Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLII, вып. 1, 1960 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ШТАНГОВОЙ КРЕПИ В ВЫРАБОТКАХ БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОДАХ

А. А. Борисов, А. И. Голомолзин, И. П. Толстунов

В Советском Союзе крепление штанговой крепью выработок больших сечений, пройденных в неслоистых и прочных, но сильно трещиноватых породах, было проведено по инициативе А. И. Голомолзина в 1955 г. Под его руководством группой инженеров (Р. Э. Василевским, В. Г. Доминиковым и Ю. К. Маненковым) было закреплено несколько опытных участков в породах с различной степенью трещиноватости.

Однако теоретическая неразработанность вопросов взаимодействия штанговой крепи с горными породами в выработках, проводимых в прочных, но сильно трещиноватых породах, приводит довольно часто к недоверию и в результате к отказу от применения этого нового вида крепи.

В выработках, проводимых в слоистых породах, штанговая крепь нашла наибольшее распространение. Естественно, что и вопросы взаимодействия штанговой крепи с породами в этих условиях наиболее изучены экспериментально и теоретически.

Представление о работе штанговой крепи в слоистых породах сводится к двум основным схемам.

I. Штанговая крепь связывает несколько слоев, мощность которых относительно мала по сравнению с пролетом. Роль штанговой крепи в этом случае заключается в повышении момента сопротивления рассматриваемой пачки пород. Например, если имеется пачка из n слоев, защемленных по концам, одинаковой мощности h, примерно одинаковой механической характеристики и если отношение $\frac{l}{n} \geqslant 5$ (l — пролет выработки), то без значительной погрешности можно написать для предельно допустимого пролета

$$l_{\text{пред}} = \xi \sqrt{\frac{2h\sigma_{\text{пч. изг}}}{\gamma}}, \qquad (1)$$

где h — мощность одного слоя;

γ — объемный вес породы рассматриваемой пачки слоев;

$\sigma_{\text{пч. изг}}$ — предел прочности пород изгибу;

ξ — коэффициент ползучести при изгибе для рассматриваемого момента времени.

Когда слои будут стянуты штангами, выражение (1) для предельного пролета выработки примет вид

$$l_{\text{пред}} = \xi \sqrt{\frac{2Kh\sigma_{\text{пч. изг}}}{\gamma}}, \qquad (2)$$

где $1 < K < n^2$ — коэффициент, учитывающий увеличение момента сопротивления рассматриваемой пачки слоев (n — число скрепляемых слоев).

Очевидно, величина K зависит от характеристик штанг, их числа и расположения.

II. Штанговая крепь подвешивает относительно тонкий слой или пачку тонких слоев к мощному и прочному слою породы. Роль штанговой крепи в этом случае сводится в основном к предотвращению обрушения подвешенного слоя (пачки) и, следовательно, крепь можно рассчитывать на растяжение и вытягивание ее из скважины весом нижнего слоя (пачки). Повышение общего момента сопротивления подвешиваемой пачки слоев в данном случае можно не учитывать.

В практике разработки рудных, иногда угольных месторождений и особенно часто при проходке выработок специального назначения приходится встречать трещиноватые породы. Вопрос о целесообразности применения штанговой крепи в таких породах мало изучен. Известны даже высказывания о недопустимости и бесполезности применения в таких случаях штанговой крепи.

Актуальность этого вопроса побудила нас провести лабораторные исследования на моделях, которые были изготовлены в течение 1956—1958 гг. в лаборатории горного давления Ленинградского горного института.

