

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСТАНОВКИ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Наведено результати статистичного аналізу даних випробування сталеполімерних анкерів в шахтних умовах

RESULTS OF INVESTIGATION QUALITY OF ROCK BOLTS INSTALLATION

Statistical analysis has been described after pull tests of rock bolts in a coal mine roadways

Анкерное крепление подготовительных выработок является перспективной инновационной технологией, обеспечивающей их устойчивость в сложных условиях современных угольных шахт [1]. Указанная технология получила широкое распространение на шахтах Австралии, Польши, США и в настоящее время масштабы ее применения расширяются на украинских угольных шахтах в условиях рыночной экономики благодаря преимуществам анкерной технологии, которая дает возможность повысить уровень механизации крепления, снизить металлоемкость и стоимость, а также повысить устойчивость вмещающих выработки пород. На типичной высокопроизводительной угольной шахте ежемесячно устанавливаются от 5 до 15 тыс. анкеров.

Существует ряд факторов, которые могут существенно ухудшить качество установки сталеполімерных анкеров и снизить их работоспособность. Прочность закрепления анкеров зависит от величины зазора между стенками шпура и стержнем анкера, качества и времени перемешивания полимерной смолы, влияния остатков оболочки ампул, рельефа стенок шпура, влажности вмещающих пород, температуры и других факторов.

При некачественной установке и закреплении анкера в несколько раз снижается его усилие и работа сопротивления горному давлению, что приводит к недопустимо большим смещениям вмещающих пород и даже их обрушению в полость выработки. Это снижает эффективность работы шахты в целом и повышает опасность подземных работ. Таким образом возникает постоянная необходимость испытания качества установки сталеполімерных анкеров. На сегодня стандартом таких испытаний является вытягивание анкера с помощью полого домкрата, который соединяется с головкой анкера [2]. При этом измеряют усилие натяжения в домкрате и перемещение головки анкера относительно породного обнажения. По результатам таких испытаний получают несколько важных параметров работы анкера: максимальное усилие натяжения, достигнутое при испытании, величину вытягивания головки анкера и его жесткость. Жесткость определяется как отношение прироста усилия натяжения к приращению смещений головки анкера.

В связи с этим ежемесячно требуется испытывать весьма большие партии установленных анкеров. Поэтому возникает задача определения необходимого

и достаточного количества таких испытаний для того, чтобы получить вывод о возможности или недопустимости приемки всей партии анкеров с заданной заранее надежностью. Очевидно, что необходимое число анкеров, которые следует испытать, определяется в первую очередь естественным разбросом параметров, характеризующих качество установки и работоспособность анкеров. Это обуславливает актуальность статистического анализа результатов массового испытания сталеполлимерных анкеров в шахтных условиях для оценки возможного диапазона вышеуказанных параметров.

Испытания проводились в условиях шахты Красноармейская-Западная №1. Выбор указанной шахты обусловлен тем, что она отрабатывает запасы угля в сложных горно-геологических условиях, которые характеризуются высокой изменчивостью и разнообразием. Так вынимаемая мощность пласта изменяется в диапазоне от 0,9 м до 2,2 м. Вмещающие породы относятся к среднеустойчивым, но значительная площадь шахтного поля покрыто малоамплитудными нарушениями, которые характеризуются повышенной трещиноватостью и обводненностью. Из-за этого прочность пород снижается 1,5-2 раза. Глубина разработки изменяется в диапазоне от 570 м до 820 м. В ближайшей перспективе будут отрабатываться запасы на глубине свыше 900 м. В связи с этим шахта была выбрана в качестве пилотного объекта для промышленной проверки возможности применения инновационной анкерной технологии в условиях украинских угольных шахт.

