

**УДК 622.281.74**

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ АНКЕРНОЙ КРЕПИ**

**Кожушок О.Д.** (ЗАО «Донецкий металлургический завод  
«Донецксталь», г. Донецк, Украина)

**Назимко В.В.**  
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

*Розроблено та апробовано методику оцінки надійності анкерного сталеполімерного кріплення в умовах вугільної шахти. Визначено необхідну кількість анкерів, що випробуються, та критичну кількість анкерів з незадовільною несучою спроможністю з урахуванням ризиків постачальника та споживача, а також надійності висновків.*

*New method has been developed to determine rock bolt reliability. Number of he bolts to be tested and critical number of failed bolts were determined considering risks of supplier, customer and reliability of decision.*

В связи с переходом к рыночной экономике технология анкерного крепления подземных горных выработок приобретает новую актуальность. Преимуществом указанного типа крепей является их низкая стоимость, металлоемкость, трудоемкость установки и высокая эффективность сопротивления силам горного давления [1-7]. Однако все эти преимущества можно реализовать лишь при надлежащем выполнении технологии. В угольной промышленности наибольшее распространение получили сталеполимерные анкеры, установка которых легко поддается механизации. Основными требованиями, которые следует соблюдать при установке такого типа анкеров, как известно, являются следующие:

- анкеры желателно устанавливать непосредственно в забое подготовительной выработки, чтобы предотвратить расслоения пород кровли при усадке сечения сооружаемой выработки;
- при использовании сталеполимерных анкеров необходимо устранить повышенную влажность в шпурах (например, продувкой воздухом);
- следует поддерживать оптимальный зазор между телом металлического стержня анкера и стенками шпура, в который вставляется анкер;
- не допускать возникновение эффекта перчаток, когда между стенками шпура и полимерной смолой остаются остатки полиэтиленового патрона;
- тщательно перемешивать полимерный состав для достижения необходимой прочности после отвердения и как следствие несущей способности анкера;
- соблюдать нормативное время установки анкера, чтобы не разрушить полимерные связи в гелеобразном состоянии полимера;
- соблюдать паспорт крепления и в частности заданный индивидуальный наклон всех анкеров и шаг их установки в сечении выработки и вдоль ее оси.

Даже перечисленный неполный ряд требований свидетельствует о том, что соблюдать все эти условия в реальных подземных условиях непросто. Кроме того, существует еще множество нюансов, которые возникают в реальных подземных условиях и затрудняют надлежащее выполнение технологии анкерного крепления. Чаще всего из-за стесненности подземных условий не всегда удается соблюдать наклон анкеров и расстояние между ними. В процессе перемешивания состава достаточно часто не удается обеспечить надлежащее качество перемешивания из-за недостатка давления воздуха в пневмосети, которая питает привод бурового станка. Из-за кривизны шпура не всегда удается досылать анкер на проектную глубину. Одним из наиболее часто встречающихся недостатков при установке сталеполимерных анкеров является недостаточное усилие закрепления анкера при утечке смолы в трещины. Такие трещины

часто образуются в кровлях в процессе их расслоения. Такой же ослабляющий эффект оказывают остатки полиэтиленовой оболочки патронов, в которых содержится полимерный состав.

Как видим, существует не менее десятка реальных причин, которые могут уменьшить несущую способность сталеполимерного анкера. Практика показывает, что в среднем из-за указанных недостатков несущая способность анкеров снижается на 60-90%, а доля анкеров, имеющих несущую способность ниже паспортной, колеблется в пределах 10-40%. Если рабочие знают, что на данном участке будет проверяться качество установки анкеров, доля анкеров с паспортной несущей способностью увеличивается до 0,90 и более. Однако при массовой установке анкерных крепей качество снижается, о чем свидетельствуют специально проводимые проверки. В практике работы угольных шахт основная организационная работа направлена как раз на обеспечение качественной установки сталеполимерных анкеров.

Однако, несмотря на такие мероприятия, проблема обеспечения качественной установки анкеров остается весьма острой. Причина заключается в том, что на современных высокопроизводительных угольных шахтах ежемесячно устанавливаются тысячи и даже десятки тысяч анкеров. При таком большом количестве возникает проблема проверки качества установки крепи. Эта проблема существует как на отечественных, так и на зарубежных угольных шахтах [8-15]. Именно из-за малой несущей способности анкерной крепи происходят завалы выработок, которые влекут за собой человеческие жертвы [8-13].

