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

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ ШТАНГ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КРОВЛИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

Г. И. Кравченко

Штанговую крепь осваивают пока преимущественно на основе практического опыта, так как ее теория недостаточно разработана. Штанги представляют собой пассивные подвески только при слабой непосредственной кровле и прочной породе основной кровли. Во всех других случаях установка и раскрепление штанг в породе изменяют несущую способность кровли, хотя механические свойства образцов, изготовленных из породы, скрепленной и нескрепленной штангами, конечно, остаются одинаковыми.

К числу факторов, оказывающих влияние на степень увеличения несущей способности пород, скрепленных штангами, помимо параметров крепи, т. е. сетки размещения штанг и их длины, относятся также прочность раскрепления замков штанг в породе, величина предварительного натяжения штанг, тип подхватов и др.

Широко распространено мнение, что при установке натяжение штанг оказывает едва ли не решающее значение на успешность работы крепи, особенно в слоистых породах. Необходимость максимального натяжения штанг обусловливается еще и тем предположением, что с увеличением натяжения возрастает поддерживаемая штангой площадь кровли [1, 2, 3].

В практике встречаются случаи нагружения штанг при их установке до максимально возможных усилий — 7—8 *т* (например, на канадских металлических рудниках [4]) и без предварительного натяжения (при использовании деревянных и железобетонных штанг). Величина предварительного натяжения штанг в литературе получила различные рекомендации, исходящие из соображений безопасности или технической возможности [4, 5]. Для клиновых штанг, например, Горное бюро США рекомендует предварительное натяжение 4 *т*, некоторые же авторы говорят о натяжении свыше 6 *т* [8]. Распорные штанги диаметром 16 *мм* нагружают в США до усилия 2,8 *т*, а при диаметре 19 *мм* до 3,6 *т*, так как большую нагрузку обеспечить нельзя вследствие больших скручивающих напряжений.

Предварительное натяжение штанг следует рассматривать с точки зрения прочности раскрепления замков в скважинах, изменения задан-

ного натяжения штанг во времени и увеличения несущей способности скрепляемых штангами пород.

Как установлено опытами, прочность раскрепления замков штанг распорного типа возрастает с повышением предварительного натяжения штанг вследствие увеличения площади соприкосновения створок замка с боковыми породами скважины. Для клиновых штанг это обстоятельство значения не имеет, поскольку прочность раскрепления замка обеспечивается непосредственно при установке и расклинивании.

Наблюдения за изменением натяжения штанг во времени свидетельствуют о напряжениях, возникающих в штанге любого типа при ее работе.

Для оценки влияния натяжения штанг на несущую способность слоистой кровли можно применить метод приближенных расчетов, основанный на использовании условных характеристик механических свойств горных пород, которые остаются неизменными в довольно широких пределах. Например, для бруса прямоугольного сечения, изготовленного из монолитной горной породы и свободно лежащего на двух опорах, при разрушении его сосредоточенной нагрузкой, прилагаемой посередине пролета, изменение отношения пролета к толщине бруса в пределах от 40 до 5 не изменяет величины условного разрушающего напряжения, вычисленного по обычной формуле сопротивления материалов

$$\sigma_{\text{пч. изг}} = \frac{3}{2} P \frac{l}{bh^2}, \qquad (1)$$

где $\sigma_{\text{пч. изг}}$ — временное сопротивление при изгибе, *кГ/см²*;
P — нагрузка, приложенная посередине пролета, *кГ*;
l — пролет балки, *см*;
b — толщина балки, *см*;
h — высота балки, *см*.

Как показывают опыты, значения $\sigma_{\text{пч. изг}}$ для прямоугольных брусков песчаника (табл. 1) различной высоты остаются почти одинаковыми [8].

Таблица 1

Результаты испытаний образцов на изгиб при $l = 20$ *см* и $b = 5$ *см*

h, *см*	$\frac{b}{h}$	$\sigma_{\text{пч. изг}}$, *кГ/см²*	h, *см*	$\frac{b}{h}$	$\sigma_{\text{пч. изг}}$, *кГ/см²*
0,5	40,0	50	2,5	8,0	50
1,0	20,0	50	3,0	6,7	55
1,5	13,0	60	3,5	5,7	50
2,0	10,0	55	4,0	5,0	50

Для балок, составленных из нескольких слоев, условный предел прочности, вычисленный по формуле (1), также характеризует механические свойства породы с учетом ее слоистости, т. е. ослабления по сравнению с монолитной балкой такой же ширины и мощности.

Сопоставление пределов прочности при разрушении в одинаковых условиях многослойных балок из одного материала, скрепленных и не скрепленных штангами, дает возможность выяснить меру увеличения механической прочности балок при скреплении их штангами различ-

ного натяжения. Разумеется, сопоставимые результаты могут быть получены лишь при условии однородности материала слоев балки и равенства коэффициента трения между слоями.

Изучение изменений несущей способности, происходящих в такой балке под влиянием установки и натяжения штанг, позволит составить представление о подобных же изменениях в кровле слоистого строения. Поскольку в нашу задачу входило только изучение влияния установки и натяжения штанг на несущую способность кровли, испытывались многослойные балки, изготовленные из эквивалентных материалов, свободно опертые по концам, что исключало влияние защемления у концов балки.

