



А. С. ГУСЕВ,
инж.

(ПСП «Шахтоуправление
Першотравенское» ПАО «ДТЭК
Павлоградуголь»)

УДК 622.284.74

К вопросу снижения металлоемкости анкерного упрочнения кровли выемочных выработок

Исследованы закономерности влияния геомеханических факторов на нагружение анкеров кровли выемочных выработок, получены корреляционные соотношения для расчета рациональных параметров их установки в центральной части свода.

Ключевые слова: анкер, нагружение, свод выработки, структура и свойства пород, параметры установки.

Контактная информация: v_domna@yahoo.com

В соответствии с общей проблемой выбора параметров элементов крепежной системы выемочной выработки в зависимости от горно-геологических условий ее поддержания рассмотрена задача определения рациональных параметров размещения сталеполлимерных анкеров, упрочняющих породы кровли пластовой выработки. Рациональные параметры их установки реализуют два условия: с одной стороны, анкеры должны максимально разгружать рамную крепь для эффективного ограничения потери площади сечения выработки, с другой – работать с максимальным сопротивлением горному давлению, т. е. их должно быть минимально достаточное количество.

Для определения связи координат установки анкеров с геомеханическими факторами использовали закономерности изменения степени нагруженности анкеров, размещенных по контуру свода выработки. Силовой потенциал сталеполлимерных анкеров в кровле реализуется только в случае интенсивного проявления вертикального горного давления, т. е. при значительной (для условий Западного Донбасса) глубине H размещения выработки не менее 400–

450 м, слабых усредненных породах близлежащего углевмещающего массива ($R \leq 10...15$ МПа) и низком сопротивлении сжатию пород непосредственной кровли R_1^k при ее повышенной мощности $m_1^k (R_1^k/m_1^k \leq 15...20$ МПа/м).

В указанных условиях сталеполлимерные анкеры активно сопротивляются процессам расслоения и опускания пород кровли выработки, что предполагает повышенную плотность их установки. На практике данная горно-геологическая ситуация характеризуется размещением в кровле 7–9 анкеров. В более благоприятных горно-геологических условиях количество анкеров в кровле уменьшают, поскольку, как показали результаты вычислительных экспериментов, они остаются недогруженными.

Необходимость минимального количества анкеров в кровле было решено совместить с поиском координаты x_i расположения каждого анкера. При этом перебор вариантов расчета существенно упрощен, исходя из следующих методических положений.

Во-первых, выявлено, что степень нагруженности анкеров прямо пропорциональна глубине H размещения выработки и обратно пропорциональна среднему расчетному сопротивлению сжатия R близлежащей углевмещающей толщи, т. е. подтверждаются известные тенденции развития горного давления, интенсивность которого традиционно связывают с отношением H/R , что использовано в проведенных исследованиях. Кроме того, из-за постепенного увеличения параметра H (по технологии расчета упругопластической задачи) в ходе одного вычислительного эксперимента можно получить результаты в зависимости от степени нагруженности анкеров.

Во-вторых, используя установленные закономерности, варианты с повышенным количеством сталеполлимерных анкеров в кровле рассчитывают только для ограниченного круга сложных горно-геологических условий, отмеченных выше.

В-третьих, если какие-либо анкеры существенно недогружены, их не рассматривают, сохраняя результаты для более нагруженных анкеров. Нагрузку, воспринимаемую недогруженными анкерами, учитывают при увеличении интенсивности напряжений в нагруженных за счет резерва сопротивления, обусловленного площадкой и стадией упрочнения любой стали «арматуры».

На основе изложенного подхода получены зависимости координат x_i установки анкеров от параметров H/R (рис. 1). Предварительно установлено, что размещать более шести анкеров в центральной части кровли нерационально ввиду их низкой загруженности. Это подтверждается как серией многовариантных расчетов НДС крепежной системы [1], так и опытом поддержания выемочных выработок. Тогда при симметричной (относительно вертикальной оси выработки) схеме установки анкеров необходимо проанализировать изменение трех координат x_i ($i = 1, 2, 3$) в зависимости от горно-геологических условий.

Наблюдается обратно пропорциональная связь координат x_i с отношением H/R , что характерно для всех вариантов расчета независимо от количества анкеров в своде выработки. При повышенной глубине расположения выработки в случае пониженной усредненной крепости окружающего массива анкера целесообразно сосредоточивать ближе к замку свода, что связано с интенсивным расслоением кровли преимущественно по середине пролета выработки, т. е. в центральной части свода. При повышенной устойчивости вмещающих пород (снижение H/R) координаты установки анкеров перемещаются ближе к пяте свода, а количество анкеров в кровле сокращается, что не противоречит существующим представлениям и рекомендациям. Анкеры, для которых координаты x_i достигают или превышают координату расположения замка податливости рамы, переходят в иное качество – верхних боковых анкеров; их рациональные параметры находят по методике расчета рамно-анкерной крепи [2]. При этом количество анкеров в кровле уменьшается.

