

Н.И. СТУПНИК, В.И. НИКОНЕЦ, В.А. КАЛИНИЧЕНКО, доктора техн. наук, проф.,  
Е.В. КАЛИНИЧЕНКО, канд. эконом. наук, доц., Криворожский национальный университет,  
И.А. ГОРБАТЕНКО, ПАО «Марганецкий ГОК»

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ДЛЯ ВЫРАБОТОК, ПРОВОДИМЫХ В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ**

В представленной работе рассмотрены результаты исследований геомеханических процессов, протекающих в недрах при выемке марганцевой руды подземным способом. Определены закономерности скорости опускания кровли на сопряжениях очистных выработок в зависимости от мощности глин кровли рудного пласта. Установлены зависимости параметров анкерной крепи от скорости опускания кровли на сопряжениях очистных выработок. На основании выполненных исследований была разработана и внедрена в производство анкерная крепь, состоящая из анкеров, выполненных из арматурной стали. Установка анкеров осуществляется путем вдавливания их в породу и руду с помощью гидравлической установки. Во время шахтных исследований на ПАО «Марганецкий ГОК» была установлена оптимальная плотность установки анкеров, которая составила 5 анкеров/м<sup>2</sup>, а также зависимость оптимальной длины анкера от скорости опускания кровли на сопряжениях очистных выработок.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В Украине разрабатывается самое большое в Европе месторождение марганцевой руды, которое представляет собой горизонтальный рудный пласт со средней мощностью 1,5-2,5 м на глубине 70-120 м. На шахтах ПАО «Марганецкий ГОК» руда в основном состоит из глинистых частиц с включениями небольших по размеру твердых марганцевых минералов. В кровле рудного пласта залегает твердопластичная глина мощностью в среднем от 4 до 16 м, в почве - обводнённая песчано-глинистая порода. Геомеханические процессы, протекающих в недрах при выемке марганцевой руды подземным способом, характеризуются опусканием кровли на сопряжениях очистных выработок. Скорость опускания кровли зависит, в частности, от мощности глин кровли рудного пласта. При анкерном креплении сопряжений очистных выработок параметры анкерной крепи зависят от скорости опускания кровли.

**Анализ исследований и публикаций.** Обеспечение устойчивости горных выработок - одна из главных задач, возникающих при строительстве и эксплуатации горнодобывающих предприятий. Теория горного давления говорит о том, что главными факторами, определяющими поведение горного массива вокруг горной выработки, являются напряженное состояние массива и физико-механические свойства пород.

Анкерная крепь состоит из системы армирующих элементов, которые закреплены в шпурах или скважинах, пробуренных, как правило, в кровле горной выработки, которые предназначены для предотвращения обрушения ослабленных пород за счет их скрепления и подвески к устойчивой части породного массива [1-6].

Применяют два способа установки анкеров: по первому арматурный стержень вдавливают или забивают в предварительно заполненный вязущим раствором шпур, по второму его вводят в пустой шпур, а затем заполняют вязущим раствором. Наиболее часто используют первый способ.

Так на ряде финских рудников («Коталахти», «Пюхасалми», «Виханти» и др.) вновь вернулись к широкому использованию железобетонных анкеров, хотя по прежнему применяют и сталеполномерные анкеры и анкеры типа «Сплит-Сет» [4]. В качестве арматуры на этих предприятиях используют стержни периодического профиля диаметром 16-20 мм. Длина анкеров составляет 2,4 м. Раствор для закрепления арматуры состоит из цемента и классифицированных хвостов обогатительной фабрики в соотношении 1:1 с добавкой 1 % бентонита от массы смеси. Водоцементное отношение равно 0,4. Цементный раствор вводят в шпуры специальными или строительными раствором-нагнетающими насосами после установки арматуры.

В ФРГ разработаны гибкие анкеры с высокой несущей способностью, которые можно вводить в шпуры или скважины вручную, а затем цементировать в массиве способом нагнетания [5]. Работы по бурению шпуров (скважин) и установке анкеров могут быть организованы параллельно. Такие анкеры пригодны для крепления выработок малой и средней ширины с различными схемами расположения анкеров. Для очень широких выработок из соображений эко-

номии рекомендуется комбинировать гибкие цементные анкеры с расположенными у стенок рядами подхватов.

