Записки Ленинградского орденов Ленина Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, XLIV вып. 1, 1961 г.

О ЗАКРЕПЛЕНИИ ВЗРЫВОМ ЗАМКОВ ШТАНГ В СЛАБЫХ ПОРОДАХ

Б. И. Емельянов

В последние годы все шире проводятся работы по внедрению штанговой крепи в очистных, капитальных и подготовительных горных выработках на рудниках и шахтах Советского Союза. Штанговая крепь испытывается в различных горногеологических условиях в качестве постоянной, временной и вспомогательной крепи, а также в целях предупреждения пучения пород подошвы выработок.

Шахтные исследования в Советском Союзе [2—5] и за рубежом [6, 8, 9] показали, что штанговая крепь во многих случаях может предотвратить пучение или значительно уменьшить его величину. Эффективность работы штанговой крепи зависит от надежности закрепления замков штанг. Опыт работы кафедры строительства горных предприятий Ленинградского горного института по применению штанговой крепи для борьбы с пучением пород в горных выработках на шахтах Донецкого и Подмосковного бассейнов показал, что обычные замки штанг (в том числе и железобетонных) в глинистых породах и глинах не обеспечивают надежного закрепления. Поэтому была предложена металлическая трубчатая [1] и железобетонная трубчато-болтовая штанговая крепь. Эти виды крепи могут найти применение как на угольных шахтах, так и на некоторых рудниках черной и цветной металлургии.

Трубчатая штанговая крепь

Выбор типа ВВ и веса заряда для образования замков (камуфлетов). Для закрепления трубчатой штанги в боках пробуренной скважины в штангу вводится малый заряд ВВ в специальном деревянном футляре и взрывается огневым или электрическим способом. В результате взрыва труба в замковой части расширяется и закрепляется (рис. 1, *а*).

С целью выбора типа ВВ и веса заряда для образования необходимого уширения штанги были проведены лабораторные опыты. Испытания проводились с зарядами аммонитов № 7 и 6 и динамона (90% аммиачной селитры, 10% угольной пыли). Исследованиями установлено следующее: 1) величина раздутия при удачно подобранных зарядах превышает наружный диаметр в 2—3 раза, что вполне достаточно для надежного закрепления штанг; 2) наиболее равномерное раздутие труб без

поперечных разрывов наблюдалось при применении динамона, имеющего меньшую бризантность; 3) при аммонитах № 7 и 6, кроме продольных, часто имели место поперечные разрывы труб, что недопустимо.

Так как динамон на шахтах и рудниках отсутствует, для успешного применения трубчатых штанг необходимо было выбрать величину и форму зарядов из ВВ, имеющихся на шахтах и рудниках, или разработать составы на их основе путем введения инертных добавок, снижающих бризантность. С этой целью была проведена серия лабораторных испытаний в условиях, близких шахтным (табл. 1). В матрице из

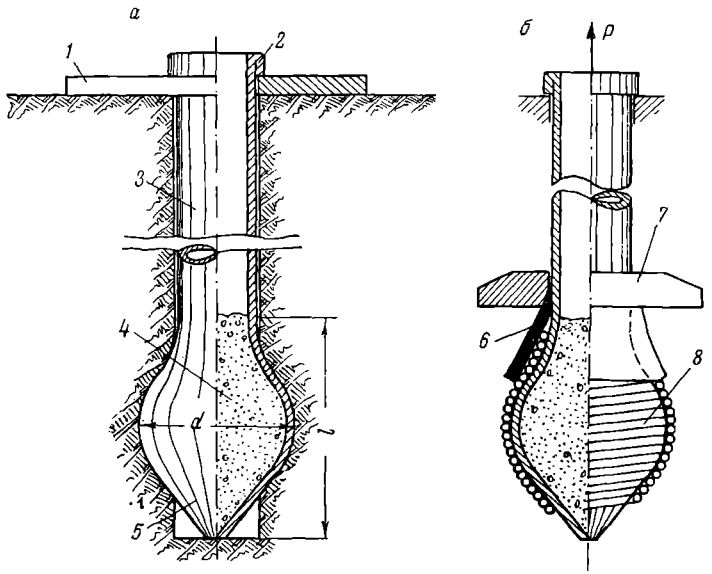


Рис. 1. Трубчатая штанговая крепь:

а — схема закрепления в скважине; *б* — схема испытания при определении характеристик замков; *1* — опорная плитка; *2* — фланцевое утолщение; *3* — штанга; *4* — камуфлет с заполнением или без него; *5* — конус; *6* — резиновая прокладка; *7* — стальное кольцо; *8* — матерчато-картонная и проволочная обертка

толстолистовой стали (рис. 2) стянутой четырьмя хомутами, плотно утрамбовывалась влажная кембрийская глина и выдерживалась в течение полумесяца. После этого в глину погружались трубы — штанги на глубину 0,5—0,6 *м*, в них опускались заряды ВВ и взрывались. Для удобства извлечения на штанги надевались опорные плитки. В качестве штанг были приняты отрезки газовых труб диаметром 25—40 *мм* с фланцевым утолщением на верхнем конце и нижним концом, заделанным на конус. Заряды принимались из динамона указанного выше состава и аммонита № 6 и 7 и помещались в деревянные футляры. Заряды имели диаметр 18 *мм* для труб диаметром 25 и 35 *мм* и 24 *мм* — для труб 40 *мм*. Заряды, опущенные в трубу, перед взрыванием присыпались песком. После каждого взрыва и извлечения штанги в образовавшуюся полость набивалась глина и затем погружалась следующая штанга, т. е. в итоге каждого взрыва глина в матрице становилась все плотнее и плотнее. Каждый последующий опыт проводился в среде более плотной, чем предыдущий.

Из анализа данных табл. 1 вытекает следующее.

1. Характер деформаций труб при взрывах зарядов из динамона и аммонитов одинаков. Но для получения раздутия, превышающего на-

чальный диаметр штанги в 2—3 раза, вес заряда из различных ВВ различен.

Таблица 1

Результаты опытных взрывов при выборе величины зарядов ВВ для трубчатой штанговой крепи

Вес заряда, *г*	Поперечный разрыв штанги при взрывании, %	Диаметр раздутия (замка), *мм*	Степень утрамбования глины в матрице	Вес заряда, *г*	Поперечный разрыв штанги при взрывании, %	Диаметр раздутия (замка), *мм*	Степень утрамбования глины в матрице
Динамон				Аммонит № 7			
8		76		4	—	84,5	
10		67*	Плотно	4		68,5	
10	—	98		5		93,5	
12	30	95		5		88	
13	45	102		6		102	Плотно
				7		106	
12	—	122		8		123,5	
12	—	70*	Очень	8		108	
12	—	120	плотно	8	—	112	
13	15	120		9	55	127	
				9	15	113	
Аммонит № 6				9		123	Очень
				9	—	118	плотно
2,5	—	63					
3	—	68,5		10	80	123	
3,5	—	60		10	60	123	
4	—	74,5	Плотно	10	60	134	Плотно
4,5	—	81		10	55	128	
5	—	86		10	55	127	
5,5	—	98		10	45	130	
6	30	88					
				10	30	130	
8	15	107		10	—	131,5	
7	—	108	Очень	11	55	133	Очень
8	—	119	плотно	11	—	129	плотно
9	30	117		12	60	134	

* Влажность динамона в зарядах 2—2,5%

Примечания: 1. Штанги из стальных газовых труб с внутренним диаметром $d_в$=35,75 *мм* и наружным $d_н$=42,25 *мм*.

2. Во всех опытах раздутие штанги происходило с разрывом шва.

2. Оптимальный вес зарядов для штанг из труб диаметром 35 *мм* из динамона составляет 12—13 *г*, из аммонита № 6 и 7 соответственно 8 и 10 *г*.

3. Поперечный разрыв труб при одном и том же весе заряда тем больше, чем меньше плотность окружающей среды, т. е. меньше сопротивляемость действию взрыва (рис. 3).