В нижней части каждой модели, симметрично относительно ее оси, одновременно «проходились» две выработки одинакового сечения, одну из которых крепили штанговой крепью, а другую оставляли без крепи. В процессе исследования воспроизводили различные системы трещин, проходили выработки прямоугольного сводчатого сечения, производили измерения величин опускания кровли выработок, поверхности модели, а также натяжения штанг. Модели строили на поворотном и неповоротном стендах. Достаточная прочность стендов, основные части которых были изготовлены из швеллера № 24, позволила создавать значительные пригрузки на модели. Исходя из размеров стендов, размеры испытуемых моделей могли приниматься по высоте до 2,5 *м*, по ширине 0,24 *м* и по длине на неповоротном стенде до 6 *м* и на поворотном до 2,7 *м*. Высота покрывающей толщи горных пород в моделях компенсировалась методом нагрузки или пригрузки, впервые примененном А. А. Борисовым в 1937—1946 гг. [6], а затем и другими исследователями (ВНИМИ, ВУГИ и др.). На модель давалась равномерно распределенная пригрузка, причем она контролировалась по деформациям верхней части модели при помощи индикаторных головок часового типа с ценой деления 0,01 *мм*. Устройство штанг, применявшихся при исследованиях на моделях, имитировавших натурную штанговую крепь, схематически представлено на рис. 1.

Диаметр штанг для моделей по конструктивным соображениям не мог быть принят менее 3 *мм*, хотя при линейном масштабе моделирования $\frac{1}{20}$ их диаметр следовало бы принять равным 0,75—1,5 *мм*. Однако увеличение диаметра штанг не вносит существенных погрешностей в их деформируемость, так как последняя воспроизводится деформа-

циями пружины и, следовательно, не вызывает существенных искажений в характере изменения напряженного состояния пород кровли. Остальные параметры штанги для моделей — длина, пределы деформируемости и натяжение — были приняты в соответствии с линейным масштабом моделирования.

В процессе исследований были испытаны клиновые типы замков штанг с распорной муфтой (см. рис. 1, *а*) и др. При масштабе моделирования $\frac{1}{20}$ наиболее удобными и надежными оказались замки, показанные на рис. 1, *б*. Под действием пружины и последующего натяжения хвост замка внедряется в стенку скважины, надежно закрепляя штангу на любой глубине.

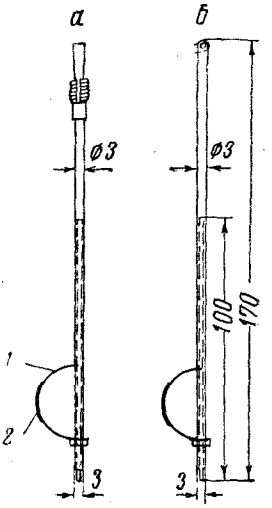


Рис. 1. Общий вид штанг для моделей:
1 — пружина; *2* — проволочный датчик

Измерение натяжения и деформации штанг в процессе опытов вели с помощью наклеенных на «спинку» скобы (пружины) датчиков сопротивления и измерительной станции. Тензометры сопротивления применяли обычные из константановой проволоки диаметром 0,02 *мм*, с базой 10 *мм*.

Модели строили из гипсо-песчаных смесей, эквивалентных в масштабе моделирования породам натуры. В зависимости от ориентировки основных систем трещин модели строили на поворотном или неповоротном стендах. На поворотном стенде воспроизводились участки месторождения, рассеченные двумя ортогональными системами трещин, падающими под углами +45 и —45° к горизонту. Среднее расстояние между трещинами было принято 0,5—0,8 *мм*, что в масштабе модели составляло 2,5—4 *см*. Модели в этом случае строились из горизонтальных слоев мощностью по 4 *см*, разделенных прослоями миканита. Это давало одну систему более резко выраженных трещин. Вторая система трещин воспроизводилась при построении модели разрезанием каждого слоя плоскими ножами через 3—4 *см*. По окончании построения модели стенд поворачивали в рабочее положение. Моделируемая область имела размеры по длине 2,5 *м*, высоте 1,2 *м*, что в пересчете на натуру соответственно составляло 50 и 24 *м*. Ширина модели 0,24 *м*. На неповоротном стенде воспроизводились участки месторождения, рассеченные двумя системами основных трещин, из которых одна ориентировалась горизонтально, а другая вертикально под углом 45° к продольным осям выработок. Частота трещин и способы их воспроизведения были такими же, как в предыдущем случае. Моделируемая область имела размеры по длине 54 *м* и высоте 26 *м*, что в масштабе модели составляло соответственно 2 и 1,3 *м*. Ширина модели, как и в предыдущем случае, принималась 0,24 *м*.