Гибкие анкеры представляют собой пучок тонких стальных штанг. Они достаточно гибки, что дает возможность вручную вводить их в шпур или скважину даже при небольшом сечении выработки, а также обладают высокой несущей способностью - до 300 кН. Штанги пучка сварены с опорной плитой под углом, соответствующим углу наклона шпура (скважины) относительно стенки. Опорная плита анкера плоская и не имеет выступающих частей, что является очень важным фактором при использовании самоходной техники. Устье шпуров или скважин под анкер закрывают уплотнением, через которое в них нагнетают раствор по размещенному в пучке шлангу для выпуска воздуха, благодаря чему обеспечивается надежное закрепление анкера. Анкерную плитку при установке крепи поджимают к кровле легкой распорной стойкой, вдавливающей уплотнение к устью шпура или скважины и плотно прижимающей затяжку к кровле выработки. Цементирующий раствор готовят из двух компонентов в стационарной мешалке и по шлангу подают в шпур (скважину).

За рубежом предложена также конструкция гибкого цементируемого анкера с предварительным натяжением, которая получает все большее распространение. Эти анкеры представляют собой связанные в пучок пряди стальной проволоки высокой прочности. На отрезке, где между анкером и стенками шпура (скважины) имеется зазор, пучок стальных прядей помещают в пластмассовую оболочку. Предварительное натяжение задают с помощью выступающей из шпура (скважины) натяжной головки. Достижение заданного предварительного натяжения одновременно является гарантией хорошего сцепления анкера с породами. Такая система крепления более экономична, так как позволяет обходиться почти вдвое меньшим числом анкеров, чем при их использовании без предварительного натяжения [6].

В США запатентована конструкция анкера с головкой, состоящая из конуса, навинченного на один из концов анкерного стержня, упорного кольца и роторной втулки. При вращении стержня конус перемещается к упорному кольцу и распорная втулка расширяется до упора в стенки шпура. Для герметизации шпура используют втулку-уплотнитель, через которую пропущена трубка для нагнетания цементного раствора в шпур. Воздух из полости шпура, вытесняемый цементным раствором, выходит через сквозной канал в стержне [6].

К недостаткам анкеров, закрепляемых смесями на основе цемента, следует отнести их плохое сопротивление сдвиговым напряжениям, относительно длительный промежуток времени, необходимый для набора прочности, трудоемкость приготовления и транспортировки бетонных смесей, необходимость контроля полноты заполнения шпуров или скважин бетоном при инъектировании.

**Постановка задачи.** Таким образом, целью данной работы является разработка технологических решений и рекомендаций по выбору рационального типа крепления горных выработок и их сопряжений для уменьшения затрат и повышения безопасности работ, в том числе за счет использования новейших технологий.

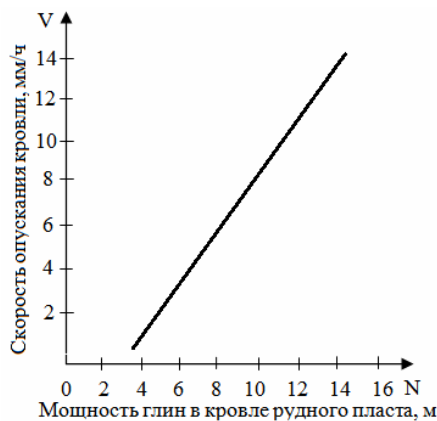
**Изложение материала и результаты.** Разработка месторождения ПАО «Марганецкий ГОК» ведётся длинными узкими камерами, руда отбивается малогабаритными комбайнами и с помощью конвейеров выдаётся на поверхность. Крепление выемочных штреков производится кольцевой шарнирно-податливой крепью из шахтного спецпрофиля СВП-27. Диаметр выработок в свету составляет 3,0 и 3,3 м, плотность крепи - две рамы на 1 м горной выработки.

В связи с недостаточной несущей способностью применяемой крепи, выемочные штреки и их сопряжения с очистными выработками неоднократно перекрепляются, что приводит к большим материально-трудовым затратам.

С целью снижения затрат были проведены шахтные исследования, которые показали, что на величину горного давления оказывают влияние три основных фактора:

- мощность глины непосредственной кровли рудного пласта;
- глубина залегания;
- мощность рудного пласта [7].