Как известно, механическое подобие в характере разрушения горных пород и имитирующих их эквивалентных материалов достигается соблюдением условий:

$$\sigma_{\text{пч. сж}_\text{м}} = \frac{l}{L}\frac{\gamma_\text{м}}{\gamma_\text{н}}\sigma_{\text{пч. сж}_\text{н}}; \qquad (2)$$

$$\sigma_{\text{пч. раст}_\text{м}} = \frac{l}{L}\frac{\gamma_\text{м}}{\gamma_\text{н}}\sigma_{\text{пч. раст}_\text{н}}, \qquad (3)$$

где $\sigma_{\text{пч. сж}_\text{м}}$ и $\sigma_{\text{пч. сж}_\text{н}}$ — предел прочности при сжатии материала модели и натуры, $кГ/см^2$;

$\sigma_{\text{пч. раст}_\text{м}}$ и $\sigma_{\text{пч. раст}_\text{н}}$ — предел прочности при растяжении материала модели и натуры, $кГ/см^2$;

$\frac{l}{L}$ — линейный масштаб модели;

$\gamma_\text{м}$ и $\gamma_\text{н}$ — объемный вес материала модели и натуры, $г/см^3$.

При подборе эквивалентных материалов для изготовления балок особое внимание обращалось на соблюдение основных условий подобия процессов разрушения. Было принято крупномасштабное моделирование. В соответствии с масштабом (1 : 20) и учетом расположения штанг по сетке $1{,}2 \times 1{,}2$ *м* изготовлялись двух- и четырехслойные балки шириной 5 *см* при высоте слоя 1,5—2 *см*, величине пролета 25 *см* и расстоянии между штангами в ряду 5,5 *см*.

Для правильного проведения опытов необходимо воспроизведение сил трения и сцепления между слоями, но эта задача трудно разрешима, так как явление сухого трения пока не имеет физического объяснения. Понятие коэффициента трения можно только условно использовать при рассмотрении сил взаимодействия между двумя телами.

На основании опытных данных можно считать, что коэффициенты трения покоя для сухих горных пород типа известняков и песчаников достигают 0,7—0,75, глинистых пород 0,5—0,6 [7].

В опытах коэффициент трения покоя между слоями принимался 0,5—0,6, так как эквивалентные материалы были подобраны как аналоги глинистых или песчанистых сланцев. Различная прочность связей по контакту при моделировании обеспечивалась разделением слоев закатываемых балок перфорированной калькой с различными диаметрами и числом отверстий. Этим достигалось изменение площади непосредственного контакта слоев, а следовательно, и изменение сил сцепления между слоями.

Вначале отрабатывалась первая серия балок при отсутствии сил сцепления между слоями, затем вторая серия — с различной их величиной.

Первоначальное натяжение штанг определялось из условия подобия реакций в модели и объекте

$$F_м = \left(\frac{l}{L}\right)^3 \frac{\gamma_м}{\gamma_н} F_н,$$

где $F_м$ — реакция крепи (в данном случае штанг) в модели, *г*;
$F_н$ — реакция крепи в натуре, *г*.

Коэффициенты трения и силы сцепления между слоями определялись на специальном приспособлении. Модели штанг представляли собой стальную проволоку диаметром 0,2 *м*. Натяжение штанг измерялось специальным приспособлением, схема которого показана на рис. 1. К металлическому корпусу приварена упругая пластинка, на которую наклеен рабочий тензометр сопротивления, а на основание корпуса — температурный тензометр. Усилия, прилагаемые к штанге,

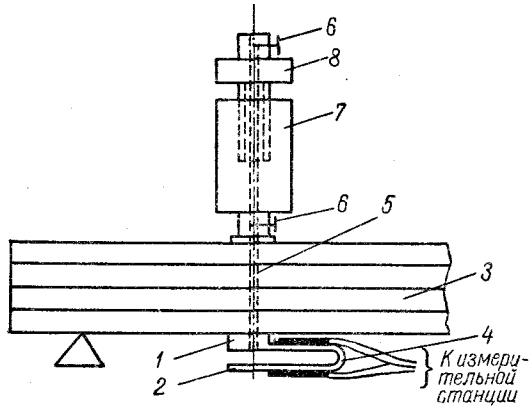


Рис. 1. Измерение предварительного натяжения штанг:

1 — корпус измерителя натяжения; *2* — упругая пластинка; *3* — слоистая балка: *4* — измеритель натяжения; *5* — штанга; *6* — зажимы; *7* — корпус натяжного приспособления; *8* — полый винт

изгибают упругую пластинку, деформируя тензометр сопротивления. Состав смеси для нескольких серий опытов принимался следующий: крупнозернистого кварцевого песка 71,1%, гипса 17,7%, воды 11,2% (по весу). Состав смеси для других серий балок — кварцевого песка 78,4%, алебастра 13,3%, воды 8,3% (по весу).

При принятом масштабе моделирования величина натяжения штанг, соответствующая 2, 6, 4, 8, 10 *т* в натуре, составляла соответственно 175, 350, 525, 700, 875 *г*.