Серия массовых испытаний сталеполлимерных анкеров выполнялась в течение двух лет в нескольких выработках: конвейерных штреках, примыкающих к действующим лавам, монтажных ходках и уклонах. Большинство экспериментальных выработок имело арочную форму поперечного сечения. Площадь сечения в свету составляла от 15 м² до 23 м², а высота выработки колебалась в пределах 3,2-4,5 м. Это обусловило ряд специфических моментов, которые усложнили процесс испытаний. Одним из основных неудобств являлась наклонная ориентация оси анкера к породному обнажению. При таком положении анкера его испытания дают высокую погрешность, и разброс параметров несущей способности анкерной крепи из-за отклонения головки анкера, что существенно искажает результаты испытаний. Значительное влияние оказывает также большая высота выработки, замедляющая процесс испытаний.

Испытания проводились стандартным полым домкратом, а перемещение головки анкеров осуществлялось индикаторной головкой часового типа, установленной на раздвижную стойку. В данной работе анализируются испытания 23 сталеполлимерных анкеров. Типичные зависимости вытягивания головки анкера от усилия натяжения приведены на рис. 1. Величина вытягивания изменяется от 9 мм до 34 мм, то есть почти в четыре раза. При этом максимальное усилие натяжения различается на отдельных анкерах в три раза. Стандартное усилие, которое обеспечивает эффективную работу анкера длиной 2,4 м и диаметром 20-25 мм составляет 150-210 кН. При таком усилии несущая способность анкера рассматривается как достаточная, поскольку она составляет около 70% от предельного усилия, при котором нарушается прочность металлического стержня

анкера.