Первый фактор оказался основным, поэтому была установлена зависимость скорости опускания кровли на сопряжениях очистных выработок от мощности глины, залегающей над рудным пластом, рис. 1.



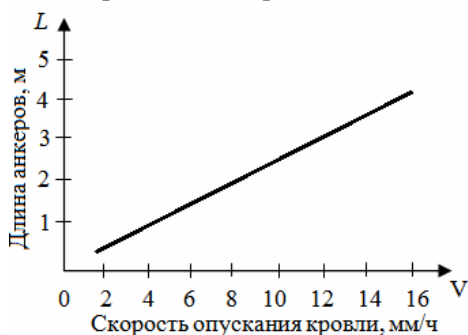
**Рис. 1.** Зависимость скорости опускания кровли на сопряжениях очистных выработок от мощности глин кровле рудного пласта

Эти исследования позволили разработать, испытать и внедрить в производство анкерную крепь для выемочных штреков. Эта крепь состоит из анкеров из арматурной стали 0,22 мм длиной от 1,0 до 4,0 м, ограждения (затяжки) из металлического просечно-вытяжного листа толщиной 3,5 мм и пластин под головки анкеров.

Анкеры внедряются (вдавливаются) в породу и руду с помощью гидравлической установки по всему периметру горных выработок. Производительность установки составляет 10-20 анкеров/ч.

В процессе шахтных исследований анкерной крепью и комбинированной анкерно-рамной крепью было закреплено около 2500 м горных выработок. В частности, были закреплены транспортные сбойки на шахте № 9/10 и выемочные штреки шахты № 8. Применение анкерной крепи позволило снизить материально-трудовые затраты в 1,5 - 2,5 раза. Кроме этого, применение анкерно-рамной крепи позволило уменьшить плотность рамной крепи в 1,5-2 раза и снизить затраты на 25-30 %.

Во время шахтных исследований была установлена оптимальная плотность анкеров, которая составила 5 анкеров/м<sup>2</sup>, а также зависимость оптимальной длины анкера от скорости опускания кровли на сопряжениях очистных выработок, рис. 2.



**Рис. 2.** Зависимость длины анкера от скорости опускания кровли на сопряжениях очистных выработок

Оптимальная длина анкера определялась таким образом, чтобы обеспечить сохранность горных выработок вне зоны влияния очистных работ, а также безремонтное поддержание сопряжений очистных выработок в зоне ведения очистных работ.

Исследования показали, что длина зоны влияния очистных работ, где проявляется высокое опорное горное давление, составляет 60-120 м, а длина наиболее разрушительной его части - 25,40 м [8].

В этой зоне рамная крепь, предварительно потерявшая часть своей конструктивной податливости, с нарушенными вокруг неё породами, интенсивно деформируется и разрушается. По мере приближения очистных работ к каждой раме крепи скорость её деформации увеличивается и на сопряжениях очистных выработок большинства шахт составляет 7-18 мм/ч. Рабочие очистных бригад отвлекаются на перекрепление выемочных штреков и их сопряжений, что приводит к снижению производительности очистных забоев.

Отличительной особенностью анкерной крепи является то, что она положительно влияет на геомеханические процессы в массиве вокруг выработок. Закрепленные анкерами породы препятствуют отслаиванию породы и ее равновесное состояние вокруг выработок не нарушается.

Анкерная крепь является средством искусственного упрочнения пород вокруг выработок путём их армирования и сжатия анкерами, которые вне зоны опорного горного давления предотвращают возникновение в породах растягивающих напряжений. В зоне опорного горного давления вокруг анкеров образуются конусообразные сжатые зоны породы, которые по мере увеличения опорного давления накладываются одна на другую и формируют единую зону сжатых пород. В этих зонах растягивающие напряжения остаются в небольших по высоте конусах между головками анкеров и существенной роли в поведении заанкерowanego массива не играют [9].

Следует отметить, что при применении рамной крепи геомеханический процесс образования вокруг выработок зоны неупругих деформаций начинается сразу же после её установки в забое. В случае применения анкерной крепи этот процесс начинает развиваться только вблизи очистных работ и носит замедленный характер, а эксплуатация выработок и их сопряжений производится без опасных разрушений крепи и обрушений породы.