Принятая технология изготовления балок обеспечила приемлемую однородность материала — коэффициент вариации при испытаниях серии балок без штанг был равен 7—10%. При этом для обработки результатов испытаний методами математической статистики оказалось достаточным испытать около 130 балок. Все испытывавшиеся балки разрушались в месте приложения сосредоточенной нагрузки, т. е. посередине пролета. Заметного ослабления балок вследствие просверливания скважин под штанги не наблюдалось, разрушений вдоль скважин также не было. Возрастание несущей способности слоистых балок до момента разрушения происходит при увеличении натяжения до 325—375 *г* (рис. 2). При меньшем или большем натяжении несущая способность балок снижается. Характер изменения несущей способности балок

в зависимости от натяжения штанг сохраняется, но относительное увеличение несущей способности уменьшается. По-видимому, основной силой, противодействующей взаимоскольжению слоев при изгибе, является трение, возрастающее по мере натяжения штанг. Увеличение натяжения штанг вызывает увеличение составляющей силы трения для пород менее прочных в большей степени, чем прочных. Поэтому сила трения под влиянием одной и той же внешней нагрузки будет большей для пород менее прочных.

По данным наших опытов, при возрастании внешней нагрузки для более прочных (твердых) слоев соотношение между двумя слагающими силы трения складываются таким образом, что увеличение нагрузки, прилагаемой к штангам, не вызывает существенного возрастания силы трения между слоями (мерой в данном случае служит увеличение несущей способности балки). Более значительное увеличение несущей спо-

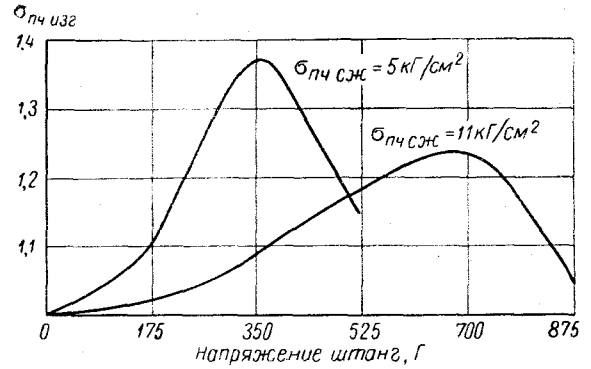


Рис. 2. Результаты испытаний многослойных балок. Зависимость несущей способности слоистых балок от натяжения штанг

собности слоистых балок из мягкого материала при возрастании натяжения штанг до 325—375 *г* сопровождается столь же резким снижением при дальнейшем увеличении натяжения. Объяснить это можно тем, что при дальнейшем увеличении нагяжения штанг материал разрушается под влиянием сжатия и сдвига в зоне действия штанг и в связи с этим уменьшается сила сопротивления сдвигу слоев.

Таким образом, значительного увеличения несущей способности слоистой среды за счет повышенного натяжения штанг не было достигнуто. Такое увеличение не превышает 20—35% по сравнению с балкой, не скрепленной штангами. Для пород более твердых возрастание несущей способности происходит при больших значениях силы натяжения штанг, но все же остается невысоким.

Целью опытов на балках с ненарушенным сцеплением было определение влияния установки и натяжения штанг при наличии связей по контакту между слоями. В табл. 2 приведены результаты испытаний двух серий балок при силе сцепления между слоями 10 *г/см²*, т. е. с прочностью связей по контакту, значительно меньшей прочности материала самих слоев.

Как видно из таблицы, увеличение натяжения штанг не оказывает влияния на несущую способность балок. Как известно, при молекулярном взаимодействии между трущимися поверхностями не наблюдается увеличения силы трения в результате внешней нагрузки. В данном случае штанги при любом натяжении только предотвращают расслоение балок, возникновение трещин и частичную потерю несущей способности.

Таблица 2

Результаты испытаний балок со связями по контакту при $l = 25$ *см*

b, *см*	h, *см*	Число штанг	Натяжение штанг, *г*	P, *кг*	Общая деформация, *мм*	$\sigma_{пч.\ изг.}$, *кг/см²*	$\sigma_{пч.\ изг.\ ср.}$, *кг/см²*
5,0	4,0	—	—	2,370	0,05	1,109 *	
5,0	4,0	—	—	2,425	0,02	1,132 *	1,105
5,0	4,0	—	—	2,800	0,04	1,075 *	
5,0	4,0	4	350	4,800	0,01	2,241	
5,0	4,0	4	350	4,520	0,01	2,218	2,047
5,0	4,0	4	350	3,600	0,02	1,682	
5,0	4,0	4	525	4,384	0,03	2,050	
5,0	4,0	4	525	3,767	0,004	1,761	
5,3	4,2	4	350	5,730	0,03	2,292	
5,8	4,2	4	350	4,995	0,01	1,998	2,178
5,3	4,2	4	350	5,610	0,01	2,244	
5,3	4,2	4	525	5,805	0 02	2,322	
5,3	4,2	4	525	4,858	0 015	1,943	2,132
5,3	4,2	4	525	5,329	0,016	2,132	
5,3	4,2	4	875	5 737	0,014	2,295	
5,3	4,2	4	875	5,419	0,01	2,168	2,097
5,3	4,2	4	875	4,574	0,06	1,830	

* Балки с нарушенными связями по контакту.