4. На величину раздутия трубы в большой степени влияет влажность ВВ. Так, при влажности динамона 2—2,5% приращение диаметра трубы в 2—3 раза меньше, чем при зарядах из сухого динамона.

5. Между величиной раздутия (диаметром замка штанги) и весом заряда установлена линейная зависимость (рис. 4) для аммонита № 7 и 6 соответственно

$$d = 8{,}5p + 46{,}5; \quad (1)$$
$$d = 8{,}75p + 42{,}25,$$

где d — диаметр замка, *мм*;
p — вес заряда ВВ, *г*.

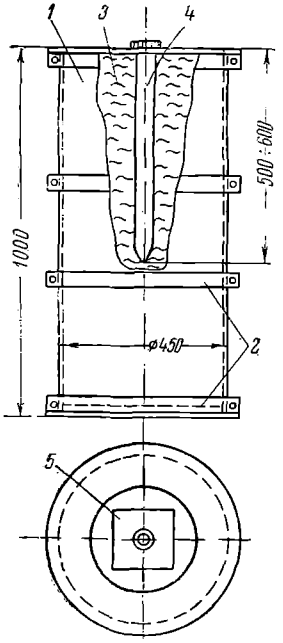


Рис. 2. Матрица для выбора величины заряда, необходимого для закрепления штанг:
1 — матрица; *2* — хомуты; утрамбованная глина: *4* — ба; *5* — опорная плитк

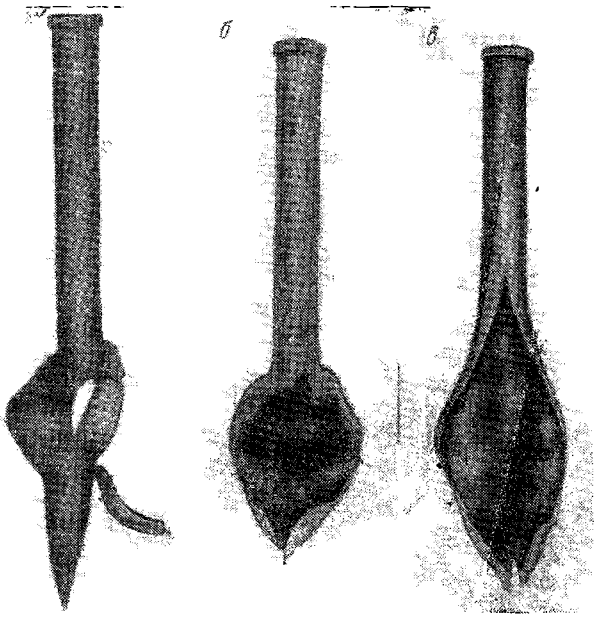


Рис. 3. Характер деформаций труб при различной плотности окружающей среды:
а — менее плотн *б* — плотной; — очень ной

Равенства (1) и (2) справедливы для d от 42—45 до 130—135 *мм*.

Испытания со штангами из труб диаметром 25 и 40 показали, что величины оптимальных зарядов для труб диаметром 25 *мм* составляют из динамона 7 *г*, из аммонита № 6 и 7 соответственно 4—4,5 и 5—6 *г*; а для штанг из труб диаметром 40 *мм* — из динамона 17—18 *г*, из аммонита № 6 и 7 соответственно 11—12 и 14 *г*.

Для проверки лабораторных опытов были проведены шахтные испытания штанг из труб диаметром 35 *мм* (табл. 2). При этом заряды принимались из аммонита № 7 весом по 10 *г*, но разного диаметра. Штанги длиной 0,6—0,7 *м* помещались в скважины различного диаметра, пробуренные в глинистых породах. После взрывания штанги извлекались путем рытья траншеи и осматривались. Как видно из табл. 2, с увеличением диаметра заряда ВВ использование силы взрыва улучшается. Увеличивается диаметр замка d и уменьшается его длина l (см. рис. 1, *а*), что

обеспечивает более надежное закрепление штанг. В связи с этим в дальнейшем заряды ВВ помещались в деревянные футляры с диаметром полости 24 *мм*.