Следовательно, основными задачами анкерной крепи в выработках, расположенных вне зоны влияния очистных работ, будет:

сохранение приконтурного массива пород в первозданном состоянии;  
недопущение преждевременного развития геомеханического процесса отслоения пород и формирования зоны неупругих деформаций;

снижение материальных и трудовых затрат при креплении выработок и их поддержание при эксплуатации.

Основные задачи анкерной крепи в выработках, попадающих в зону влияния очистных работ, заключаются в следующем:

замедление процесса развития зоны неупругих деформаций и скорость смещения породного контура;

сохранение эксплуатационной высоты выработок и исключение их перекрепления;

обеспечение безопасного и безремонтного поддержания их сопряжений.

Основными направлениями дальнейших исследований являются следующие:

замена металлического ограждения выработок из просечно-вытяжного листа на ограждение из стеклоткани шахтного исполнения;

совершенствование конструкции составных анкеров длиной более 3 м.

Расчет экономической эффективности от внедрения технологической карты на установку анкерной крепи для выемочных штреков выполняется для следующих условий. Крепь состоит из анкеров из арматурной стали 0,22 мм длиной от 1,0 до 4,0 м, ограждения (затяжки) из металлического просечно-вытяжного листа толщиной 3,5 мм и пластин под головки анкеров.

Анкеры внедряются (вдавливаются) в породу и руду с помощью гидравлической установки по всему периметру горных выработок. Производительность установки составляет 10-20 анкеров/ч.

Расчет экономической эффективности выполняется по формуле

$$\mathcal{E} = [(C_1 - C_2) + E_n(K_1 - K_2)],$$

где  $A$  - годовой объем внедрения;  $C_1$  и  $C_2$  - себестоимость выполнения единицы работ сравниваемых вариантов;  $E_n$  - нормативный коэффициент эффективности;  $K_1$  и  $K_2$  - капитальные вложения (стоимость основных производственных фондов) на единицу работ сравниваемых вариантов.

Экономическая эффективность от внедрения предлагаемой технологии составит 19080 грн. на 1000 т добычи.

**Выводы.** Выполненные исследования позволили разработать технологические решения и рекомендации по выбору рационального типа крепления горных выработок и их сопряжений, что позволяет улучшить условия труда и безопасность работ, а также повысить экономическую эффективность анкерного крепления.

#### *Список литературы*

1. Вольфсон П.М., Дидок А.В., Петик В.В. Новый тип крепи сопряжений выработок выпуска и доставки на рудниках Криворожского бассейна // Горный журнал – 1995 -№1. – С. 31-34.
2. Анкерная крепь: Справочник / А.П. Широков, В.А. Лидер, М.А. Дзауров и др. – М.: Недра, 1990.
3. Калиниченко В.А., Горбатенко И.А. Исследование влияния параметров анкерной крепи на высоту выемочных штреков / Гірничий вісник: – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 95 (1). – С. 183-186.
4. Larpainen P., Pulainen J., Kuparinen J. Use of steel strands in cable bolting and rock bolting. Rock Bolting: Theory and Appl. Mining and Underground Construction Processing International Symposium Abisco, 1983, 28 Aug. – 3 Sept., Rotterdam, Boston. 1984.- P. 557-562.
5. Гетце В., Штефан П., Виганд Х.А. Границы применения и будущее развития анкерной крепи // Глюкауф. 1982, №11. – С. 16-25.
6. Современные конструкции анкерной крепи и оборудование для ее установки, применяемые на зарубежных рудниках / А.И. Юхимов, В.Г. Гальперин // Центр. науч.-исслед. ин-т информации и техн.-эконом. исслед. черн. мет. – М., 1988.
7. Никонец В.И. Инструкция по выбору крепей очистных выработок и их сопряжений на шахтах Приднепровского марганцеворудного месторождения. - Кривой Рог. - Научно-исследовательский горнорудный институт, 1989.
8. Никонец В.И. Результаты промышленных испытаний анкерной крепи в Никопольском бассейне. Кривой Рог. Научно-исследовательский горнорудный институт. 2003.
9. Якоби О. Практика управления горным давлением. М.: Недра, 1987.

Рукопись подано до редакції 21.03.14