УДК 622.838.53

М.Г.МУСТАФИН, *д-р техн. наук, заведующий лабораторией, mustafin_M@mail.ru*
С.Н.ЗЕЛЕНЦОВ, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник, mustafin_M@mail.ru*
Е.И.КУЗНЕЦОВА, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник, mustafin_M@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)
А.А.РОЖКО, *главный маркшейдер, Anatoly.rozko@eurochem.ru*
ЗАО «Еврохим», Котельниково

M.G.MUSTAFIN, *Dr. in eng. sc., head of laboratory, mustafin_M@mail.ru*
S.N.ZELENTSOV, *PhD in eng. sc., senior research assistant, mustafin_M@mail.ru*
E.I.KUZNETSOVA, *PhD in eng. sc., senior research assistant, mustafin_M@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)
A.A.ROZHKO, *chief mine surveyor, Anatoly.rozko@eurochem.ru*
Eurokhim Co, Kotelnikovo

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотрены существующие нормативные положения в области сдвижения горных пород и охраны инженерных объектов от вредного влияния горных разработок. Подчеркивается о необходимости переработки ряда положений в соответствии с реалиями горного производства. Даны предложения по совершенствованию нормативных положений.

Ключевые слова: сдвижение горных пород, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород, земная поверхность.

PROBLEMATIC ASPECTS IN ROCK MOVEMENT

The paper considers the existing standards in the field of rock movement and protection of engineer constructions from harmful influence of mining operations. It is emphasized the necessity in revision of some standards in compliance with the real mining production.

Key words: rock movement, stress-strain state, rock mass, earth surface.

Являясь разделом горной геомеханики, сдвижение горных пород рассматривает общие закономерности поведения массива горных пород во всей области влияния горных выработок [1]. Таким образом, качество решения вопросов сдвижения горных пород определяет уровень разработок в целом ряде направлений горной геомеханики, рассматривающих специальным образом лишь часть массива горных пород, например, на предмет устойчивости, разрушения и форм разрушения элементов системы разработки. В этой связи ранее уделялось большое внимание решению вопросов сдвижения горных пород. Регулярно разрабатывались Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок.

Наибольшие успехи в исследованиях процесса сдвижения достигнуты для угольных месторождений. Существующие Правила охраны [2] для угольных месторождений разработаны более 10 лет назад. В основном они базируются на результатах исследований, проведенных до 90-х годов прошлого столетия.

Рассмотрим наиболее существенные вопросы, которые необходимо решить и включить в современные Правила охраны.

Разработка угольных пластов на шахтах России в последние годы характеризуется

применением интенсивных технологий с существенным увеличением нагрузки на отдельный очистной забой и, соответственно, скорости его подвигания. Если 15-20 лет назад скорости подвигания очистных забоев редко превышали 100 м/мес., то в настоящее время они достигли 250 м/мес. и более. При этом примерно в таком же соотношении увеличилась длина лав. В разы также увеличилась и длина очистных столбов. Нагрузки на очистной забой в отдельные сутки доходят до 20000 т, что говорит о возможности в ближайшей перспективе доведения скоростей подвигания очистных забоев до 400-500 м/мес.

В действующих Правилах охраны [2] – основном нормативном документе, регламентирующем условия выемки угля под застроенными территориями, к одним из главных факторов, влияющих на характер деформирования пород, относят скорость подвигания очистного забоя. Однако учитывается скорость подвигания очистных забоев до 150 м/мес., что существенно меньше достигнутых на сегодняшний день, не говоря уже о прогнозных. Кроме того, в этом документе скорость подвигания приводится для определения общей продолжительности процесса сдвижения пород и не связана с его показателями для толщи и земной поверхности.