На координаты установки анкеров влияет также отношение R_1^k/m_1^k : с повышением крепости породы кровли нагрузка на анкеры снижается и их количество целесообразно уменьшать, что соответствует увеличению расстояния между анкерами (смещению координат их установки от замка к пяте свода).

Выявленные закономерности связи рациональных координат установки анкеров в своде выработки с геомеханическими параметрами ее поддержания позволили получить уравнения регрессии для расчета:

$$x_1 = -5,8 \cdot 10^{-2} (R_1^k / m_1^k) \ln[0,015(H/R) - 0,52]; \quad (1)$$

$$x_2 = 10^{-2} (R_1^k / m_1^k) \{4,8 - 1,09 \ln[0,015(H/R) - 0,52]\}; \quad (2)$$

$$x_3 = 10^{-2} (R_1^k / m_1^k) \{2,6 - 1,72 \ln[0,015(H/R) - 0,52]\}. \quad (3)$$

В приведенных выражениях индекс «1» обозначает координату x_1 установки анкера с минимальным расстоянием от вертикальной оси выработки, а индекс «3» – с максимальным. Если x_3 превышает гори-

зонтальную координату расположения замка податливости рамной крепи соответствующего типоразмера площади сечения выработки, то крайний анкер исключают из схемы установки анкеров в своде. Аналогично рассматривают целесообразность установки в своде анкеров с координатами x_2 и x_1 . Тогда в некоторой области соотношения геомеханических параметров нет необходимости устанавливать сталеполлимерные анкеры по контуру свода на участке между замками податливости рамы, так как кровля повышенной устойчивости не может нагрузить сталеполлимерные анкеры до уровня их активной работы по сопротивлению, вертикальному горному давлению. Также сказывается влияние и относительно ограниченной длины сталеполлимерных анкеров: на этой длине разница в смещении кровли в районе хвостовика анкера и на участке его замка не создает усилий растяжения в «арматуре» анкера, сопоставимых с пределом текучести сталей Ст. 3–Ст. 5 (из которых обычно изготавливают несущий стержень).

В то же время при увеличенной длине анкеров (например, канатных) разница в указанных смещениях возрастает, что способствует их полноценному нагружению и эффективному сопротивлению опускания кровли даже в условиях ее относительной устойчивости. Следует учитывать особенности работы рамной крепи в сочетании с опорно-анкерной по поддержанию кровли выемочной выработки – ее верхняк, как правило, менее нагружен, чем стойки, особенно в более благоприятных горно-геологических условиях [3].

Таким образом, существует область горно-геологических условий, когда наблюдается низкая эффективность упрочнения сталеполлимерными анкерами пород кровли в пределах центральной части свода выработки. Для определения границ области получены соотношения геомеханических параметров для наиболее типичных площадей сечений выработок с крепью КШПУ, применение которой на шахтах Западного Донбасса превышает 90 % общего объема крепей:

- для КШПУ – 11,0 (11,7)

$$H/R \leq 34,7 + 66,7 \exp(-17,2 m_1^k / R_1^k); \quad (4)$$

- для КШПУ-15,0

$$H/R \leq 34,7 + 66,7 \exp(-19,8 m_1^k / R_1^k); \quad (5)$$

- для КШПУ-17,7

$$H/R \leq 34,7 + 66,7 \exp(-22,4 m_1^k / R_1^k). \quad (6)$$

Если H/R меньше расчетного, то, исходя из формул (4) – (6), не рекомендуется устанавливать сталеполлимерные анкеры в центральной части свода, в противном случае координаты их размещения и количество определяют по формулам (1)–(3).

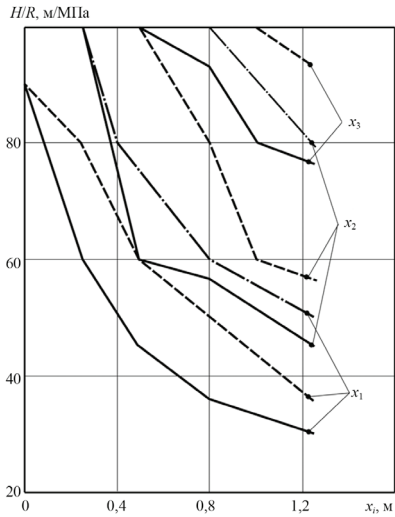


Рис. 1. Зависимость координат x_i ($i=1,2,3$) установки сталеполимерных анкеров в центральной части свода выработки от параметра H/R : — $R_1^k/m_1^k = 4,8$ МПа/м; - - - $R_1^k/m_1^k = 10,2$ МПа/м; - · - · $R_1^k/m_1^k = 15,6$ МПа/м.