содействуя сохранению устойчивости выработки. Поскольку внешние нагрузки не оказывают влияния на уменьшение или увеличение сил сцепления между слоями, нет необходимости завышать натяжение штанг, которое должно лишь предотвратить возможное расслоение. Для проверки результатов, полученных на эквивалентных материалах, и исследования величины горизонтальных и вертикальных напряжений давлений по контакту между слоями и области влияния натяжения штанг были проведены опыты в лаборатории оптического метода исследования напряжений Научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. Модели (рис. 3) изготовлялись из эпоксидной смолы ЭД-6, обладающей, как известно, достаточно высокой оптической активностью и малой склонностью к краевому эффекту. Модуль Юнга материала 30 000 *кг/см²*, цена полосы 6,24 *кг/см²*.

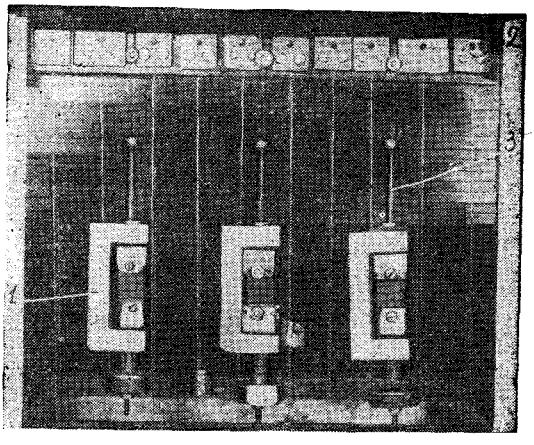


Рис. 3. Общий вид модели из оптически активного материала:
1 — приспособление для натяжения и измерения натяжения штанг; *2* — шинки для нагружения модели; *3* — штанги

При определении в районе действия опорной плитки штанги и ее замка принималось условие плоской задачи. Равномерно распределенная нагрузка передавалась с помощью шинок *2* через резиновую прокладку на верхний слой (см. рис. 3). Модель слоистой балки размерами 25×25 *см* устанавливалась в рабочем поле скрещенного плоского

полярископа. Штангам задавалось требуемое натяжение с помощью приспособления *1*. Затем на увеличенный чертеж модели с сеткой наносилась картина изоклин с интервалом 10° и фотографировались изохромы с разделением выдержки на две части. Первая часть экспозиции использовалась для съемки модели в основном положении поляризационных фильтров, а затем они поворачивались на 45° и делался снимок на тот же негатив с другой половиной выдержки. Такой прием исключал наличие на снимке изоклин и обеспечивал четкость картины изохром. После этого модели сообщалась равномерно распределенная нагрузка — одинаковая для всех серий опытов. Затем снова зарисовывалась картина изоклин и фотографировалась картина изохром.

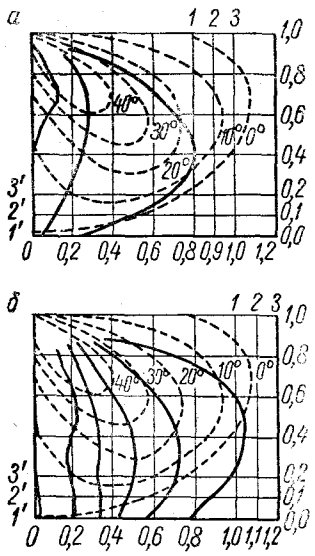


Рис. 4. Совмещенная картина изоклин и полос при натяжении штанг:
а — 28,8 *кГ*; *б* — 57,6 *кГ*

Подобным же образом велись испытания при различном натяжении штанг, причем в последнем опыте штангам задавалось такое натяжение, при котором порядок полос был выше, чем в слоях не скрепленной штангами равномерно загруженной слоистой балки.

При испытаниях моделям балок, скрепленных штангами, задавалось натяжение, равное 14,4; 28,8; 43,2; 57,6 *кг*. На рис. 4 представлены совмещенные картины полос и изоклин при натяжении штанг 28,8 (*а*) и 57,6 (*б*) *кГ* для правой части балки в районе действия средней штанги. Так как картина изоклин и изохром примерно симметрична, вполне достаточно исследовать напряжения только в этой части. Фотографии по-

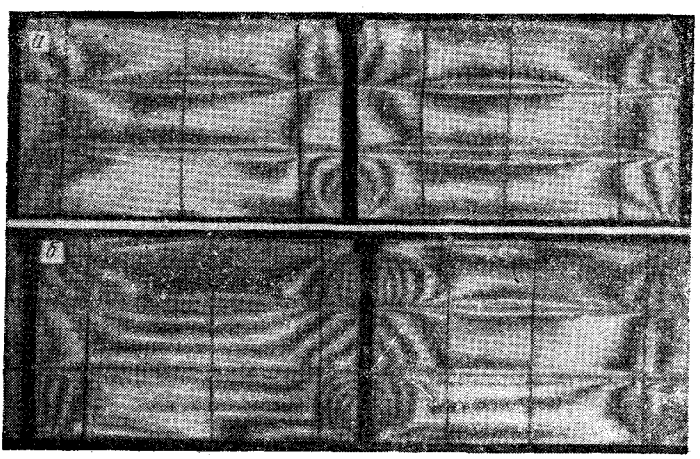


Рис. 5. Картина полос трехслойной балки при натяжении штанг:
а — 28,8 *кГ*; *б* — 57,6 *кГ*

лос, возникающих в слоистой балке при последовательном увеличении натяжения штанг показаны на рис. 5.