В условиях высоких скоростей подвигания очистных забоев существенно меняется характер деформирования и сдвижения массива горных пород. Предварительные расчеты показывают [3], что рост скорости отработки продуктивного пласта ведет к более выраженной дискретности процесса обрушения пород. При высоких скоростях подвигания забоя разрушение кровли происходит с большим динамическим эффектом за счет увеличенных пролетов обрушения пород. Последние аварии на шахтах Кузбасса являются тому подтверждением.

Когда скорость подвигания очистного забоя существенно меньше скорости разрушения подрабатываемого массива пород (малая скорость), т.е. когда при каждом условном шаге подвигания лавы полностью, с учетом реологических факторов реализуется процесс разрушения пород, то можно говорить об отсутствии влияния скорости подвигания очистного забоя на конечные деформации в массиве и на земной поверхности, а также на нагрузки в краевых частях угольного пласта. Надо заметить, что такие скорости подвигания очистных забоев в основном были до 90-х годов прошлого столетия. С этим связан небольшой интерес к этому вопросу в то время и малое количество публикаций.

Когда в упомянутом соотношении скорости подвигания очистного забоя превалирует высокая скорость, то происходит и уменьшение общей продолжительности процесса сдвижения и, соответственно, величин деформаций на земной поверхности. В определенной мере увеличение скорости подвигания очистного забоя можно уподобить уменьшению вынимаемой мощности угольного пласта. При высоких скоростях в слоистом массиве с относительно прочными породами кровля разрушается более крупными блоками. Соответственно, они берут на себя большие нагрузки при зависании образовавшейся консоли и создают повышенное давление на приконтурные области выработки.

Таким образом, для определенных горно-геологических и горно-технических условий существует критическая или оптимальная скорость подвигания очистного забоя.

Один из главных факторов в этом временном процессе принадлежит ползучести пород. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом скорости подвигания очистного забоя и эффекта ползучести пород, выполненное с использованием программного комплекса «НЕДРА» [1] показало, что картины разрушений пород для условий неполной подработки могут иметь несимметричный характер относительно середины выработанного пространства. При этом, когда скорость высока, призабойная область массива горных пород может не испытывать значительных разрушений. Но в ней накапливается большая энергия упругих деформаций (эффект зависания кровельных породных слоев – консоли), разрушение

этой консоли может произойти с динамическим эффектом. Остановки лавы также опасны и могут привести к обрыву зависшей консоли.

Результаты натурных наблюдений за сдвижением земной поверхности при высоких скоростях подвигания очистного забоя показали [3], что оседания в мульде сдвижения получаются меньшими по сравнению со случаем медленного движения очистного забоя, что является подтверждением сделанным выводам.

Следующим важным вопросом сдвижения горных пород является установление допустимых деформаций земной поверхности для различных инженерных объектов.

В действующих нормативных документах [2] не приведены величины допустимых деформаций земной поверхности для высоконапорных (с избыточным давлением более 2,5 МПа) подземных газо- и нефтепроводов. Также нет значений допустимых деформаций земной поверхности для стальных труб большого диаметра (более 600 мм). Отсутствуют допустимые деформации земной поверхности для бесстыкового железнодорожного пути. Между тем в настоящее время широко используются газо- и нефтепроводы с трубами диаметром более 1 м и с внутренним давлением 5 МПа и более. То же относится и к бесстыковому железнодорожному пути.

Рассмотрим подход к решению отмеченных вопросов на примере проектируемой выемки запасов Гремячинского месторождения калийных солей в условиях подработки газопровода, нефтепровода и бесстыкового железнодорожного пути.

Расчет допустимых горизонтальных деформаций земной поверхности для газо- и нефтепровода выполнялся итерационным методом. Сначала определялись параметры процесса сдвижения (вероятные параметры сдвижения) для разной эффективной мощности разрабатываемой залежи. Затем эти величины подставлялись в формулы по определению напряжений, возникающих в трубопроводе в условиях подработки [4]. Результаты сравнивались с предельными напряжениями для трубопроводов и при достижении их равенства итерационный процесс заканчивался.