В настоящее время основным методом проверки качества установки анкерной крепи является тест на ее вытягивание. Этот тест выполняется специальным полым домкратом, который надевается на головку анкера, торчащую из шпура. Практика показывает, что для выполнения такого теста необходимо как минимум три человека. Причем за смену можно выполнить не более трех-пяти тестов. До сегодняшнего дня нет методики, которая бы определяла необходимое число испытаний анкеров. Достаточно ли испытать три анкера, чтобы принять всю партию

из 10 тысяч как удовлетворяющую требования технологического регламента? Интуитивно понятно, что не достаточно. В таком случае нужно разработать методику определения надежности анкерного крепления, которая бы регламентировала число и вид испытаний и порядок действий при испытании надежности, а также однозначно давала ответ на то, следует ли принять испытываемую партию анкеров как соответствующую требованиям правил безопасности.

В настоящее время разработаны методы испытаний надежности устройств, отработан математический аппарат и процедуры испытаний. В теории надежности существует несколько планов испытаний систем на надежность [16-17]. Все планы основаны на двух основных принципах: наработки на отказ и типа вероятности. Конкретный план испытаний определяется исходя из условий работы системы. При этом учитывается возможность восстановления системы, замены ее элементов, поэтапной эксплуатации, изменение внешних условий среды, в которых эксплуатируется система.

Детальное обоснование плана испытаний затрагивает целый ряд проблем, которые в данной статье не обсуждаются. Вкратце можно констатировать, что с учетом особенностей внешней среды, которой в данном случае является массив горных пород, и в котором постоянно изменяется напряженно-деформированное состояние в результате ведения горных пород и процессов ползучести, наиболее приемлемым планом является **одноступенчатый контроль надежности (качества) установки сталеполлимерных анкеров типа вероятности**. Для этого будут определены при заданном уровне риска необходимое количество анкеров для испытаний и число неработоспособных анкеров, при котором вся контролируемая партия бракуется.

При этом план испытаний определяется по заданным надежностям  $R_1$  и  $R_0$  (или вероятностям нормальной работы  $P_1$  и  $P_0$ ) анкеров и рискам поставщика и потребителя  $\beta$  и  $\alpha$  (рис. 1). При имеющемся наборе продукции (установленных в шахте сталеполлимерных анкеров) сведение риска к минимуму поставщика  $\beta$  возможно только за счет того, что потребитель примет у него как можно больше продукции. Снижение риска

потребителя  $\alpha$  возможно за счет принятия только высококачественной и сверхнадежной продукции.

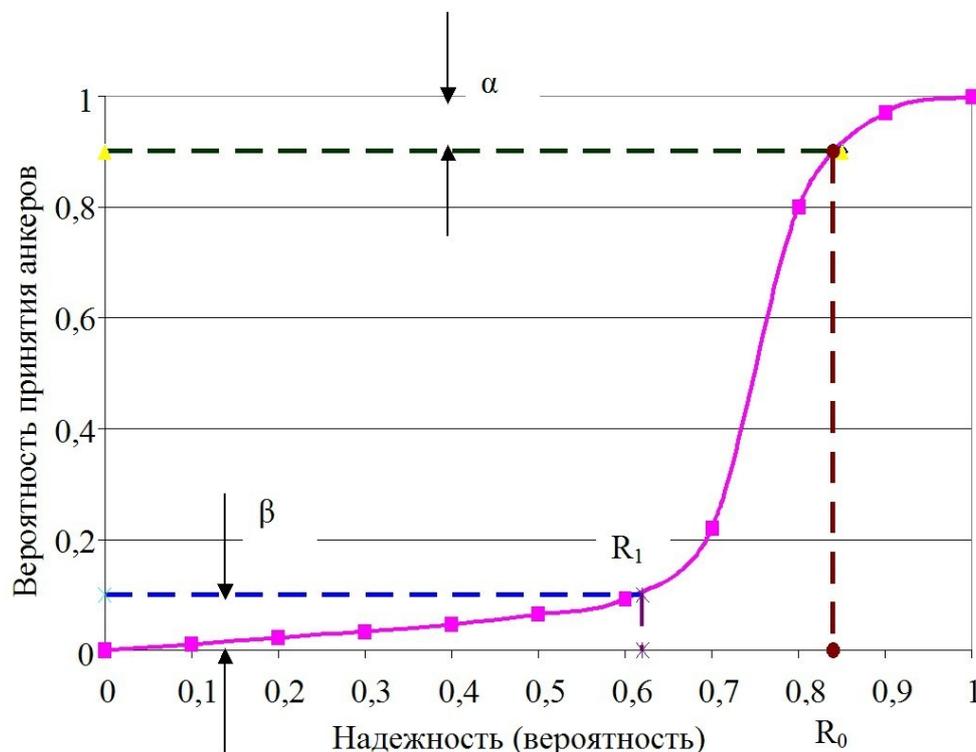


Рис. 1. Диаграмма, поясняющая принцип принятия анкеров

Надежность анкеров определяется как отношение числа анкеров, которые не выдержали испытания к общему числу испытанных анкеров. Если фактическая надежность превышает заданный уровень  $R_0$ , партия установленных (например, в течение недели или месяца) анкеров принимается. Если фактическая надежность меньше уровня  $R_1$  тогда партия бракуется.