Подсчет напряжений σ_x и σ_y выполнен для вертикального сечения *2* и горизонтального *2'* (см. рис. 4) для сокращения объема работ по гра-

фическому интегрированию уравнений равновесия, так как интересующими нас напряжениями являются σ_y по контакту между слоями. По подсчитанным значениям σ_x и σ_y построены эпюры нормальных напряжений σ_x и σ_y, по намеченным сечениям *2* и *2′*. Из рис. 6, где представлено распределение давлений по контакту между слоями *А* и *Б*, сжатыми штангами с различным натяжением, видно, что с увеличением натяжения область влияния штанг остается примерно одинаковой. Однако вертикальные напряжения σ_y, а следовательно, и давления по контакту между слоями *А* и *Б* значительно возрастают.

Если при натяжении штанг в 28,8 *кГ* максимальная величина σ_y составляла 2,94 полосы (для удобства подсчета значения σ_x и σ_y представлены в полосах), то при натяжении в 57,6 *кГ* величина σ_y составила 7,57 полосы, т. е. примерно в 2,5 раза больше.

Контакт между сжимаемыми слоями наблюдается на расстоянии примерно 1,35 *h* (*h* — высота слоя) по обе стороны от места раскрепления замка штанги и опорной плитки (при отсутствии сил сцепления между слоями). Это наглядно иллюстрируется фотографиями рис. 5, на которых видно появление полосы первого порядка в верхнем слое между штангами, что означает появление небольших растягивающих напряжений.

Таким образом, увеличение предварительного натяжения способствует возрастанию давлений, а следовательно, и силы трения на сравнительно небольшой площади в зависимости от мощности слоев и числа штанг.

Напряжения, вызванные установкой штанг и их натяжением, достигают высоких степеней концентрации непосредственно в нижнем слое у опорной плитки и в слое, где раскреплен замок штанги, но область их влияния незначительна. В слоях же, расположенных между нижним слоем и слоем, в котором раскреплен замок штанги, происходит расширение области влияния штанг при снижении концентрации напряжений.

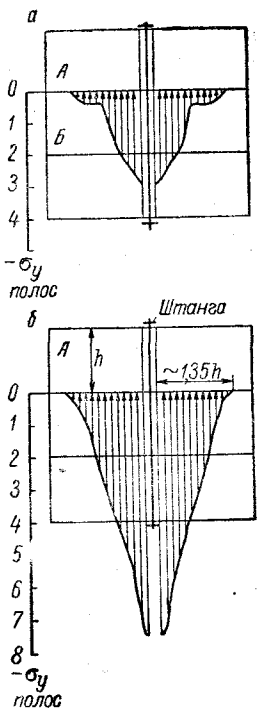


Рис. 6. Распределение давлений по контакту между слоями *А* и *Б* при натяжении штанг: *а* — 28,8 *кГ*; *б* — 57,6 *кГ*

Таким образом, площадь сжимающего действия штанг с увеличением натяжения практически не возрастает, увеличиваются лишь давления по контакту между слоями и вертикальные напряжения σ_y в районе действия штанги. Практически для слоистых горных пород увеличение предварительного натяжения штанг, по-видимому, не дает возможности поддержать большую площадь кровли, поскольку усилия, противодействующие расслоению, охватывают практически одинаковую зону при любом натяжении штанг. В слабых породах чрезмерно большое натяжение штанг может вызвать нарушение сплошности пород, что подтверждается опытами по разрушению балок из эквивалентных материалов.

Напряжения σ_x также несомненно оказывают влияние на несущую способность балки. На рис. 7 представлены эпюры нормальных напряжений σ_x по сечениям *2* и *2′* (см. рис. 4) при натяжении штанг, равном 28,8 и 57,6 *кГ*. По горизонтальному сечению *2′*, проведенному от границы области влияния сжимающего действия штанг, действуют напряжения сжатия (см. рис. 7, *а*). По мере приближения к месту установки

штанги они постепенно уменьшаются и переходят в напряжения противоположного знака. При дальнейшем увеличении натяжения штанг продолжается рост растягивающих напряжений по сечению *2′*, особенно в непосредственной близости к штанге. Так, при натяжении штанг 28,8 *кГ* растягивающее напряжение σ_x по сечению *2′* в нулевой точке равно 0,6 полосы (см. рис. 7, *а*), при натяжении 43,2 *кГ* — 2,4 полосы и и при натяжении 57,6 *кГ* — 4,3 полосы (см. рис. 7, *б*).

Если материал слоев балки обладает большим временным сопротивлением растяжению, то влияние растягивающих напряжений, возникающих под влиянием натяжения штанг, на несущую способность балки может оказаться незначительным. При малом же временном сопроти-