На основе этих расчетов приняты допустимые горизонтальные деформации, которые составили для газопровода $[\varepsilon]_{\text{доп}} = 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ и для нефтепровода $[\varepsilon]_{\text{доп}} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$.

Определение допустимых деформаций для бесстыкового пути, расположенного на территории Гремячинского месторождения калийных солей, проводилось на основе следующих установленных закономерностей.

Анализ ряда исследований показал, что деформация сжатия рельса примерно на порядок меньше, чем деформации на земной поверхности. По исследованиям ВНИИЖТа допускаемое продольное усилие в рельсе составляет 2229,2 кН. Проведенный расчет максимального продольного усилия в рельсах от воздействия горизонтального сдвижения земной поверхности при отработке угольного пласта мощностью 4,2 м на глубине 285 м лавой длиной 247 м на конечную стадию процесса сдвижения составляет 4500 кН [4]. В условиях Гремячинского месторождения эффективная мощность равна 1,05 м, а глубина более чем в три раза больше. Это косвенно свидетельствует, что подработка бесстыкового пути возможна. Подработка бесстыкового железнодорожного пути ранее была регламентирована Общими правилами охраны сооружений и природных объектов (1974), а также Правилами охраны сооружений (1981), безопасной глубиной, рассчитываемой по формуле $H_{\delta} = K_{\delta} m$, где $K_{\delta} = 400$. При отработке залежей Гремячинского месторождения с последующей закладкой выработанного пространства $m_{\text{э}} \approx 1{,}05$ м; $H_{\text{факт}} > H_{\text{разр}}^{\text{безоп}}$; $H_{\text{факт}} = 1100$ м, $H_{\text{разр}}^{\text{безоп}} = 1{,}05 \times 400 = 420$ м.

Таким образом, и в этом случае, поскольку $H_{\text{разр}}^{\text{безоп}} < H_{\text{разр}}^{\text{факт}}$, можно считать допустимыми максимальные значения деформации сжатия 2 мм/м, наклонов 4 мм/м, (критические значения деформаций, принятые для определения зоны опасных сдвижений при подработке сооружений).

Полученные результаты используются при установлении параметров системы разработки Гремячинского месторождения калийных солей.

Приведенные вопросы и пути их решения убедительно свидетельствуют о необходимости совершенствования Правил охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок для угольных, а также рудных и нерудных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геомеханические аспекты сдвижения горных пород при подземной разработке угольных и рудных месторожений / А.Г.Акимов, В.В.Громов, Е.В.Бошенятов, С.Н.Зеленцов, Е.И.Кузнецова и др.; ВНИМИ. СПб, 2003.

2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / ВНИМИ. СПб, 1998.

3. *Мустафин М.Г.* Оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на изменение динамики нагружения краевых частей выработки и характер сдвижения подработанного массива горных пород / ВНИМИ. СПб, 2006.

4. *Яковлев Д.В.* Сдвижение пород блочного горного массива при высоких техногенных нагрузках / Д.В.Яковлев, М.Г.Мустафин; XIII Международный конгресс по маркшейдерскому делу. Будапешт, 2007.

REFERENCES

1. Geomechanical aspects of rock movements in underground mining of coal and ore deposits / Akimov A.G., Gromov V.V., Bosheniatov E.V., Zelentsov C.N., Kuznetsova E.I.; VNIMI. Saint Petersburg, 2003.

2. Regulations for protection of constructions and natural objects from harmful influence of underground mining at coal deposits / VNIMI. Saint Petersburg, 1998.

3. *Mustafin M.G.* Assessment of influence of speed of working face advance on change in dynamics of loading of marginal parts of workings and pattern of movement of undermined rock mass / VNIMI. Saint Petersburg, 2006.

4. *Yakovlev D.V., Mustafin M.G.* Rock movements of blocky rock mass under high technogenic loads / XIII International Congress on Mine Surveying Art. Budapest, 2007.