



Р. Н. ТЕРЕЩУК,
канд. техн. наук
(Национальный горный
университет)

УДК 622.281.74

Определение рациональной плотности анкерования наклонных выработок

Приведены результаты математического моделирования рамно-анкерной крепи, установленной в наклонной выработке, для условий пласта m_5^{1B} шахты «Добропольская» ООО «ДТЭК Добропольеуголь». Получены зависимости изменения смещений кровли и почвы при разном количестве анкеров. Определена рациональная плотность анкерования приконтурного массива наклонных выработок для данных условий.

Ключевые слова: наклонная выработка, рамно-анкерная крепь, математическое моделирование.

Контактная информация: Tereschuk_rm@mail.ru

Строительство и эксплуатация подземных объектов сопряжены с необходимостью проведения большого объема горных выработок. Одна из характерных особенностей современного подземного и, особенно, шахтного строительства – значительное усложнение горно-геологических условий. Поэтому успешное решение задач, связанных с обеспечением эксплуатационной надежности горных выработок, во многом зависит от степени совершенства используемых инженерных конструкций.

Максимально возможное использование естественной несущей способности вмещающих выработку пород, а также разработка технологических решений, увеличивающих их прочностный и деформативный запас – в настоящее время наиболее перспективный и экономически оправданный комплекс работ при сооружении и поддержании горных выработок, реализация которого возможна на базе современных конструкций крепей упрочняющего типа. Анализ тенденций показывает, что на угольных шахтах при сохраняющемся преобладании металлической рамной крепи определилась устойчивая тенденция к применению только анкерной крепи, а также к ее использованию в сочетании с другими видами крепи.

Решение вопросов о рациональном креплении, поддержании и охране капитальных и подготовительных выработок должно основываться на результатах натурных исследований. Описание шахтных и аналитических исследований приведено в работах [1–4], однако с увеличением глубины работ и изменением горно-геологических и горнотехнических условий требуется постоянный мониторинг

состояния выработок [5, 6], а также корректировка паспортов крепления поддержания.

Цель статьи – изучение поведения приконтурного массива наклонной горной выработки, закрепленной рамно-анкерной крепью, и определение рациональной плотности установки анкеров в условиях пласта m_5^{1B} шахты «Добропольская» ООО «ДТЭК Добропольеуголь».

Влияние рамно-анкерной (анкерной) крепи на приконтурный массив наклонной горной выработки исследовали на основе изучения закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного углепородного массива и определяли ожидаемые смещения породного контура выработки.

Методом конечных элементов моделировали условия грузового ходка уклона пласта m_5^{1B} горизонта 450 м. Глубина отработки $H = 720$ м, что соответствует горному давлению 18 МПа. Выработка пройдена комбайновым способом и закреплена арочной крепью АП-13,8 с установкой дополнительно четырех анкеров длиной $l_a = 2,4$ м. Площадь сечения выработок всвету $12,8 \text{ м}^2$, угол наклона 10° . Бока и кровля выработок затягивали деревянной затяжкой. Расстояние между рамами крепи 500 мм.

Физико-механические параметры угольного пласта и вмещающих пород, используемые при математическом моделировании:

песчаник (основная кровля): модуль упругости $E = 1,8 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,2$, предел прочности на сжатие $R_c = 35$ МПа, предел прочности на растяжение $R_p = 3,5$ МПа, плотность пород $\rho = 2,6 \text{ т/м}^3$;

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

аргиллит (непосредственная кровля):
 $E = 1,1 \cdot 10^4$ МПа; $\mu = 0,23$; $R_c = 55$ МПа; $R_p = 5,5$ МПа;
 $\rho = 2,5$ т/м³;

угольный пласт m_5^{1B} : $E = 0,9 \cdot 10^4$ МПа; $\mu = 0,16$;
 $R_c = 15$ МПа; $\rho = 1,4$ т/м³;

аргиллит (непосредственная почва):
 $E = 0,8 \cdot 10^4$ МПа; $\mu = 0,24$; $R_c = 35$ МПа; $R_p = 3,5$ МПа;
 $\rho = 2,5$ т/м³.

Исследования были направлены на определение рациональной плотности установки анкерной крепи без изменения других параметров крепления наклонной выработки. Рассмотрены девять ситуаций:

- 1-я – выработка без крепи;
- 2-я – выработка, закрепленная арочной крепью (численный расчет);
- 3-я – выработка, закрепленная арочной крепью (шахтные замеры);
- 4-я – выработка, закрепленная арочной крепью и дополнительно четырьмя анкерами длиной 2,2 м в кровле (численный расчет);
- 5-я – выработка, закрепленная арочной крепью и дополнительно четырьмя анкерами длиной 2,2 м в кровле (шахтные замеры);
- 6-я – выработка, закрепленная арочной крепью и дополнительно пятью анкерами длиной 2,2 м в кровле;
- 7-я – выработка, закрепленная арочной крепью и дополнительно семью анкерами длиной 2,2 м в кровле;
- 8-я – выработка, закрепленная арочной крепью и дополнительно девятью анкерами длиной 2,2 м в кровле;
- 9-я – выработка, закрепленная арочной крепью и дополнительно девятью анкерами длиной 2,2 м в кровле и двумя анкерами в бока.