Построенные модели высушивали до воздушно-сухого состояния, что вызывало в них дополнительную трещиноватость. Глубина залегания выработок в пересчете на натуру варьировалась от 100 до 140 *м*.

Как было сказано выше, при испытаниях в каждой модели одновременно проходили две выработки, ориентированные симметрично относительно моделируемой области. Начальный пролет каждой выработки, равный 5 *см*, постепенно увеличивали заходками шириной по 4—5 *см*. Одну из выработок оставляли без крепи, другую — закрепляли

штанговой крепью, располагая штанги в два ряда (рис. 2). В пересчете на натуру расстояние между рядами составляло 2 *м*, а между штангами в ряду 1 *м*.

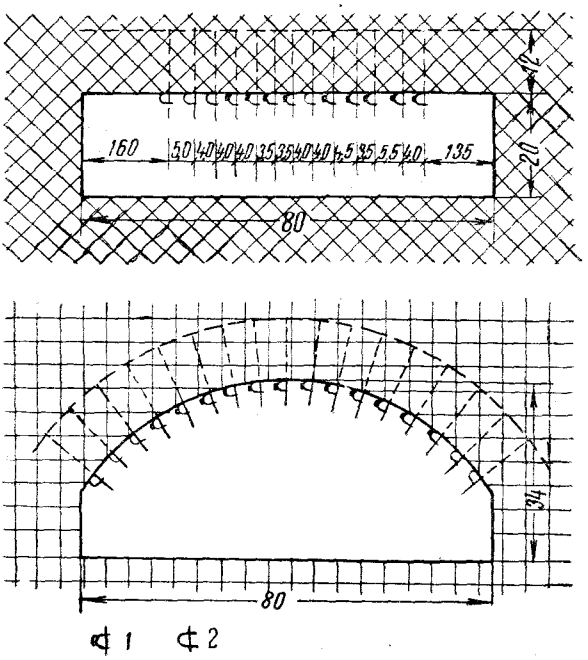


Рис. 2. Схема расположения штанг:
1 — с датчиком; *2* — без датчика

Натяжение штанг при установке принимали в пересчете на натуру равным 4—5 *т*. Одновременно с установкой штанг наблюдали за изменением натяжений и деформаций ранее установленных штанг. Кроме того, с помощью индикаторных го-

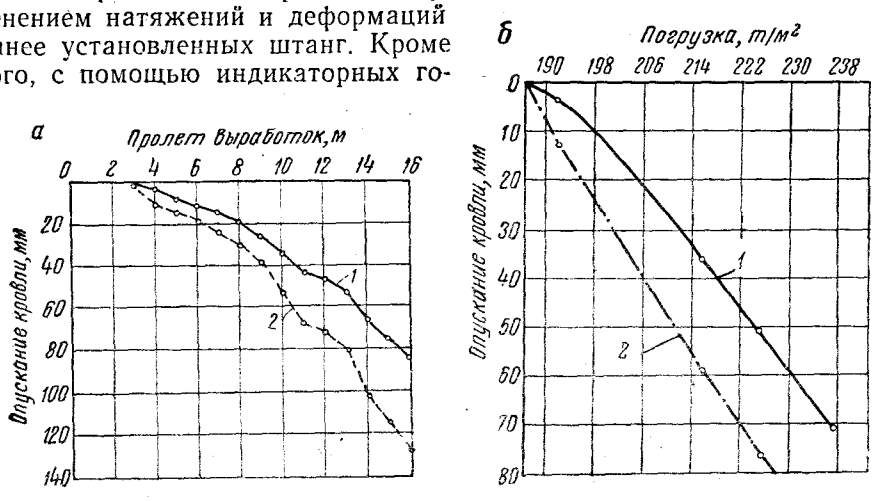


Рис. 3. Зависимость опускания реперов кровли:
а — от увеличения пролета выработок (модель № 4); *б* — от увеличения пригрузки при постоянном пролете (модель № 3); *1* — опускание кровли в закрепленной выработке; *2* — то же, в незакрепленной выработке

ловок часового типа, с ценой деления 0,01 *мм*, контролировали опускание кровли выработок и верхней части модели. Во все время опытов

опускание верхней части модели над обеими выработками было одинаковым, что свидетельствовало о равномерном распределении пригрузки.