Ширина диапазона неопределенности решения определяется разницей между уровнями надежности (вероятности)  $\Delta = R_0 - R_1$ . Количество необходимых испытаний и допустимое количество бракованных анкеров определяется исходя из выше заданных условий путем решения системы уравнений:

$$\sum_{i=0}^{r-1} C_N^i P_0^{N-i} (1-P_0)^i = 1-\alpha,$$

$$\sum_{i=0}^{r-1} C_N^i P_0^{N-i} (1-P_1)^i = \beta,$$

где  $C$  – доля надежных анкеров в  $i$ -том интервале испытаний;

$R$  – критическое количество неудачно установленных анкеров, при достижении которого вся партия бракуется.

Риск поставщика в данном случае означает риск звена, которое устанавливает анкеры. Риск потребителя ассоциируется в данной проблеме с риском пользователей выработки, закрепленной сталеполимерными анкерами (то есть выемочный участок, шахта). В большинстве практических случаев риски поставщика и потребителя принимаются равными друг другу.

В таблице 1 приведены результаты расчетов необходимого числа испытаний и критического количества неудачно установленных анкеров  $r$ , при достижении которого вся партия бракуется для определенных наборов вероятности  $P$  и рисков  $\beta$  и  $\alpha$ .

Для наглядного анализа результатов расчета используем график, приведенный на рис. 2, на котором показано как зависит величина надежности и риска от числа испытаний. Так с ростом необходимого числа испытаний от 17 до 189 риск ложного принятия партии установленных на участке или шахте анкеров снижается с 0,2 до 0,1. При этом нижний порог надежности увеличивается с 0,8 до 0,9. Следует также отметить закономерность увеличения критического числа бракованных анкеров с ростом необходимого числа испытаний. Пользование таблицей 1 и рисунком 2 определяется экономическими соображениями. Ясно, что чем больше анкеров испытывается на участке или шахте, тем надежнее определяется качество их установки. Однако это означает, что за повышение надежности принятия решения необходимо платить дополнительными расходами труда и времени. Окончательное решение принимается руководством шахты. Для ориентировочной оценки можно принять вариант плана испытаний, при котором партия анкеров, установленная в течение месяца (около 2000 штук) проверяется по испытаниям 100 анкеров (5% от общего количества).

При этом вся партия бракуется в том случае, если из указанных 100 анкеров будет найдено не менее 6 неудачно

установленних, то єсть таких, несущая способность которых после установки не соответствует паспортной.

Таблица 1

Расчет необходимого числа испытаний и критического количества неудачно установленных анкеров

$P_0$ (вероятность, с которой устанавливается порог надежности при принятии партии)	$P_1$ (вероятность, с которой устанавливается порог надежности при браковке партии)	Риск поставщика (потребителя) $\alpha = \beta$	Необходимое число испытаний $N$	Критическое число неудачно установленных анкеров, при достижении которого партия бракуется, $г$
0,95	0,9	0,1	189	14
0,95	0,9	0,2	98	6
0,95	0,8	0,1	35	4
0,95	0,8	0,2	17	2

