УДК 622.831

Ю.Г.СИРЕНКО
Горный факультет, доцент кафедры разработки месторождений подземным способом
Д.В.ПОГРЕБЕНКО
Горный факультет, группа ТПП-98-2, ассистент профессора

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ИСПЫТАНИЕ АНКЕРНОЙ КРЕПИ НА СОЛИГОРСКИХ РУДНИКАХ

В различных горно-геологических условиях испытаны анкерная крепь, применяемая на Солигорских рудниках Старобинского месторождения калийных солей, и новый способ анкерного крепления с применением шпура переменного диаметра.

Интенсивные тангенциальные напряжения, направленные перпендикулярно к оси анкера, приводят к смещению породных слоев; люфт, получаемый при бурении шпура переменного диаметра, позволит породным слоям перемещаться в горизонтальном направлении без разрыва штанги анкерной крепи. Таким образом, срок службы анкерной крепи планируется увеличить в 2 раза.

Для сокращения затрат на крепление горных выработок винтовыми анкерами предложено уменьшить длину анкеров с 1,8 до 1,5 м. При этом нарезку резьбы производят не по всей длине штанги, а лишь на длину ее закрепления в устойчивых породах (0,43 м).

Возможность применения нового способа крепления с предлагаемыми параметрами подтверждена аналитическими расчетами.

In the article there is the test data of a roof bolting trials in different geological conditions applied on Soligorsk ore mines of a Starobin field of potassium salts and trials of a new method of anchor fixing with applying of a blasthole of a variable diameter which allows to augment durability of an anchor.

In conditions of intensive horizontal stresses, directional perpendicularly to a fulcrum of an anchor, that results displacement rock stratums, backlash receivable at boring of a blasthole of a variable diameter, will allow rock stratums to be displaced in a horizontal direction without a breaking of a drill rod of a roof bolting. Thus durability of a roof bolting is planned to augment twice.

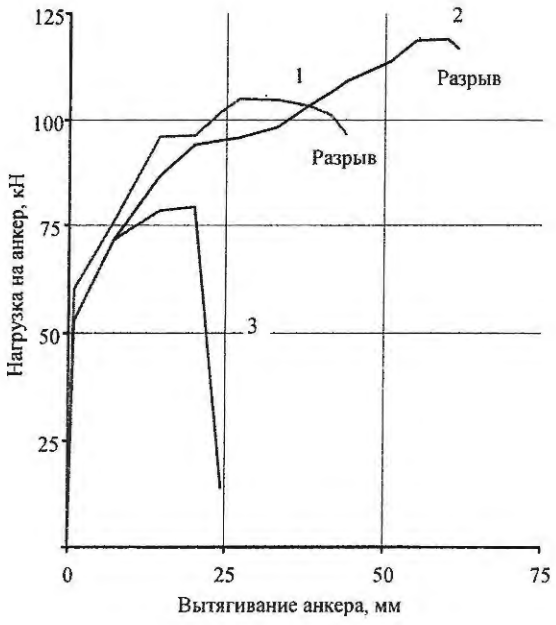
For reduction of the costs on fixing of mine workings by screw-shaped anchors, it is offered to diminish length of anchors with 1,8 up to 1,5 m. Thus the development of a thread is made not on all length of a drill rod, but only on length of its anchoring in stable rocks (0,43 m).

The possibility of applying of a new method of fixing with tendered arguments is affirmed by analytical accounts.

На Солигорских рудниках для крепления выработок применяют два типа анкеров: клинораспорные конструкции ЭС-2Э треста «Эстонсланец» (в дальнейшем анкеры «Эстонсланец») и винтовые, имеющие резьбу по всей длине. Анкеры изготавливаются в местных условиях из круглой горячекатанной стали 5. Общий расход крепи достигает 400 тыс. комплектов в год.

Важнейшим показателем работоспособности анкеров любого типа является прочность их закрепления в шпурах. При испытаниях данный параметр вместе с величиной вытягивания анкеров из шпуров используется при построении силовых характеристик крепи.

С целью поиска путей повышения эффективности применения анкерной крепи в условиях Старобинского калийного месторождения были проведены испытания анкеров на участках выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ и в зоне опорного давления. Всего было проведено 24 опыта по нагружению анкеров.



Силовые характеристики закрепления винтовых анкеров в породах

1 – в каменной соли на глубину 0,2 м; 2 – в сильвините на глубину 0,23 м и со свободной (не ввернутой в стенки шпура) частью длиной 1,3 м; 3 – в каменной соли на глубину 0,15 м

Стержни анкеров «Эстонсланец» имеют диаметр 20 мм и клиноконическую головку в замковой части анкера длиной 190 мм и максимальной шириной 38 мм. Длина ребристых распорных полувтулок («сухарей») 80-85 мм. Диаметр шпуров для установки анкеров 41 мм. Внутренний диаметр винтовых анкеров 19 мм, внешний (по виткам) 30 мм, расстояние между смежными витками 31 мм, диаметр шпуров для винтовых анкеров 26 мм, глубина внедрения анкера в стенки шпура 2 мм по радиусу.

Разрыв во времени между установкой анкеров в шпуры и их нагружение в период испытаний менялся от 10-15 мин до нескольких суток, а в отдельных случаях до двух-трех месяцев.

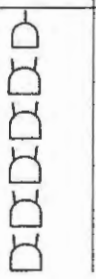
Для испытаний использован гидравлический домкрат со сквозным отверстием для пропуска стержней анкеров. Домкрат устанавливался на контуре выработки в устье шпура. Создаваемое домкратом усилие с помощью опорной гайки передавалось на анкер. Величина усилия вытягивания анкера из шпура определялась с помощью манометра.