Величина и скорость опускания кровли в незакрепленных выработках оказались примерно в 1,5—2 раза больше, чем в выработках со штанговой крепью. Характер опускания кровли выработок в зависимости от величины пролета показан на графике рис. 3, *а*. В кровле

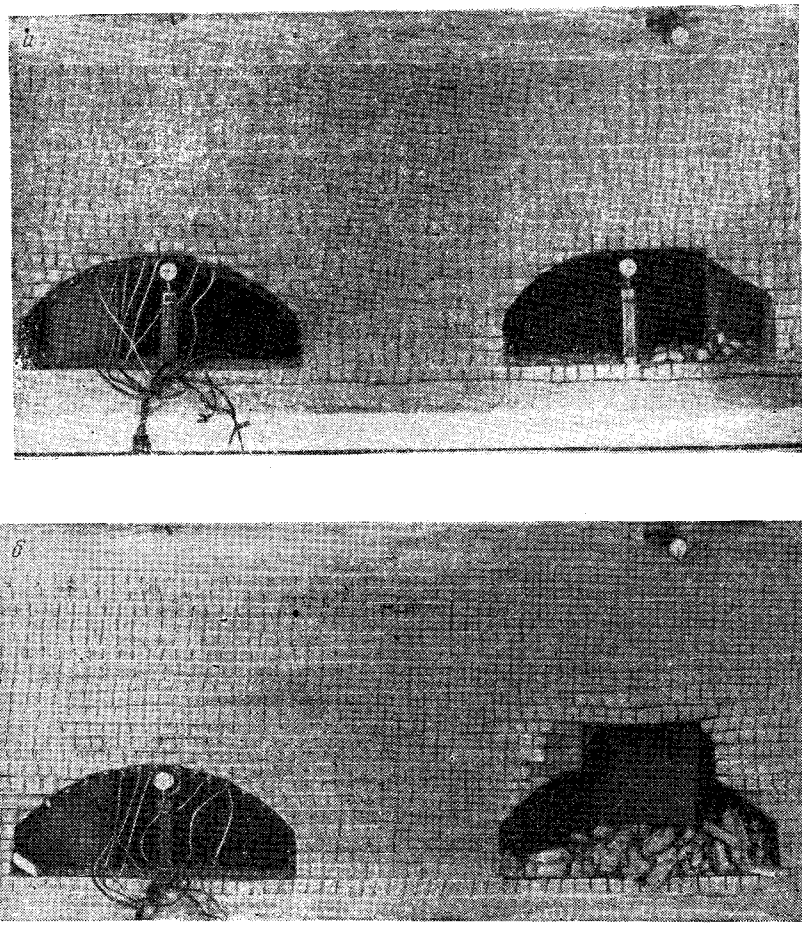


Рис. 4. Состояние кровли выработок модели № 3 при пролете 16 *м* и пригрузке (в пересчете на натуру):
а — 192 *т/м*²; *б* — 237 *т/м*²

незакрепленных выработок при пролете 7—9 *м* уже наблюдались хорошо заметные раскрытия трещин, увеличивавшиеся по мере увеличения пролета выработок и вызывавшие вывалы отдельных кусков из кровли. В кровле выработок, закрепленных штанговой крепью, раскрытия трещин не наблюдалось.

Как показали измерения, при увеличении пролета натяжение штанг увеличилось в пределах 10%.

Изучение влияния пригрузки на модель при постоянном пролете (рис. 3, *б*) показало, что по мере возрастания пригрузки в кровле

незакрепленных выработок происходили раскрытия трещин и обрушения, тогда как кровля выработок, закрепленных штанговой крепью, других изменений, кроме опускания, не обнаруживала.