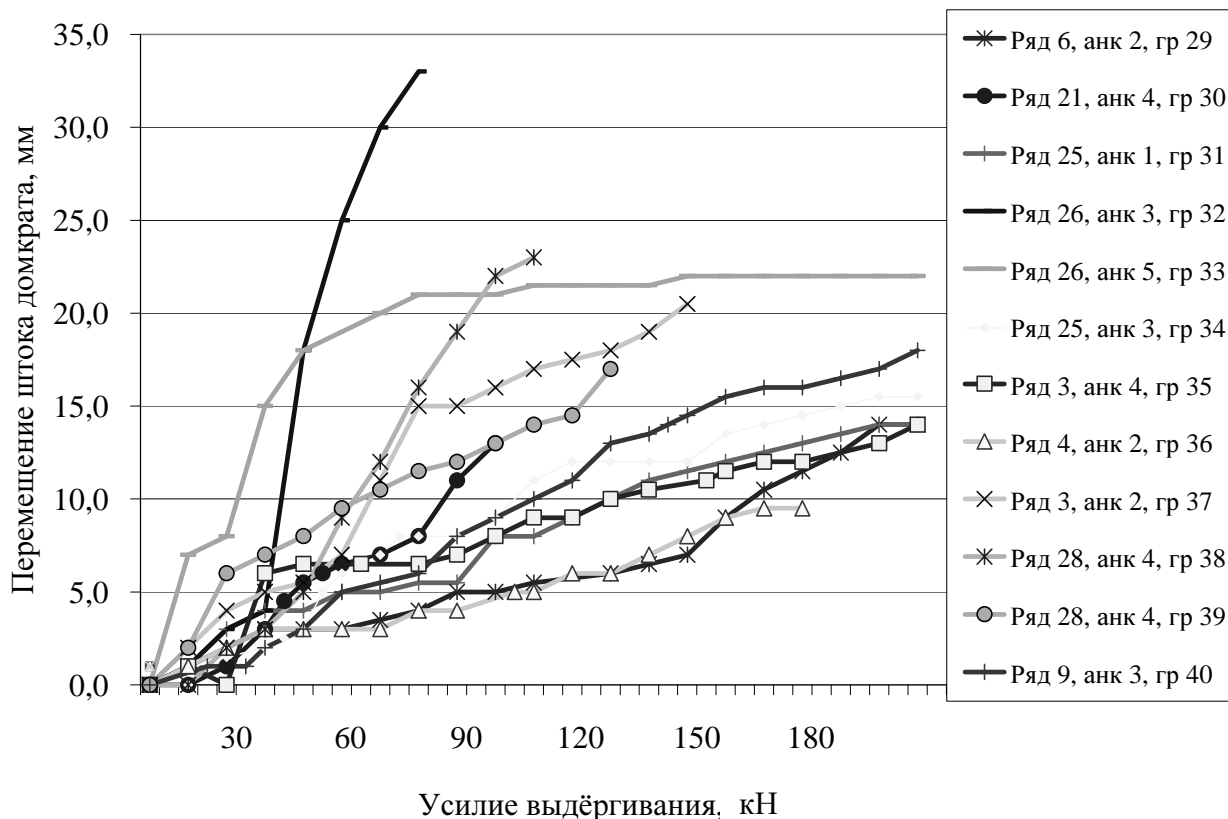


Рис. 1 – Характерные зависимости между усилием натяжения и перемещением головки анкера

Оказалось, что только на половине анкеров удалось создать усилие, которое было больше или равно стандартному уровню натяжения. Несколько анкеров выдержали усилие, которое в 2-3 раза превышало стандартное. Такой эффект объясняется в первую очередь перекосом головки анкера и искажением показаний домкрата натяжения в результате заклинивания штока.

Низкий уровень усилий натяжения вызван расслоением пород кровли и их повышенной податливостью, в результате чего даже после переустановки домкрата в новое положение ход его штока был исчерпан до достижения стандартного натяжения. Некоторые анкеры были установлены некачественно, что привело к нарушению сцепления стержня анкера со стенками шпура (например, анкер № 2 из третьего ряда или анкер № 4 из 28 ряда). Так, на анкере № 3 ряда 26 усилие составило не более 75 кН, а смещение его из шпура достигло 35мм, в результате чего испытание пришлось прекратить. Лишь на немногих анкерах установлен стандартный характер сопротивления, когда по достижению определенного сжатия породного обнажения перемещение головки практически прекратилось, при этом усилие натяжения устойчиво нарастало (анкер № 5 из 26 ряда).

Основными причинами низкого уровня усилия натяжения являлось расслоение пород кровли и негативное влияние неровностей, которые разрушались и

увеличивали податливость породного обнажения.

Наклон зависимости "усилие - перемещение" на рис. 1 характеризует жесткость анкера. При этом величина наклона кривых испытаний изменяется практически на порядок. Чем жестче анкер, тем эффективнее он сопротивляется горному давлению, в результате чего минимизируются смещения пород в выработку.

Проведена обработка более 330 определений жесткости анкеров. Установлено, что средняя величина жесткости составила 0,246 кН/мм. Минимальная и максимальная величина жесткости равны 0,020 и 3,3 кН/мм при стандартном отклонении $\pm 0,365$ кН/мм. В целом максимальная величина жесткости в 165 раз больше минимальной.

Анализируя графический материал, приведенный на рис. 1, можно заключить, что связь между исследуемыми показателями носит нелинейный характер. При этом выделяются три характерных вида кривых: мягкое отклонение, жесткое отклонение и S-образная форма связи (рис. 2)