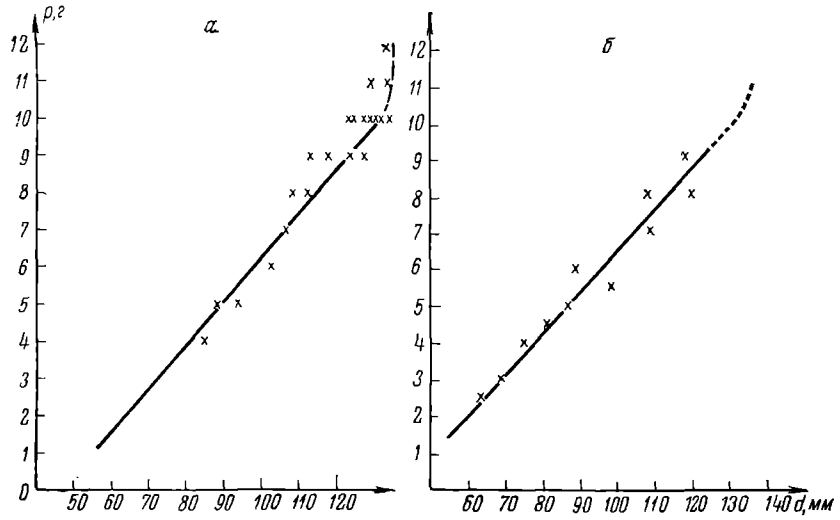


Рис. 4. Зависимость между весом заряда и диаметром замка при применении:
а — аммонита № 7, $d = 8{,}5p + 46{,}5$; *б* — аммонита № 6, $d = 8{,}75\ p + 42{,}25$

Таблица 2

Результаты опытных закреплений взрывом штанговой крепи в шахтных условиях

Диаметр заряда, *мм*	Параметры замка (раздутия), *мм*		Поперечный разрыв штанги при взрывании, %	Число продольных трещин при взрывании	Центр раздутия (замка) от нижнего конца, *мм*	Длина футляра заряда, *мм*
	диаметр	длина				
Диаметр скважины 46 *мм*						
17	101,5	270	15	—		90
19	91	200	75	6		90
21	128	240	80	2	—	90
24	102	270	—	4	—	90
Диаметр скважины 44 *мм*						
17	103,5	220	20			90
19	97	200	55			90
21	97	200	45			90
24	108	210	50		—	90
Диаметр скважины 42—42,5 *мм*						
17	69	300			—	90
17	71	290	—			90
19	87	200	7	—	—	90
19	92	270	—			90
21	74	210	—	—	—	90

Продолжение табл.

Диаметр заряда, *мм*	Параметры замка (раздутия) *мм*		Поперечный разрыв штанги при взрывании, %	Число продольных трещин при взрывании	Центр раздутия (замка) от нижнего конца, *мм*	Длина футляра заряда, *мм*
	диаметр	длина				
21	105	260			—	90
24	104	250	—		120	70
24	120	255			120	70
24	119	250			115	70
24	117	245	—		110	70

Примечание. Штанги из газовых труб с $d_н$=42,25 *мм*. Заряды из аммонита № 7 весом 10 *г*. Во всех опытах раздутие штанги происходило с разрывом шва.

Если между штангой и боками скважины имеется зазор величиной 1—1,5 *мм* и более и нет надлежащего сопротивления действию взрыва, то, кроме раздутия, наблюдаются поперечные трещины. При установке штанг в скважины, диаметр которых близок диаметру штанг, поперечных разрывов не наблюдается и достигается образование замка (раздутия), в 2—3 раза превышающего первоначальный диаметр штанги. Применение аммонита № 7 в качестве ВВ для закрепления трубчатых штанг вполне возможно.

Опыты по определению влияния плотности (крепости) окружающей среды и зазора между штангой и боками скважины на проявление действия взрыва заряда и образование замка в гранитных и мраморных монолитах (табл. 3) показали следующее. При взрывании в мраморных и гранитных монолитах даже при наличии зазора величиной 1—2 *мм* между боками скважины и штангой труба деформируется без поперечных и продольных разрывов стенок, так как расширение трубы ограничено боками скважины (крепкой породой). При этом значительная часть энергии взрыва передается породе через стенки трубы в виде энергии волны напряжений. Благодаря этому бока скважины разрушаются на глубину 1,5—2 *мм*, позволяя штанге раздуваться и закрепляться в скважине. Остальная часть энергии взрыва переходит в массив в виде энергии упругих деформаций [7].