Сначала проверяли разработанную математическую модель (рис. 1).

Результаты численных расчетов и шахтные замеры для выработки, закрепленной арочной крепью, отличаются – кровля на 4 мм (0,8 %) и подошва – на 8 мм (3,2 %) (рис. 2, ситуации 2-я и 3-я); для выработки, закрепленной арочной крепью и дополнительно четырьмя анкерами – кровля на 6 мм (2,1 %) и подошва – на 3 мм (2 %) (рис. 2, ситуации 4-я и 5-я). Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод об адекватности разработанной математической модели.

Результаты математического моделирования рамно-анкерной крепи, установленной в наклон-

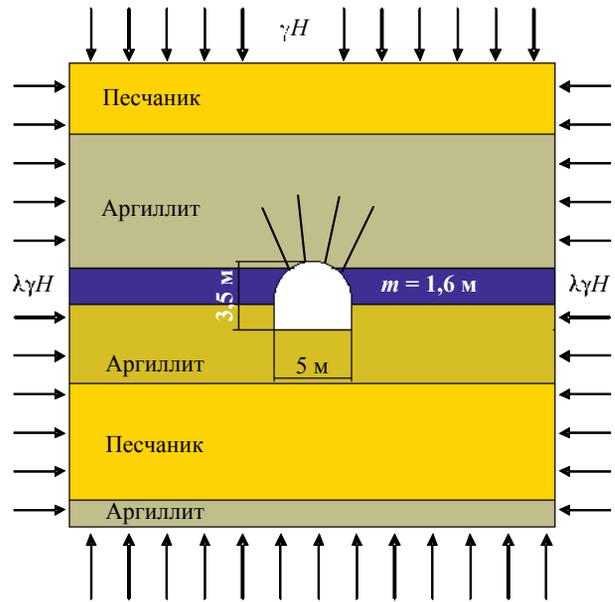


Рис. 1. Расчетная схема к решению задачи определения рациональной плотности анкерования наклонных выработок тремя – девятью анкерами длиной 2,2 м.

ной выработке, приведены на рис. 2–5. Анализируя их, можно сделать следующие выводы:

установка арочной крепи в выработке практически не влияет на смещение кровли и подошвы (рис. 2, ситуации 1-я и 2-я), смещения в кровле уменьшаются на 10 мм (2 %), а смещения в подошве увеличиваются на 15 мм (6 %);

установка семи–восьми анкеров в основном влияет на уменьшение смещений кровли выработки (смещения уменьшаются на 61 %), дальнейшее увеличение количества анкеров существенно не влияет на геомеханическую ситуацию вокруг выработки (рис. 2 и 5, а);

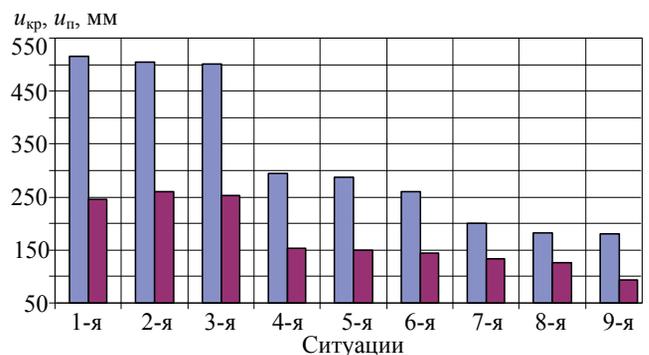


Рис. 2. Изменения смещений кровли $u_{кр}$ и подошвы $u_{п}$ при разном креплении наклонной выработки.