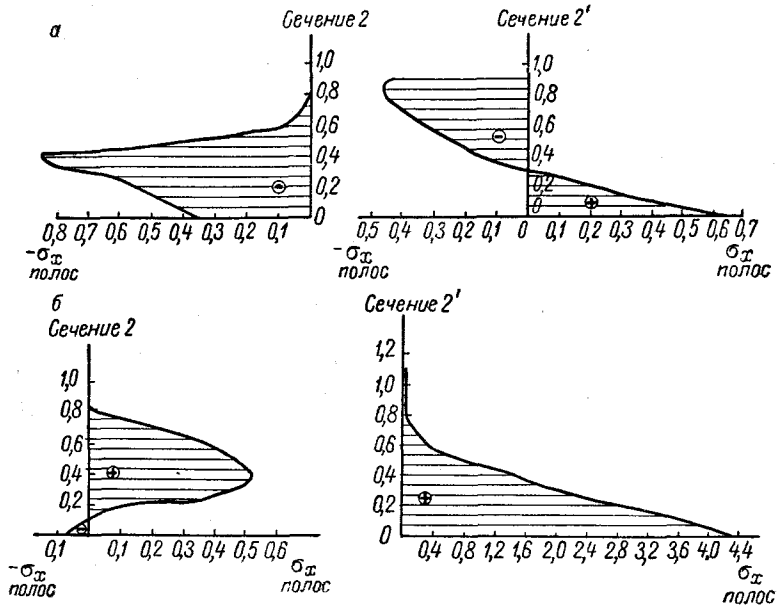


Рис. 7. Эпюры горизонтальных напряжений при натяжении штанг:
а — 28,8 *кГ*; *б* — 57,6 *кГ*

влении растяжению материала слоев балки растягивающие напряжения, возникающие под влиянием натяжения штанг, могут снизить несущую способность балки при чрезмерном натяжении штанг. Следовательно, одинаковое натяжение штанг по-разному скажется на несущей способности составных балок из различных материалов. Этим можно объяснить больший эффект установки и предварительного натяжения штанг в составных деревянных балках, чем в балках, изготовленных из эквивалентных материалов и вообще из материалов с малым сопротивлением растяжению, в том числе и горных пород. Эти выводы подтверждаются данными опытов по излому балок из эквивалентных материалов различной прочности.

Мощность скрепляемых штангами слоев оказывает значительное влияние на величину площади сжимающего действия штанг и концентрацию максимальных скалывающих напряжений. На рис. 8, *а* представлена модель слоистой балки, состоящей из семи слоев высотой 5—7 *мм*, скрепленных штангами, и двух слоев высотой по 10 *мм*, не скрепленных штангами. Вследствие малой мощности слоев, скрепленных штангами, полную их обработку производить затруднительно и нет необходимости, так как можно проследить влияние натяжения штанг на величину охва-

тываемой ими сферы влияния (площади контакта между слоями) непосредственно по фотографиям, основываясь на опыте расшифровки предыдущей серии экспериментов. На рис. 8 показано скрепление штангами с последовательно возрастающим натяжением нижних слоев балки от 14,4 (см. рис. 8, *а*) до 57,6 *кГ* (см. рис. 8, *б*). Область влияния штанг в нижнем и верхнем слоях, как и в предыдущих опытах, с увеличением натяжения штанг остается практически неизменной. Но, если в предыдущей серии опытов при мощности слоев балок 10 *мм* (см. рис. 5) рас-

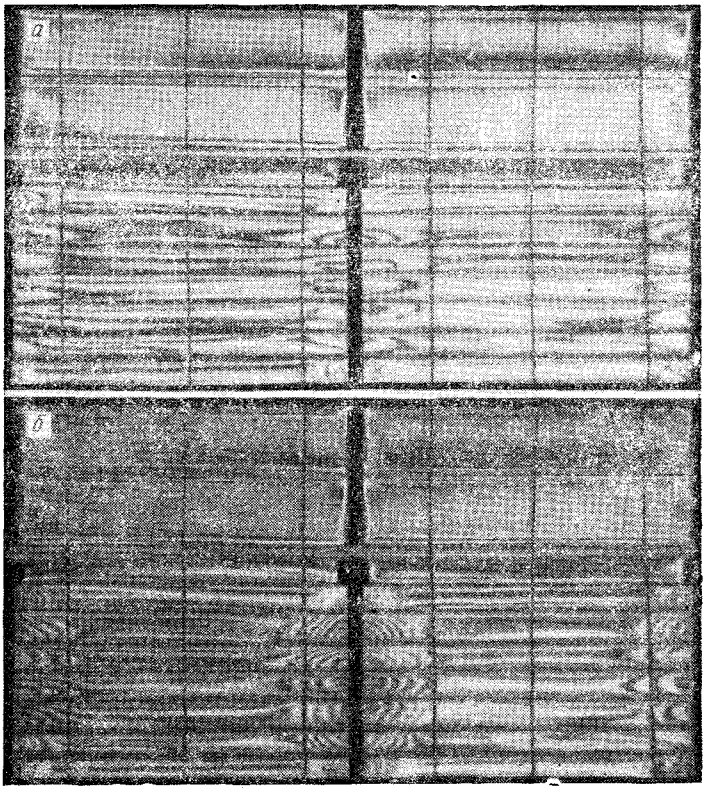


Рис. 8. Картина полос многослойной балки при натяжении штанг:
а — 14,4 *кГ*; *б* — 57,6 *кГ*

стояние между зонами, в которых сказывается влияние натяжения штанг по контакту между нижним и следующим за ним слоями, принять за единицу, то при мощности слоев 5—7 *мм* это расстояние составит 1,5—1,6 при одинаковом натяжении штанг, а концентрация скалывающих максимальных напряжений и величина давлений по контакту между слоями окажутся значительно большими, так как одинаковые усилия действуют на значительно меньшей площади.