Таблица 3

Результаты опытных закреплений взрывом штанговой крепи в гранитных и мраморных монолитах

Горная порода и ее крепость по Протодьяконову	Диаметр скважины, *мм*	Диаметр раздутия (замка), *мм*
Гранит, 15—16	43—44	47
	43—44	47,5
Мрамор белый, 7—8	44—45	48
	44—45	48

Примечание. Штанги из газовых труб с $d_в$=35,75 *мм* и $d_н$=42,25 *мм*. Заряды из аммонита № 7 весом 10 *г*. Раздутие штанг происходило с разрывом шва.

Оптимальная величина заряда ВВ[1]. При закреплении замка трубчатой штанговой крепи энергия, затрачиваемая на деформации трубы [7],

$$U = \frac{\sigma^2_{разр}}{2E} V_т,$$

а энергия, затрачиваемая на разрушение (сжатие) породы в замковой части скважины

$$U_{сж} = \frac{\sigma^2_{сж.всест}}{2E_п} V_п,$$

где $\sigma_{разр}$ — временное сопротивление металла трубы[2] разрыву, *кг/см²*;
$\sigma_{разр} = \varepsilon E$;
E — модуль упругости металла трубы, *кг/см²*;
ε — относительное удлинение;
$V_т$ — объем металла деформируемой части трубы, *см³*;
$\sigma_{сж. всест}$ — временное сопротивление породы всестороннему сжатию, *кг/см²*; условно можно считать, что $\sigma_{сж. всест} = 10\sigma_{сж. одноосн}$;
$E_п$ — модуль упругости породы, *кг/см²*;
$V_п$ — объем разрушаемой породы в замковой части скважины, *см³* (рис. 5).

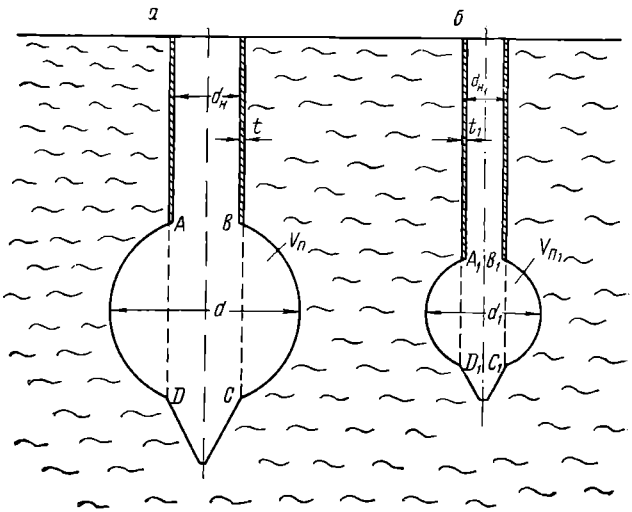


Рис. 5. Схема деформаций при закреплении труб разного диаметра оптимальными зарядами ВВ в одинаковой породе

Примем следующие допущения: 1) процент энергии (от потенциальной энергии заряда), идущей на деформации трубы и разрушение породы при закреплении труб (штанг) разного диаметра оптимальными зарядами *ВВ* в одной породе (рис. 5), в обоих случаях одинаков; 2) разрушение породы происходит в объеме полого шара, диаметр которого равен диаметру замка d.

---

[1] Под оптимальной величиной заряда понимается вес заряда ВВ, обеспечивающий наиболее надежное закрепление трубчатой штанги.

[2] Фактически деформации трубы при взрыве заряда имеют гораздо более сложный характер, чем простой разрыв металла.