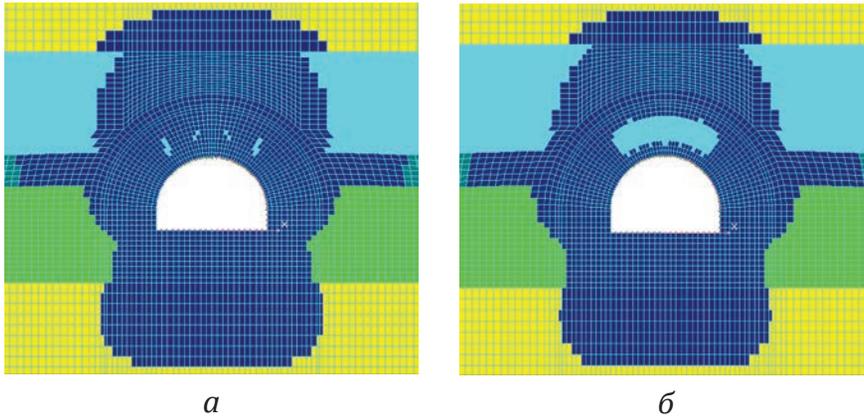


Рис. 3. Прилегающая к выработке зона разрыхления и зоны упрочненных пород при креплении выработки: *а* – арочной крепью и дополнительно четырьмя анкерами длиной 2,2 м; *б* – арочной крепью и дополнительно семью анкерами длиной 2,2 м.

ки образуется определенная зона (более темная), в которой все точки массива перемещаются на одинаковую величину;

установка анкеров в бока выработки приводит к существенному уменьшению размера поднятия подошвы (рис. 2, ситуация 7-я), сравнивая ситуации 8-ю и 9-ю, видим, что смещение подошвы уменьшилось на 33 мм;

анкер, установленный в породном массиве, за счет увеличения сил сцепления на контактах породных отдельностей, препятствуя сдвиговым смещениям пород, образует зону повышенной прочности. При небольшой плотности установки образованные вокруг анкера зоны не перекрываются между собой и поэтому не могут существенно повысить устойчивость выработки и препятствовать смещениям ее контура (см. рис. 3, *а*). При определенной плотности анкерования эти зоны перекрываются и вокруг выработки образуется сплошная зона (арка) из упрочненных пород (см. рис. 3, *б*). При дальнейшем увеличении плотности анкерования эффективность будет все менее значительной, что и получено в результате моделирования;

из рис. 4, *а, б, в* следует, что при увеличении количества анкеров (см. рис. 4, *б, в*) в кровле выработ-

смещение кровли уменьшается при изменении количества анкеров от трех до девяти на 146 мм (44,5 %) с 328 до 182 мм, и описывается полиномиальной зависимостью $y = 3,0357x^2 - 49,393x + 377,43$ (см. рис. 5, *а*);

смещение кровли уменьшается при креплении выработки 2-й до 8-й ситуации на 323 мм (64 %) с 505 до 182 мм (см. рис. 2);

смещение подошвы уменьшается при изменении количества анкеров от трех до девяти на 40 мм (24 %) со 166 до 126 мм, и описывается полиномиальной зависимостью $y = 0,7976x^2 - 12,702x + 176,71$ (см. рис. 5, *б*);

смещение подошвы уменьшается при креплении выработки от 2-й до 8-й ситуации на 134 мм (51,5 %) с 260 до 126 мм (см. рис. 2).

Выводы. Таким образом, в условиях пласта $m_5^{1в}$ шахты «Добропольская» при креплении наклонных горных выработок рамно-анкерной крепью рациональное количество установленных в кровле анкеров по технологическим параметрам составляет

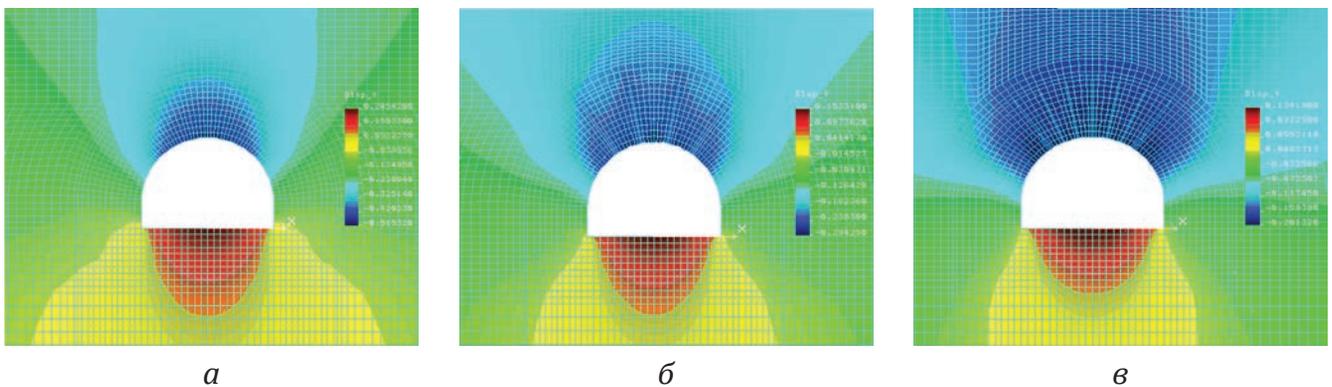


Рис. 4. Картина распределения полных перемещений: *а* – при незакрепленной выработке; *б* – при креплении выработки арочной крепью и дополнительно четырьмя анкерами длиной 2,2 м; *в* – при креплении выработки арочной крепью и дополнительно семью анкерами длиной 2,2 м.