Основной вывод из этих серий опытов применительно к горным породам состоит в том, что чем больше мощность нижних слоев кровли, тем больше площадь по контакту между нижним и следующим за ним слоем, по которой действуют вертикальные давления, вызываемые сжимающим действием штанг и препятствующие прогибу лежащих выше слоев под влиянием собственного веса и горного давления. При малой

же мощности слоев увеличение натяжения штанг вызывает значительную концентрацию напряжений на малой площади, что в определенных условиях может оказаться вредным.

В следующей серии опытов было прослежено влияние предварительного натяжения штанг на несущую способность кровли. Фотография полос слоистой балки, погруженной равномерно распределенной нагрузкой и не скрепленной штангами, приведена на рис. 9, *а*, скрепленной штангами на рис. 9, *б* и *в*. В процессе опыта штангам сообщалось натяжение при снятой нагрузке, балка нагружалась после натяжения штанг.

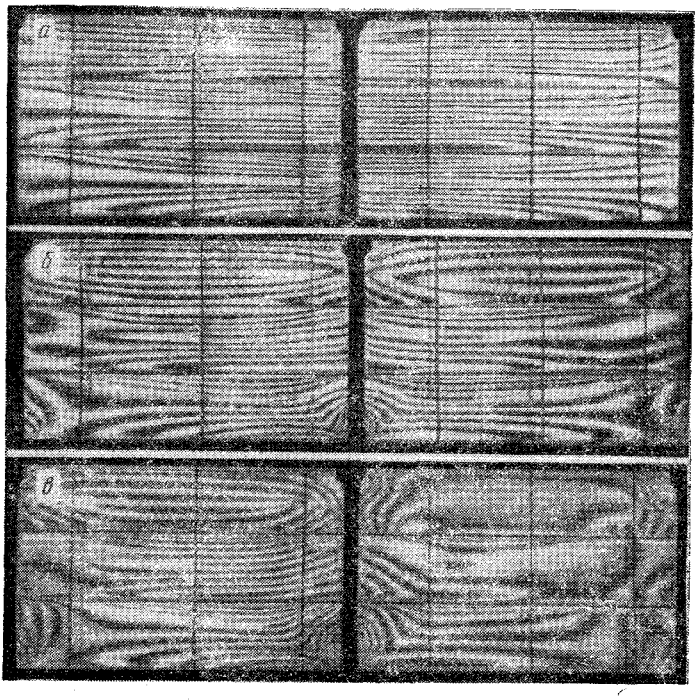


Рис. 9. Картина полос трехслойной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, при натяжении штанг;
а — 0 *кГ*; *б* — 28,8 *кГ*; *в* — 57,6 *кГ*

Поскольку картина изоклин для слоистой балки, скрепленной штангами различного натяжения, оставалась одинаковой, изменения, вносимые различным натяжением штанг, могут быть выражены картиной полос в нижнем слое балки. Нейтральная линия находится примерно посередине высоты балки (см. рис. 9, *а*), число полос положительных и отрицательных одинаково и составляет 5,5—6. Натяжение штанг до 14,4 *кГ* вызывает некоторое незначительное уменьшение порядка полос и смещение нейтральной линии кверху. Дальнейшее увеличение натяжения способствует уменьшению числа полос в зонах растяжения и сжатия и перемещению вверх нейтральной оси. Отношение числа полос в растянутой зоне балки, испытываемой без штанг и со штангами с натяжением 57,6 *кГ*, равно $\frac{5{,}5}{4{,}5} = 1{,}22$.

Таким образом, картина полос приводит к заключению, что увеличение предварительного натяжения до значений, при которых наблюдается значительная концентрация напряжений в области влияния

штанг, существенных изменений в общую характеристику напряженного состояния не вносит.

В серии опытов, проведенных для тонкослоистой балки, нагружаемой распределенной нагрузкой (рис. 10), изменения, вносимые установкой и натяжением штанг в скрепленной зоне, фиксировались прослеживанием изменений в слоях, находящихся выше скрепленных слоев. Установка штанг и создание предварительного натяжения до 57,6 *кГ* уменьшают число полос от четырех при нулевом натяжении штанг

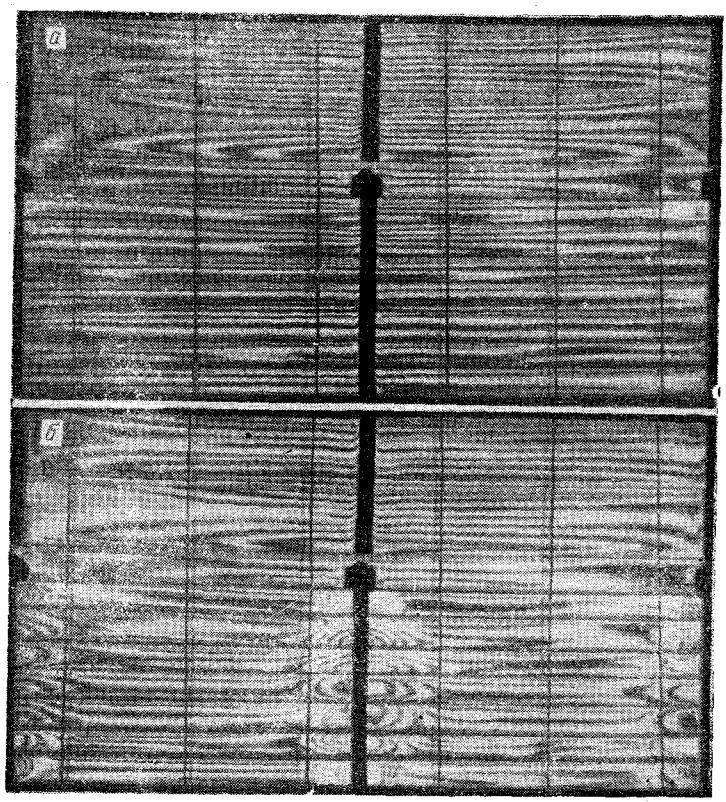


Рис. 10. Картина полос многослойной балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой при натяжении штанг:
а — 0 *кГ*; *б* — 43,2 *кГ*