Тогда p — пропорционально $U + U_{сж}$ — пропорционально $V_т + V_п$ и p_1 — пропорционально $U_1 + U_{1сж}$ — пропорционально $V_{т_1} + V_{п_1}$ или

$$\frac{p}{p_1} = \frac{V_т + V_п}{V_{т_1} + V_{п_1}},$$

где p — оптимальный вес заряда для трубы с наружным диаметром $d_н$ и толщиной стенки t, определенный опытными взрываниями, *г*;

p_1 — оптимальный вес заряда для трубы с наружным диаметром $d_{н_1}$ и толщиной стенки t_1, *г*;

$$p_1 = \frac{p(V_{т_1} + V_{п_1})}{V_т + V_п} \qquad (3)$$

При взрываниях в глинистых породах получили: диаметр замка $d = (2—3)d_н$; длина деформируемой части трубы $l = (5—8)d_н$.

При этом (рис. 5, *а*)

$$V_п = V_{шара} - V_{цилиндра\ ABCD};$$

$$V_т = 8\pi d_н^2 t.$$

Аналогично определяются $V_{п_1}$ и $V_{т_1}$.

Выразив через $d_н$, t, $d_{н1}$ и t_1 и произведя преобразования, получим

$$p_1 = \frac{p d_{н_1}^2 (d_{н_1} + 4t_1)}{d_н^2 (d_н + 4t)} \qquad (4)$$

Зная оптимальную величину заряда ВВ для одной трубы, по формуле (4) можно определить оптимальную величину заряда для трубы любого размера.

Проведенные автором в шахте в глинистых породах опытные закрепления взрывом штанг из газовых труб с $d_н$ от 26,75 до 60 *мм* и t от 2,75 до 4,5 *мм* оптимальными зарядами из аммонита № 7, определенными по формуле (4), дали положительные результаты. При этом диаметры зарядов для труб диаметром 26,75 и 33,5 *мм* были 18 *мм*, а для труб диаметром 42,25; 48 и 60 *мм* составляли 24 *мм*.

Одинаковыми получились величины оптимальных зарядов ВВ из аммонита № 6 и 7 и динамона, подсчитанные по формуле (4) и полученные опытным путем при взрывании зарядов в трубах диаметром 33,5; 42,25 и 48 *мм*, помещенных в плотно утрамбованную глину в лаборатории. Таким образом, формула (4) вполне пригодна для приближенных подсчетов величин зарядов для закрепления трубчатых штанг

Заполнение камуфлета бетоном и вибропогружение штанг. При закреплении трубчатых штанг взрывом в скважинах камуфлеты труб могут быть заполнены цементно-песчаным раствором или оставлены без заполнения. Для определения рабочих характеристик замки (камуфлеты) трубчатой штанговой крепи протягивали через металлические кольца (см. рис. 1, *б*) диаметром 43—44 *мм* (для труб с наружным диаметром 42,25 *мм*). Для более равномерной передачи усилий с кольца на замок между ними помещалась резиновая прокладка. Протягивались камуфлеты как без заполнения, так и с заполнением цементно-песчаным раствором состава 1 2. Чтобы приблизить условия работы камуфлетов с заполнением раствором к шахтным, перед протягиванием замковая

часть обертывалась матерчато-картонной оболочкой и затем плотными витками проволоки (диаметром 3 *мм*) Это не позволяло бетону при протягивании свободно скалываться в открытую сторону (раскрытие по шву) камуфлета. Как видно из рис. 6, *а*, камуфлеты с заполнением обеспечивают более надежное закрепление.

Указанное подтверждается опытами в шахтах Подмосковного бассейна в плотных серо-синих глинах. Штанги с $d_н = 42{,}25$ *мм* и $d_в = 35{,}75$ *мм*