Результаты испытания винтовых анкеров свидетельствуют о том, что прочность их закрепления зависит от протяженности контакта «витков крепи» с породой. В соли указанная прочность достигает наибольшей величины при установке анкеров на глубину 0,2 м и более. В этом случае винтовые анкеры имеют жесткое сцепление с породой и работают в режиме нарастающего сопротивления. Прочность закрепления превышает прочность стержней, разрыв которых происходил в «хвостовике» при нагрузке 106 кН и более (см. рисунок, кривая 1). Величина вытягивания анкера из шпура не превышает 30-40 мм. Расстояние между витками вблизи разрыва возрастает с 31 мм до 38-39 мм. Растяжению обычно подвергается и участок анкера внутри шпура на глубине 0,08 м.

Испытания предлагаемого нами способа крепления анкера в шпуре переменного диаметра показали, что винтовой анкер, ввернутый в сильвинит на глубину 0,23 м и имевший свободный (не ввернутый «в стенки расширенного шпура» участок длиной 1,3 м), вытянулся до разрыва на 60 мм (см. рисунок, кривая 2). Разрыв произошел при нагрузке 118 кН. Осмотр анкера после его извлечения показал, что межвитковое расстояние от 31-32 мм у места закрепления постепенно увеличилось до 37-38 мм у места разрыва в «хвостовике». Таким образом, в данном случае имеет место пластическое деформирование анкера практически по всей свободной длине.

При установке винтового анкера на глубину 0,15 м его вытягивание из шпура происходило без разрыва (см. рисунок, кривая 3). В начальной стадии, когда происходило смятие и уплотнение породных «перемычек» между витками, приращение нагрузки не сопровождалось значительным вытягиванием анкера. В конце стадии, когда нагрузка достигла 80 кН, а величина вытягивания анкера 14 мм, указанные перемычки разрушались. В результате нарушения механической связи между анкером и стенками шпура во второй стадии наблюдалось резкое падение нагрузки. Аналогичная картина получена и при установке анкера на глубину 0,10 м. При этом скол «перемычек» произошел при величине вытягивания 11 мм. Визуальное обследование витков, находившихся в контакте с соляной породой, показало отсутствие в них признаков нарушенности. В

Результаты расчетов

Схема крепления выработки	Общая длина закрепления анкера в шпуре, см	Суммарная длина закрепления анкера в слоях сильвинит-галит, см	Число витков в суммарной длине	Общая площадь поверхности витков штанги, см^2	Действующее напряжение, МПа	Напряжение на одну штангу, МПа
	84,3	51,8	16,7	59,99	10,6	10,6
	84,3	51,8	16,7	59,99	10,6	5,4
	71,5	47	15	53,9	11,7	5,8
	65,3	41	13,2	47,4	13,39	6,69
	60,6	37	11,9	42,75	14,84	7,42
	42,6	31	10	36	17,63	8,8

свободной от зацепления со стенками шпура части анкера возникли пластические деформации, в результате которых межвитковое расстояние увеличилось до 33-34 мм.

Как видно из результатов опытов, величина вытягивания винтового анкера из шпура до момента скола перемычек зависит как от вида породы, так и глубины «ввертывания» протяженности контакта витков с породой.

Проведенные испытания показали, что работоспособность применяемых на Солигорских рудниках типов анкеров решающим образом зависит от их конструктивных особенностей и вида пород, в которые они устанавливаются. Винтовые анкеры в соляных и глинистых породах и анкеры «Эстонсланец» в соляных породах работают в режиме нарастающего сопротивления. Величина вытягивания винтовых анкеров со свободной (не ввернутой в соль) частью и анкеров «Эстонсланец» в соляных породах не превышает 30-40 и 60-90 мм соответственно.

Результаты испытаний подтверждены аналитическими расчетами. Нагрузка на штангу

$$P_{шт} = abh\gamma,$$

где γ – объемный вес пород в массиве; a – расстояние между штангами; b – ширина выработки; h – длина незакрепленной части шпура.

Общая площадь поверхности витков штанги

$$S_o = Gn(D^2 - D_в^2),$$

где D и $D_в$ – диаметр верхней и незакрепленной в массиве части шпура соответственно; G – безразмерный параметр, учитывающий изменение площади контакта штанги с породой при «винтовой траектории»; n – число витков.

Действующее напряжение

$$\sigma_д = P_{шт} / S_o.$$

Проверка выполнялась по условию

$$\sigma_д \le [\sigma_{вд}] / k_з,$$

где $[\sigma_{вд}]$ – допустимое напряжение на вдавливание, $[\sigma_{вд}]$ = 15 МПа; $k_з$ – коэффициент запаса прочности, $k_з = 2$.

В расчете начальная длина штанги принята равной 1,8 м, $P_{шт}$ = 62,2 кН. С каждым шагом расчета длину штанги уменьшали на суммарную мощность слоев сильвинита-галита и глины. Для того чтобы расчеты производились с запасом, из общей длины закрепленной части штанги в расчете учитывалась только мощность слоя сильвинит-галит (см. таблицу).

Таким образом, сокращение затрат на крепление горных выработок анкерами в условиях Старобинского месторождения, возможно, уменьшением длины анкеров с 1,8 до 1,5 м. При этом снижаются и затраты на производство штанг, так как нарезка резьбы производится не по всей длине, а лишь на длину закрепления (43 см). Действующее напряжение на каждой штанге в этом случае (7,42 МПа) соответствует пределу прочности штанги на разрыв. Увеличивается также срок службы анкера.