Как видно на рис. 4 и 5, где показано изменение состояния кровли выработок сводчатого и прямоугольного сечений, увеличение при-

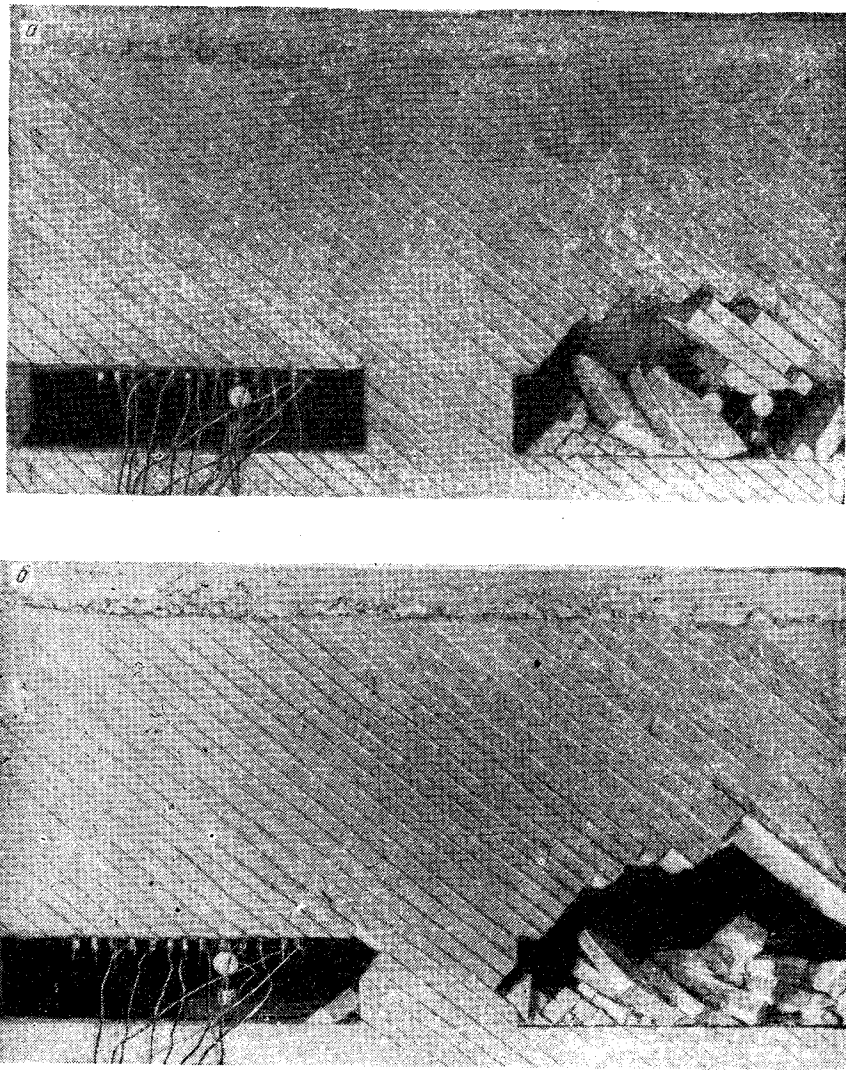


Рис. 5. Состояние кровли выработок модели № 2 при пролете 16 *м* и пригрузке (в пересчете на натуру):
а — 272 *т/м*²; *б* — 346 *т/м*²

грузки вызывает не только обрушение кровли незакрепленной выработки, но и раздавливание междукамерного целика. В выработке же, закрепленной штанговой крепью, этого не было. При дальнейшем увеличении пригрузки кровля закрепленных выработок не теряла несущей способности даже в тех случаях, когда ее опускание превосходило предельное опускание кровли незакрепленных выработок непосредственно перед обрушением.