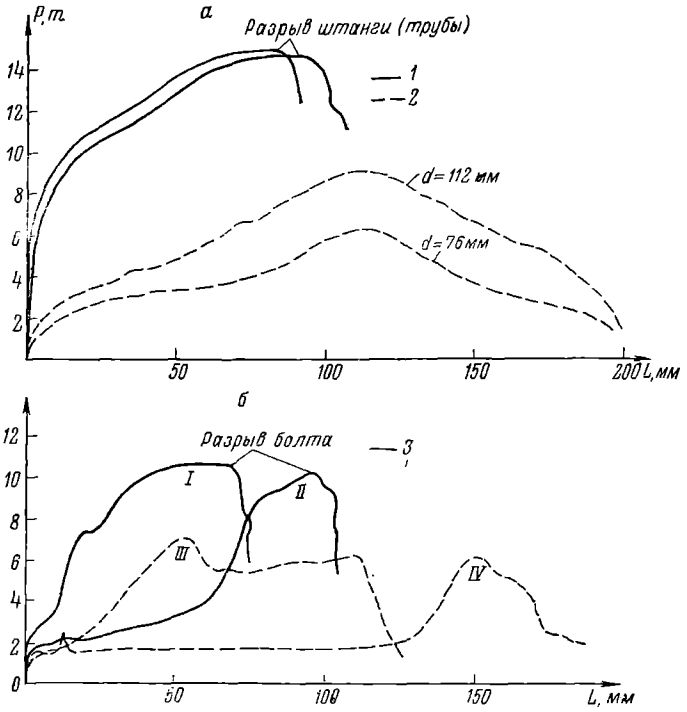


Рис. 6. Характеристики замков трубчатой штанговой крепи (*а*) и закреплений болтов бетоном в камуфлетах труб (*б*):
1 — камуфлеты с заполнением; *2* — камуфлеты без заполнения; *3* — болты с цилиндрическим утолщением; *4* — болты с загнутым концом

испытывались на вытягивание. Штанги закреплялись в скважинах зарядами аммонита № 7 весом 10 *г*. В результате получены следующие значения несущей способности штанг (усилие на вытягивание), T:

Без заполнения камуфлета	4,2 4,5 4,0	при диаметре скважины 42—43 *мм*
С заполнением камуфлета цементно-песчаным раствором состава 1 : 2	5,5 6,0 6,0	
	7,3 6,5 7,0	— при диаметре скважины 37—38 *мм*; штанги вводили в скважины вибропогружением

Вибропогружение трубчатых штанг в скважины меньшего диаметра обеспечивает более прочное закрепление, так как порода вокруг штанг при этом уплотняется, а следовательно, и упрочняется.

Железобетонная трубчато-болтовая штанговая крепь

Железобетонная трубчато-болтовая штанговая крепь предложена для борьбы с пучением глин и глинистых пород в выработках при отсутствии труб в количествах, необходимых для борьбы с пучением с помощью трубчатой штанговой крепи. Предложенная штанговая крепь использует основное преимущество трубчатой штанговой крепи — надежное закрепление замка взрывом в слабых породах — и может применяться для укрепления слабых пород как подошвы, так и боков выработок. Трубчато-болтовая штанговая крепь (рис. 7, *а*) состоит из отрезка трубы *1* диаметром 25—40 *мм* и длиной 0,4—0,5 *м*, металлического или пластмассового болта *2* с утолщением в нижней части и таким же утолщением или резьбой с гайкой в верхней части для удержания металлической опорной плитки *3*.

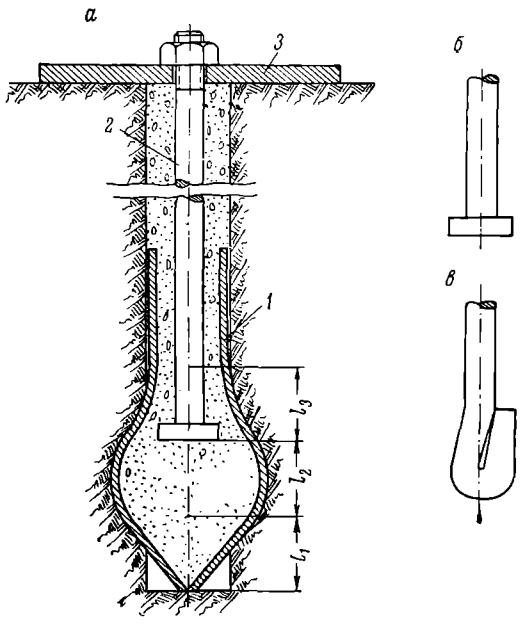


Рис. 7. Железобетонная трубчато-болтовая штанговая крепь:
а — схема закрепления в скважине; *б* — болт с цилиндрическим утолщением; *в* — болт с загнутым концом; *1* — труба; *2* — болт; *3* — опорная плитка