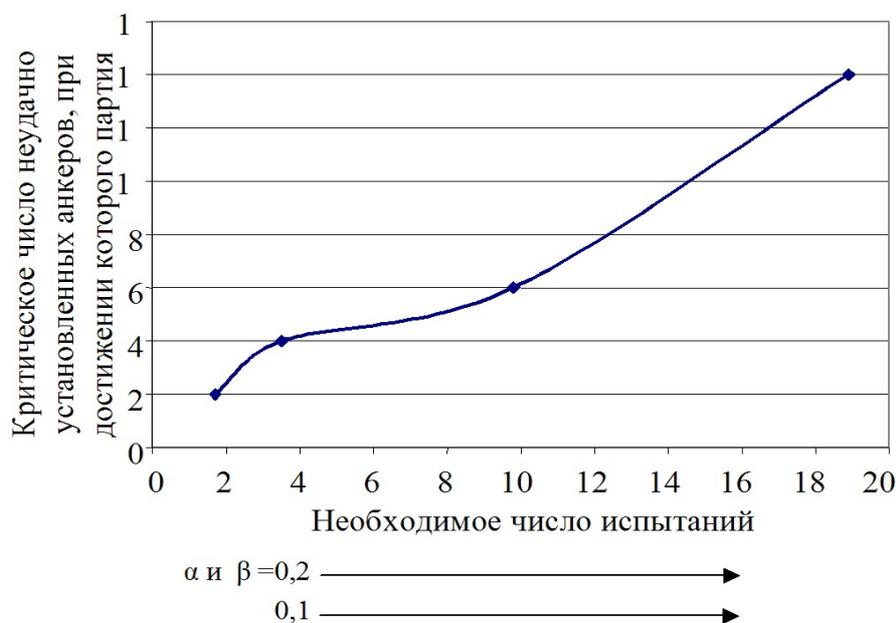


Рис. 2. Связь между объемом испытаний, критическим числом бракованных анкеров и показателями надежности и риска

При таком плане испытаний обеспечивается уровень вероятности (надежности) 0,95-0,90, а уровень риска не превышает 0,2, что вполне приемлемо для практики работы угольной шахты.

Рациональной процедурой испытаний можно сократить затраты времени и труда ИТР по проверке несущей способности анкеров. Для этого испытанию на вытягивание можно подвергать не все 100 анкеров, а только малую долю, например 10% (то есть 10 штук). Качество установки остальных 90 анкеров можно контролировать по глубине незаполненной смолой части шпура (она не должна превышать 50см) от устья шпура. Кроме того, несущую способность анкеров можно оценивать по величине пластической деформации шайб в зоне активных сдвижений и опорного давления действующей лавы. Анкеры, которые заметно подвергли свои шайбы пластической деформации, можно считать установленными удовлетворительно.

В настоящее время методика испытания анкерной крепи на надежность проходит испытания на шахте «Красноармейская-Западная №1», а также разрабатывается технология испытаний несущей способности анкеров по пластической деформации шайбы.

## **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Семевский В.Н. Штанговая крепь. - М.: Metallurgizdat, 1958. - 234 с.
2. Борисов А.А. Новые методы расчета штанговой крепи. - М.: Госгортехиздат, 1962. – 125 с.
3. Горбачев Т.Ф., Штумпф Г.Г., Стрыгин Б.И. Применение анкерной крепи в подготовительных выработках. – Новосибирск: Наука, 1972. – 246 с.
4. Широков А.П., Лидер В.А., Писляков Б.Г. Расчет анкерной крепи для различных условий применения. – М.: Недра, 1976. – 208 с.
5. Анкерная крепь: Справочник / А.П. Широков и др.-М.: Недра, 1990. – 295 с.
6. Мельников Н.И. Анкерная крепь. – М.: Недра, 1980. – 252 с.

7. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2002. – 372 с.
8. Molinda G., Mark C. Factors influencing intersection stability in U.S. coal mines // Proceedings International Conference on Ground Control in Mining. – Morgantown: West Virginia University. – 1998. – Pp. 267-275.
9. Extensive Fall of Roof at Bilsthorpe Colliery. Report of HJC. ISBN 0 7176 0700 3.
10. TSRE Rock Mechanics Bilsthorpe Fall. – Morgantown: West Virginia University. – 1994. – 223 p.
11. Peng S.S. Causes of massive directional roof falls in room and pillar mines // Proceedings International Conference on Ground Control in Mining. – Morgantown: West Virginia University. – 1999. – Pp. 8-17.
12. Altonyan P.F.R., Bigby D.N. Instrumentation and procedures for routine monitoring of reinforced mine roadways to prevent falls of ground // Proceedings International Conference of Safety in mines research institute. - New Delhy, India. – 1997. – Pp.759-766.
13. Matsui K., Furukawa H. Bolting practice in longwall gateroads at the Miike Colliery // Proceedings International Conference on Ground Control in Mining. – Morgantown: West Virginia University. – 2000. – Pp. 1-8.
14. Tingkan L., Hebblewhite B. Field monitoring of rock bolting performance in weak roof strata // Proceedings International Conference on Ground Control in Mining. – Morgantown: West Virginia University. – 1999. – Pp. 243-248.
15. Signer S., Lewis J. A case study of bolt performance in a two-entry gateroad // Proceedings International Conference on Ground Control in Mining. – Morgantown: West Virginia University. – 1999. – Pp. 8-17.
16. Барлоу Р. Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Наука, 1985. – 345 с.
17. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 420 с.