Характер разрушения кровли выработки прямоугольного сечения, закрепленной штанговой крепью с металлическим верхняком, представлен по результатам исследования модели № 6 на рис. 6. В отличие от

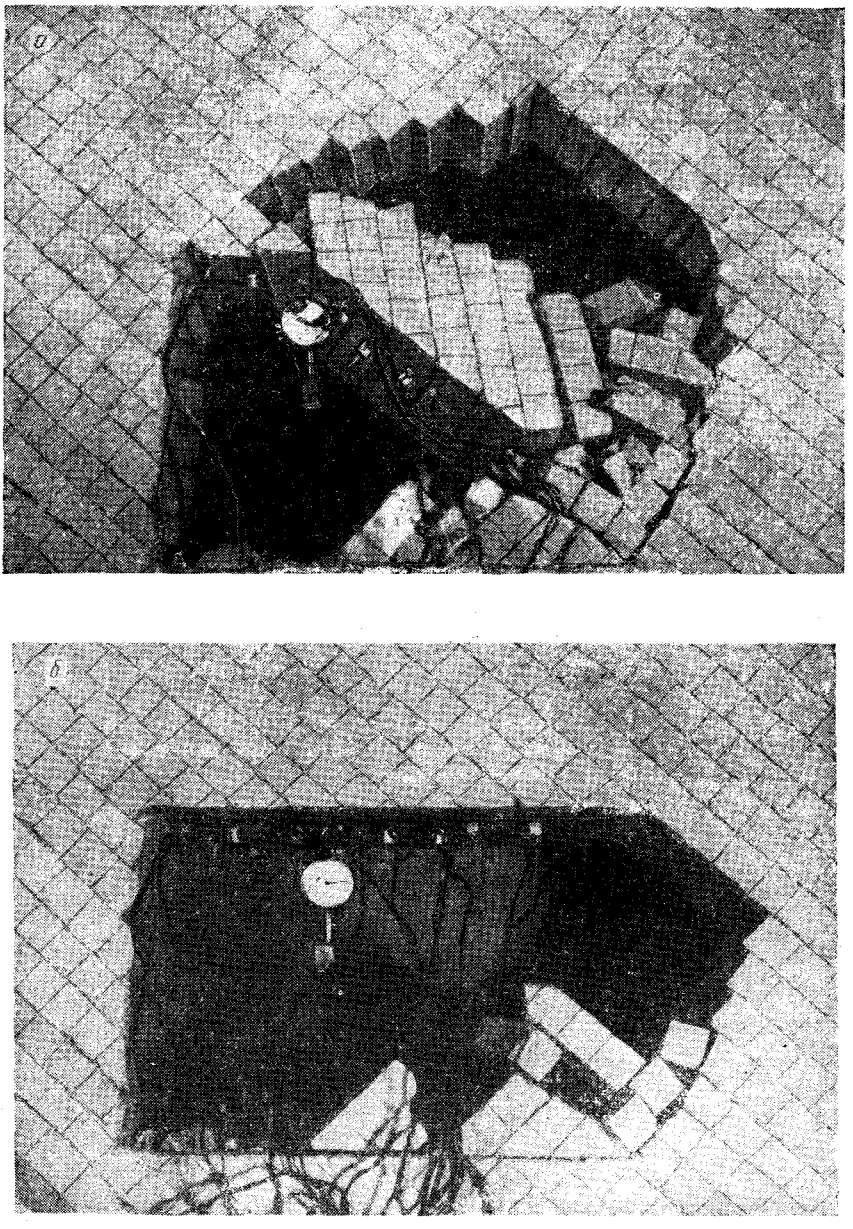


Рис. 6. *Характер разрушения в модели № 6:*
а — кровля выработки; *б* — стенки выработки прямоугольного сечения

предыдущих, эта модель была построена из песчано-парафиновой смеси. Воспроизводились две системы трещин, падающие под углами +45 и —45° к горизонту. При опытах исследовалась зависимость устойчивости кровли от пригрузки при постоянном пролете. Обрушение

кровли произошло при пригрузке 355 *т/м*² в пересчете на натуру. Обрушению предшествовало разрушение стенки выработки в направлении основной системы трещин (см. рис. 6, *б*). Новое обнажение кровли не было закреплено, что вызвало обрушение кровли в этой части и поворот закрепленной штангами части кровли (см. рис. 6, *а*). Это свидетельствует о надежном скреплении породных блоков штангами и образовании в кровле прямоугольной выработки зоны, в известной мере подобной балке и способной испытывать деформации изгиба. Это и приводит к повышению несущей способности кровли.