(см. рис. 10, *а*) до трех (см. рис. 10, *б*). Дальнейшее увеличение натяжения заметно не изменяет общей картины напряжений.

Результаты опытов с моделями из эквивалентных и оптически активных материалов позволяют считать, что возможности увеличения несущей способности слоистой кровли за счет увеличения предварительного натяжения штанг невелики. Более значительное влияние на несущую способность пород кровли над выработкой оказывают число штанг на единицу площади, их длина, пролет выработки. Это подтверждается опытами Л. Панека, который рекомендует при коэффициенте безопасности 2 сгущать сетку размещения штанг или уменьшать ширину закрепленного пролета [9]. Предварительное натяжение штанг способствует, по-видимому, не столько увеличению несущей способности скрепляемых ими

пород, сколько сохранению имеющейся. Если это так, прочность штанг можно рассчитывать, исходя из рабочей нагрузки на штангу, без учета предварительного натяжения, что позволит снизить ее допустимую прочность и расход металла. Кроме того, анализ работы штанг в различных условиях и при различной их длине дает основание полагать, что нередко нет необходимости принимать прочность штанг, исходя из веса породы, скрепленной штангами, так как обычно рабочее состояние штанги остается неизменным в течение всего срока ее работы.

Данные опытов, проведенных оптическим методом, можно использовать при разработке типовых паспортов для различных условий, так как, пользуясь ими, можно наметить для кровли различного строения площади, находящиеся под влиянием и вне влияния сжимающего действия штанг. Установка в таких местах на различной глубине реперов позволяет выявить состояние кровли, величину расслоения различных пластов и внести коррективы в принятые паспорта крепления.

Выводы

1. Несущую способность скрепленной штангами слоистой плиты возможно повысить увеличением предварительного натяжения штанг, но немного. Временное сопротивление изгибу слоистой плиты может быть увеличено за счет скрепления штангами на 20—35%.

2. Несущая способность слоистой плиты изменяется в зависимости от предварительного натяжения штанг примерно одинаково при материалах различной прочности. Чем прочнее материал, тем больше оптимальная величина предварительного натяжения штанг.

3. При наличии связей по контакту между слоями увеличение предварительного натяжения штанг практически не оказывает влияния на несущую способность слоистой плиты даже при малых значениях сил сцепления между слоями.

4. Изгиб и разрушение скрепленных штангами слоев не вызывает заметного изменения предварительного натяжения штанг.

5. Распределение давлений по контакту между скрепляемыми слоями в районе действия штанги определяется мощностью скрепляемых слоев и практически не зависит от величины предварительного натяжения штанг.

6. Давления по контакту между нижним и следующим за ним слоем, вызываемые предварительным натяжением штанги, распределяются на расстоянии, не превышающем 1,35 h (h — мощность нижнего слоя) вокруг скважины.

7. Увеличение предварительного натяжения штанг вызывает появление горизонтальных растягивающих напряжений, максимальные значения которых достигают 0,5 и больше максимальных значений напряжений сжатия.

8. При скреплении штангами слоев малой мощности давления по контакту между слоями достигают больших значений, что при малой площади их распределения может вызывать нарушения сплошности материала слоев, т. е. уменьшение их несущей способности.

9. Увеличение предварительного натяжения штанг до значений, при которых наблюдается значительная концентрация напряжений в области влияния штанг, не вносит существенных изменений в общую картину напряжений, вызываемых равномерно распределенной нагрузкой.

10. Увеличение предварительного натяжения штанг не способно значительно повысить несущую способность скрепляемых штангами пород. Применение штанг с повышенным предварительным натяжением не уменьшает их числа на единицу площади кровли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временная инструкция по применению анкерной крепи в горных выработках. Углетехиздат, 1956.
2. Линденау Н. И., Мельникс в Н. И. Опыт применения анкерной крепи на шахтах Кузбасса. Бюлл. «Научная и техническая информация», Углетехиздат, 1957, № 4.
3. Сребный И. И., Кореневский В. Е. Новые виды шахтной крепи. Справочник, ч. I. Углетехиздат, 1956.
4. Семевский В. Н. Штанговая крепь на рудниках Канады. «Горный журнал», 1957, № 5.
5. Волькенау А. В., Широков А. П. Испытания анкерной крепи в Кузбассе. «Уголь», 1955, № 9.
6. Кузнецов Г. Н. Механические свойства горных пород. Углетехиздат, 1947
7. Барон Л. И. Вторичное дробление и выпуск руды. Металлургиздат, 1950.
8. Humphrey J. L. Mining Engineering, 1956, v. 8, № 5,
9. Panek L. A. Mining Congress J., 1957, v. 43, № 11.