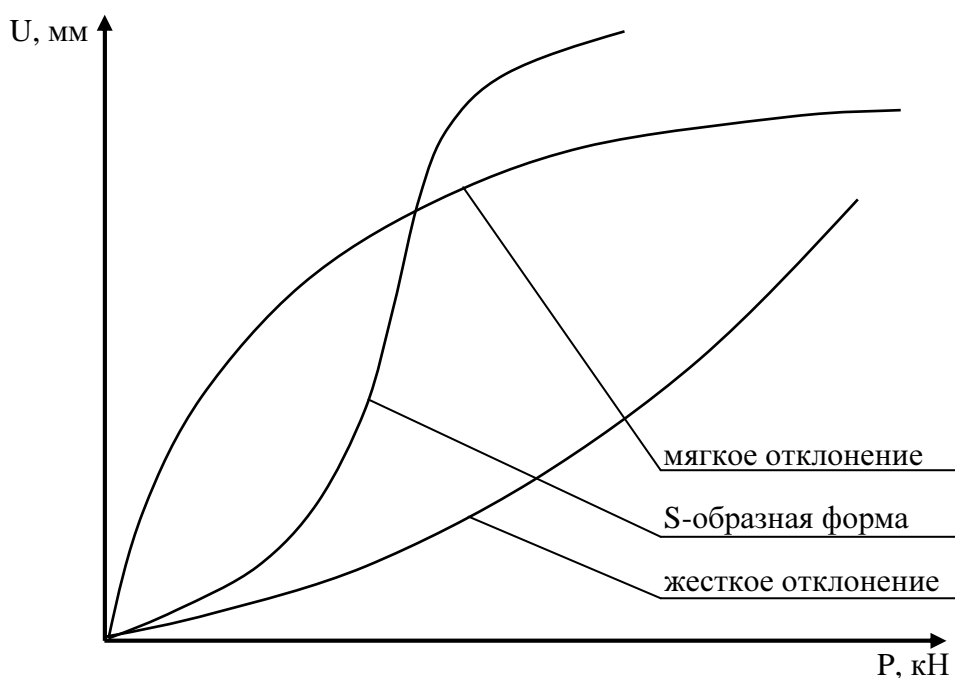


Рис. 2 – Обобщенный характер связи P-U

В общем случае нелинейный характер связи P-U можно выразить следующей зависимостью

$$U = \frac{a_0 P^m}{E}, \quad (1)$$

где a_0 , m и E – эмпирические коэффициенты; P – прикладываемое усилие к анкеру.

По опытным данным найдены аналитические выражения для указанных форм связи показателей. Для мягкого отклонения связи установлена степенная

зависимость следующего вида

$$U = P^m / E, \quad (2)$$

где $1 \leq m \leq 2$; $10 \leq E \leq 180$ – в зависимости от типа пород

Для жесткого отклонения связи более приемлемой является гиперболическая функция вида:

$$U = U_m A_r S_h \frac{P_0}{P} \quad (3)$$

S-образная форма связи удовлетворительно может быть описана экспоненциальной зависимостью вида:

$$U = U_0 [1 - e^{-\left(\frac{P}{P_0}\right)^2}], \quad (4)$$

где U_m, P_0 – эмпирические параметры.

Поскольку аналитические выражения подобраны по единичным испытаниям анкеров, то входящие в них коэффициенты следует определить по результатам массовых испытаний.