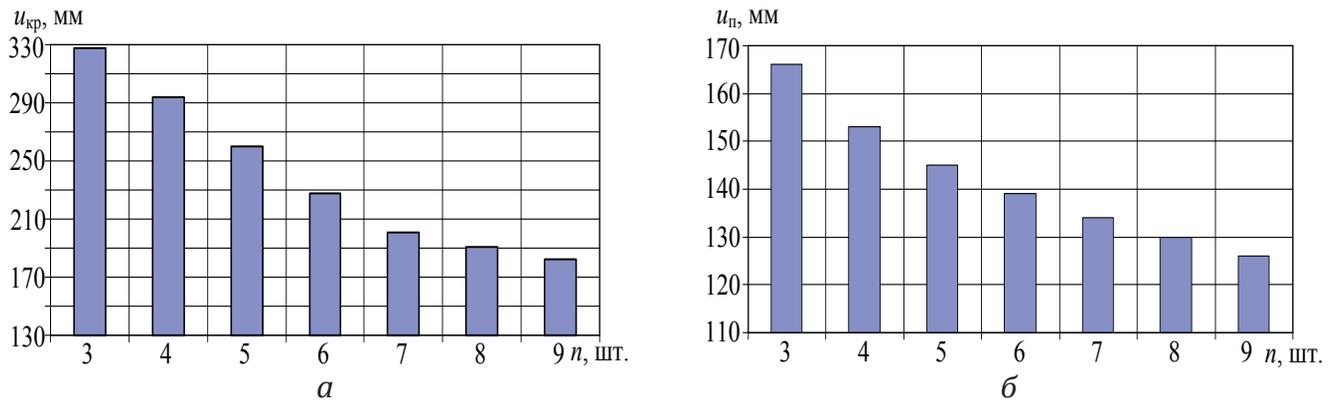


Рис. 5. Изменение в зависимости от количества n анкеров: *а* – смещения кровли; *б* – смещения подошвы.

около семи, а рациональная плотность анкерования – 0,65...0,7 анкеров на 1 м^2 .

Дальнейшие исследования будут направлены на определение рациональной длины анкера для условий пласта m_5^{1B} шахтоуправления «Добропольское» ООО «ДТЭК Добропольеуголь».

ЛИТЕРАТУРА

1. Солодянкин А. В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости протяженных выработок: дис. ... доктора техн. наук: 05.15.04; 05.15.09 / Солодянкин Александр Викторович. – Днепропетровск, 2009. – 426 с.
2. Новиков А. О. Развитие научных основ управления устойчивостью выработок с использованием анкерных систем:

дис. ... доктора техн. наук: 05.15.02 / Новиков Александр Олегович. – Донецк, 2011. – 479 с.

3. Круковский А. П. Научные основы технологии опорно-анкерного крепления горных выработок угольных шахт: дис. ... доктора техн. наук: 05.15.02 / Круковский Александр Петрович. – Днепропетровск, 2012. – 361 с.

4. Терещук Р. Н. Определение рациональной плотности анкерования однородного приконтурного массива / Р. Н. Терещук // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2013. – Вып. 2 (12). – С. 130–137.

5. Халимендик Ю. М. Шахтные исследования состояния наклонных выработок / Ю. М. Халимендик, В. Ф. Панибратченко, Р. Н. Терещук и др. // Геотехнічна механіка. – 2011. – Вып. 94. – С. 229–238.

6. Терещук Р. Н. Обследование состояния горных выработок на шахтах шахтоуправления «Добропольское» ООО «ДТЭК Добропольеуголь» / Р. Н. Терещук, А. Е. Григорьев // Проблеми гірського тиску. – 2012. – Вып. 20/21. – С. 68–85.

ПО МАТЕРИАЛАМ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ УКРАИНЫ» ПРОШЛЫХ ЛЕТ

Год 1973

В журнале № 9 в статье Н. Е. Костюка «Изменение трудоемкости и характера труда шахтеров с повышением уровня технического развития шахт» дан анализ снижения трудоемкости добычи угля при выполнении наиболее важных работ по техническому переоснащению рабочих мест на шахтах, переходу на более прогрессивную технологию, концентрации работ и совершенствованию организации производства и труда, от которых зависит решение задач по повышению технико-экономических показателей работы шахт и отрасли в целом.

Выполнение мероприятий по механизации и автоматизации производственных процессов в угольной промышленности позволит снизить трудоемкость подземной добычи угля. На шахтах ведутся широкие испытания проходческих добычных и нарезных комбайнов, углевыемочных комплексов с автоматическим управлением, разрабатываются безлюдные способы и средства подземной добычи.