельностей и кливажа;
- разрывные нарушения;
- породные прослои и минерализованные включения в пласте;
- глубина залегания и угол падения разрабатываемого пласта;

– типы связей целика с породами кровли и почвы (полное сцепление, неполное сцепление и сухое трение, связь через пластичные прослойки);

– деформация подготовительных выработок (пучение почвы, вывалы, откольные явления в краевых частях), охраняемых целиками, не должна быть больше критических значений по безопасности.

Влияющие факторы взаимосвязаны и проявляются раздельно или в различных сочетаниях. Можно предположить, что устойчивость подготовительной выработки, охраняемой неоднородными целиками, определяется взаимовлияющими элементами геомеханической системы. Здесь геомеханическая система «устойчивая подготовительная выработка, охраняемая неоднородным целиком» – это совокупность основных элементов (неоднородный целик, вмещающие породы, крепь горной выработки, крепь усиления, очистной забой), объединенных пространственно-временным взаимодействием. Участие каждого элемента в равновесии системы может быть различным в зависимости от участка (рис. 1), на котором функционирует целик.

Очевидно, что все элементы геомеханической системы оказывают влияние на ее устойчивость (рис. 3). Прямое влияние на все элементы оказывает очистной забой, что подтверждает мнение о тщательном анализе влияния на систему этого элемента.

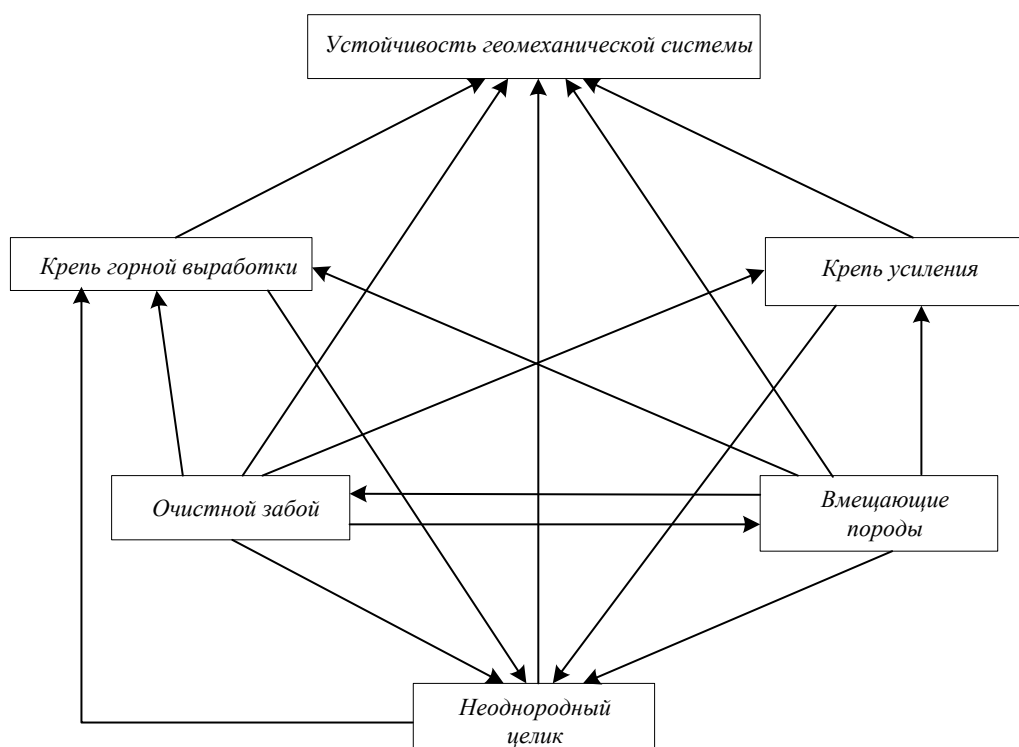


Рис. 3. Взаимосвязь элементов геомеханической системы

Выводы. Расчетным путем получить надежные результаты по оценке состояния целиков достаточно сложно из-за многочисленности влияющих факторов, а оценку состояния целиков и, соответственно, прогноз устойчивости подготовительных выработок необходимо проводить с учетом последовательного деформирования целиков, исходя из анализа совместного влияния вышеописанных факторов для разработки рекомендаций по усилению крепи выработок анкерами и упрочнению целиков или придания им податливости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ф и с е н к о Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 272 с.
2. Т и т о в Н.В., С и н я у с к а с С.В. Исследование деформационных процессов и разрушений «жестких» целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 4. С. 63 – 66.
3. Ф а д е е в А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
4. Р и б С.В., Д о м р а ч е в А.Н. Разработка алгоритма оценивания напряженно-деформированного состояния неоднородного угольного целика с использованием двух- и трехмерной реализации метода конечных элементов – В кн.: Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X Всероссийской научно-практ. конф-и / Под общ. ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. С. 465 – 469.
5. Г о в о р у х и н Ю.М. Методика разработки исходных данных для моделирования геомеханических процессов, происходящих в выработанном пространстве. – В кн.: Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Труды Международной научно-практ. конф-и. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2011. С. 112 – 115.
6. Р и б С.В. Закономерности распределения напряжений в неоднородных угольных целиках. – В кн.: Нетрадиционные и инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сб. науч. ст. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. С. 148 – 153.
7. Методология анализа и оценки риска при ведении аварийно-спасательных работ на горных предприятиях / А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов, Ю.М. Говорухин, А.В. Масленков. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2013. – 185 с.
8. З у е в Б.Ю., Р о м а ш к е в и ч А.А., Ю т я е в Е.П., Л о г и н о в М.А. Исследование условий работы целиков и поддержания выработок при подготовке выемочных столбов спаренными выработками // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 4. С. 7 – 12.
9. Х о м я к о в а А.А., Р и б С.В., Н и к и т и н А.М. Исследование влияния убывающего целика на напряженно-деформированное состояние пород почвы горной выработки. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2014. С. 5 – 8.
10. Р и б С.В., Б а с о в В.В. Методика численного исследования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков с применением современных компьютерных технологий // Вестник СибГИУ. 2015. № 4. С. 22 – 26.
11. Месторождения полезных ископаемых: учеб. для вузов / В.А. Ермолов и др.; под ред. В.А. Ермолова. – М.: изд. МГГУ, 2004. – 570 с.
12. К у н т ы ш М.Ф., Б а р о н с к а я Э.И. Методы оценки свойств угольных пластов сложного строения. – М.: Наука, 1980. – 144 с.
13. W a g n e r H. Determination of the complete load deformation characteristics of coal pillars. – Proc. 3d Congr. Int. Soc. Rock Mech. – Denver, CO, 1974. P. 1076 – 1081.

© 2016 г. С.В. Риб

Поступила 4 сентября 2016 г.