Гистограмма экспериментальных величин жесткости, приведенная на рис. 3

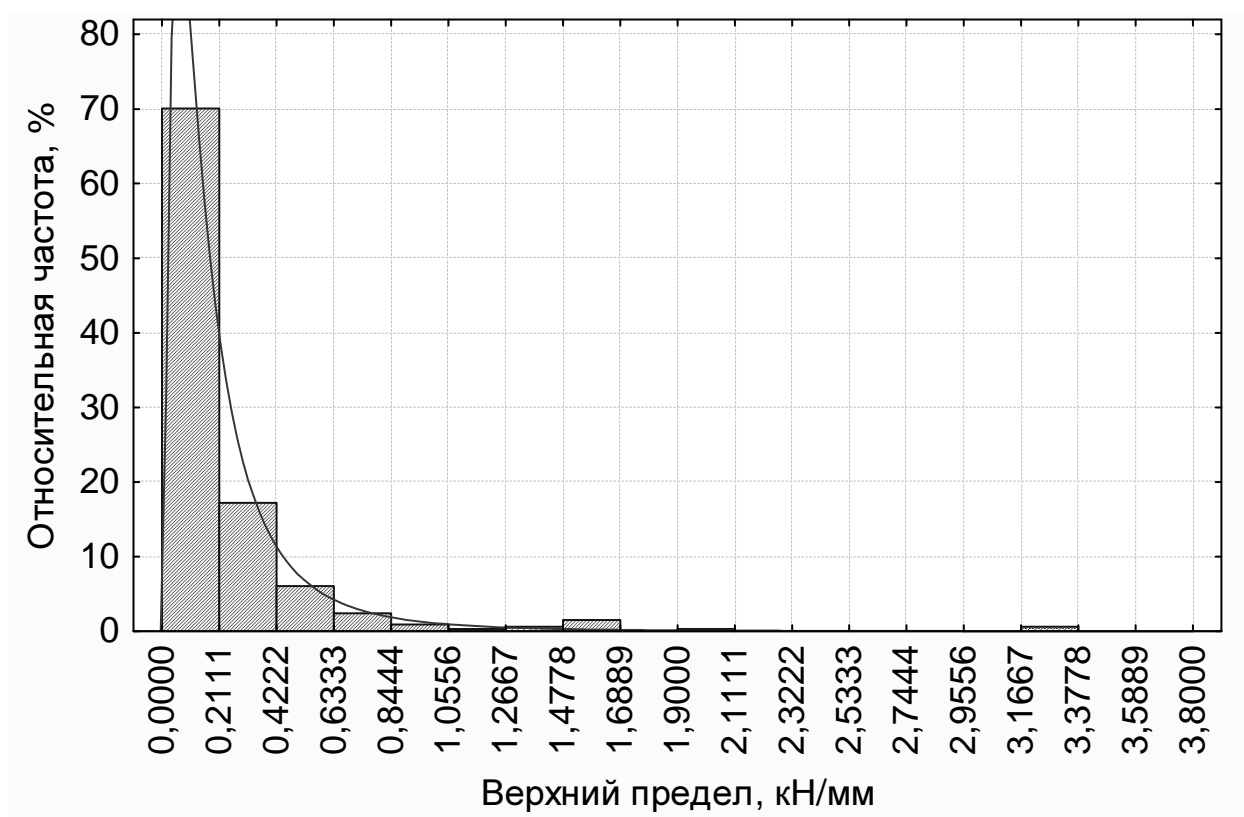


Рис. 3 – Распределение жесткости анкеров

Для описания эмперического распределения жесткости анкеров принято уравнение вида:

$$y = a \times \exp(b/x) \quad (5)$$

где a , b – параметры масштаба и формы кривой соответственно; x – величина жесткости; y – относительная частота.

При $b > 0$ кривая имеет горизонтальную асимптоту $y=a$ и вертикальную при $x=0$, что соответствует характеру поведения эмперических данных в области больших и малых значений жесткости анкеров.

Параметр a при фиксированном значении b является предельным значением для жесткости анкеров и регулирует расположение этой кривой по высоте в зависимости от абсолютного значения a . Параметр b при фиксированном значении a описывает крутизну кривой, отражая характер стремления ее к асимптотическому значению.

Оценка параметров уравнения (4) производится путем линеаризации $\ln y = \ln a + b/x$, с последующим применением метода наименьших квадратов. В конечном итоге имеем:

$$b = \frac{S_1 - \bar{x}\bar{y}}{S_2 - (\bar{x})^2}; \quad a = \exp(\bar{y} - b\bar{x})$$

где

$$S_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\ln y_i}{x_i}; \quad S_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2}$$

Аппроксимация эмперических распределений выполненная с помощью уравнения (4) показывает удовлетворительную сходимость. По эмперическим данным вычислены значения $a=0,86$, $b=0,88$.

Усилия натяжений и величины смещений головок анкеров характеризуются трех - четырехкратной вариацией соответственно. Все это свидетельствует о необходимости совершенствования методики испытаний анкеров стандартным способом. При высокой трудоемкости испытаний следует сделать вывод о необходимости разработки альтернативных способов испытаний, которые позволили бы получать более достоверные результаты и обеспечить требуемую надежность испытаний с минимальными затратами времени на проведение испытаний.

Дальнейшими исследованиями предусматривается обоснование и разработка нового способа испытания несущей способности сталеполимерной анкерной крепи для повышения надежности результатов испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2002.-372с.
2. Анкерная крепь: Справочник/А.П. Широков и др.-М.: Недра, 1990.-295с.