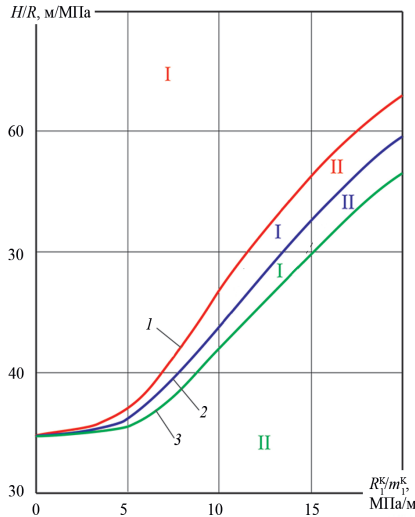


Рис. 2. Области размещения сталеполимерных анкеров в центральной части свода выработки: I – установка целесообразна; II – установка не рекомендуется; 1 – КШПУ-11,0 и КШПУ-11,7; 2 – КШПУ-15,0; 3 – КШПУ-17,7.

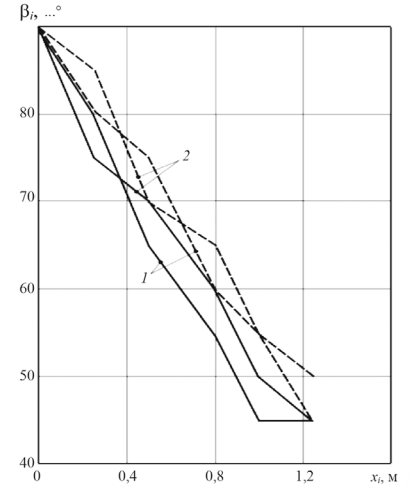


Рис. 3. Закономерности изменения угла β_i наклона сталеполимерного анкера от координат x_i его установки в своде выемочной выработки H/R : — $H/R = 40$ м/МПа; - - - $H/R = 80$ м/МПа; 1 – $R_1^k/m_1^k = 4,8$ МПа/м; 2 – $R_1^k/m_1^k = 15,6$ МПа/м.

Чтобы оперативно оценить целесообразность размещения сталеполимерных анкеров в центральной части свода выработки, построены кривые, определяющие границы указанных на рис. 2 областей по соотношениям геомеханических параметров H/R и R_1^k/m_1^k .

Для установки сталеполимерных анкеров в своде выемочной выработки важен выбор угла их наклона β_i . Этот параметр, связанный с координатами x_i , переменный для сталеполимерных анкеров, устанавливаемых в центральной части свода выработки. Максимальный эффект упрочнения массива достигается тогда, когда продольная ось анкера совпадает с вектором перемещений окружающих пород при данной координате x_i [3]. В соответствии с общей тенденцией изменения вектора перемещений близлежащих пород от вертикального в замке свода до косонаправленного в его пяте получены закономерности связи угла β_i наклона анкера с координатой x_i его установки (рис. 3).

Угол наклона β_i стабильно снижается при смещении места установки анкера (увеличение координаты x_i) в сторону замка податливости рамы, что подтверждается несущественным влиянием таких геомеханических параметров, как отношения H/R и R_1^k/m_1^k . Так, при увеличении параметра H/R в 2 раза (ухудшение горно-геологических условий) диапазон вариации угла наклона анкера составляет 0–10 % с максимальным отклонением 11,8 %. При уменьшении R_1^k/m_1^k в 3,25 раза (снижение устойчивости пород

кровли и повышение интенсивности ее расслоения) максимальное отклонение β_i не превышает 10 %.

Приведенные данные косвенно подчеркивают объективность критерия выбора угла наклона анкера по вектору перемещений окружающего массива в направлении полости выработки. Применение корреляционно-дисперсионного анализа результатов вычислительного эксперимента позволило получить уравнение регрессии $\beta_i = 90(1 - 0,41 \cdot 0,48^i)$. Используя это выражение, а также формулы (1) – (3), можно обоснованно выбирать параметры установки сталеполимерных анкеров по контуру свода выемочной выработки в зависимости от геомеханических условий поддержания.

Выводы. Получены закономерности влияния геомеханических факторов на нагружение анкеров кровли выемочных выработок. Обоснованы параметры установки анкеров по контуру свода выемочной выработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В. И. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса: монография / [В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович и др.]. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2010. – 328 с.
2. Ковалевская И. А. Геомеханика взаимодействия элементов системы горный массив–упрочненные породы–крепь подземных выработок / И. А. Ковалевская. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – 234 с.
3. Бондаренко В. И. Геомеханика нагружения и расчет параметров крепежной и охранной систем подготовительных выработок шахт Западного Донбасса / [В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович и др.]. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2010. – 228 с.