Выводы

1. Несущая способность кровли выработки, закрепленной штанговой крепью, значительно выше, чем без крепи при аналогичных условиях.

Повышение несущей способности кровли, закрепленной штанговой крепью, может быть объяснено тем, что при стягивании штангой нескольких блоков образуется более крупный блок, в котором связи между отдельными элементами значительно повышаются. Крупные блоки связываются между собой в результате несовпадения трещин и частично штангами. Сжатие пород создает дополнительный горизонтальный распор и приводит к некоторому закрытию трещин, что усиливает связь смежных блоков, повышая несущую способность кровли выработки.

Вследствие установки штанг с предварительным натяжением и без отставания от забоя, а также постепенного нарастания нагрузки по мере удаления от забоя и развития деформации ползучести система «породы — штанги» представляет предварительно напряженную конструкцию из отдельных блоков, стянутых штангами и прижатых друг к другу неровными поверхностями под действием распора, нормального к осям штанг.

2. В процессе опускания кровли при длине штанг 2—2,5 *м* и их предварительном натяжении 4—5 *т* закрепленные выработки имеют следующие преимущества перед незакрепленными: а) величина опускания кровли в 1,5—2 раза меньше; б) скорость ее опускания в среднем в 1,5—2 раза меньше; в) кровля не теряет несущей способности и в том случае, когда величина опускания превосходит предельное опускание в незакрепленной выработке, при котором произошло обрушение кровли.

Указанные количественные показатели, разумеется, справедливы только для описываемых условий. Качественная же сторона явления справедлива в общем случае, т. е. применение штанговой крепи приводит к уменьшению опускания кровли выработок (смещений пород вообще), уменьшению скорости опускания и увеличению допустимого предела последнего. Это справедливо при прямоугольной и сводчатой формах поперечного сечения выработок.

3. При увеличении пролета выработки и росте пригрузки натяжения штанг несколько увеличиваются, так как при опускании кровли возрастает величина распора, нормального к осям штанг, деформирующего породы кровли.

4. Для увеличения несущей способности кровли, закрепленной штанговой крепью, следует увеличивать до известных пределов начальное натяжение штанг и сгущать их сеть.

5. С увеличением пригрузки (глубины расположения выработки) свод обрушения получает развитие; трещины раскрываются и происходит дальнейшее обрушение пород, т. е. высота свода обрушения уве-

личивается. Этот факт нельзя удовлетворительно объяснить с позиций общеизвестной гипотезы свода, трактующей, что параметры свода независимы от глубины расположения выработок.

Проведенные исследования показали высокую работоспособность штанговой крепи в данных условиях и возможность создания теоретических методов ее расчета. Дальнейшие исследования должны идти по пути проведения промышленных экспериментов, развития лабораторных исследований и создания расчетных методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семевский В. Н. Штанговая крепь. Металлургиздат, 1956.
2. Семевский В. Н. Штанговая крепь за рубежом. «Горный журнал», 1956, № 1.
3. Семевский В. Н. Штанговая крепь на рудниках Канады. «Горный журнал», 1957, № 5.
4. Волькенау А. В. и Широков А. П. Испытание анкерной крепи в Кузнецком бассейне. «Уголь», 1955, № 9.
5. Нуждин И. И. Штанговая крепь при подземной разработке россыпей, «Колыма», 1956, № 1.
6. Борисов А. А. Давление на крепь горизонтальных выработок. Углетехиздат, 1948.
7. Тартаковский Д. Л., Добжанский Н. Применение болтового крепления горных выработок в Криворожском бассейне. Бюлл. информации. Металлургиздат, 1956, № 1.