В пробуренную скважину при помощи установочной трубки вводится отрезок трубы, в который опускается малый заряд ВВ в деревянном футляре и взрывается. При этом труба в замковой части расширяется и закрепляется в боках скважины. В закрепленную трубу заливается цементно-песчаный раствор и вводится болт.

Трубчато-болтовая штанговая крепь достигает полной несущей способности после твердения бетона, что при использовании быстротвердеющих цементов или добавлении ускорителей схватывания обеспечивается через 1—3 суток. Несущая способность этой крепи определяется надежностью закрепления трубы в скважине и болта в камуфлете трубы.

Крепь была испытана в лабораторных, а затем шахтных условиях и оправдала свое назначение. Лабораторными опытами определялись, во-первых, надежность закрепления болта бетоном в камуфлете трубы и, во-вторых, форма и размеры утолщения болта и место его расположения в камуфлете, обеспечивающие лучшее закрепление. Болты с цилиндрическим утолщением и загнутым концом (рис. 7, *б, в*) бетонировались в камуфлетах труб (рис. 7, *а*) с расположением утолщения в нижней l_1, средней l_2 и верхней l_3 трети камуфлета. Цементно-песчаный раствор

---

[1] Железобетонная трубчато-болтовая штанговая крепь предложена автором статьи совместно с Г. К. Деметриадесом. Лабораторные и шахтные испытания проведены автором.

принимали состава 1 2 (по объему) на портланд-цементе марки 300. Испытания производили через 7 суток после бетонирования. Образцы штанг с замковой частью, обернутой матерчато-картонной оболочкой и проволокой, предотвращающими скол бетона в открытую сторону камуфлета, протягивались через металлическое кольцо с резиновой прокладкой (аналогично изображенному на рис. 1, *б*).

Как видно из рис. 6, *б*, при протягивании более жесткие рабочие характеристики получаются при расположении утолщения в верхней трети камуфлета (*I, III*) Следовательно, длину болта следует принимать на 18—22 *см* короче глубины скважины. Более надежное закрепление болта в камуфлете трубы получается при цилиндрической форме утолщения (*I, II*) и разнице между внутренним диаметром трубы и диаметром утолщения в 2—3 *мм*. Надежность закрепления болта в камуфлете трубы можно повысить высокомарочными растворами.

Шахтные испытания в Подмосковном бассейне показали, что несущая способность железобетонных трубчато-болтовых штанг достигает в соответствующих условиях несущей способности трубчатых и составляет 4—7,5 *т*.

Выводы

1. Для закрепления металлических трубчатых штанг могут быть использованы ВВ, имеющиеся на шахтах, но для получения раздутия, превышающего начальный диаметр штанги в 2—3 раза, вес заряда из различных ВВ различен. Заряды следует принимать из сухих ВВ и гидроизолировать.

2. С увеличением диаметра заряда ВВ (при постоянном весе) использование энергии взрыва улучшается; увеличивается диаметр замка и уменьшается его длина, что обеспечивает более надежное закрепление штанг. Во избежание поперечных разрывов штанг при закреплении взрывом скважины для их установки необходимо бурить диаметром, близким к наружному диаметру штанг.

3. Оптимальные величины зарядов для закрепления трубчатых штанг могут быть приближенно подсчитаны по формуле (4).

4. Для повышения надежности закрепления трубчатых штанг камуфлеты их необходимо заполнять цементно-песчаным раствором. Надежность закрепления может быть повышена вибропогружением трубчатых штанг в скважины меньшего диаметра, а после разработки соответствующих вибраторов — вибропогружением без предварительного бурения скважин.

5. Болты для железобетонной трубчато-болтовой штанговой крепи следует применять с цилиндрической формой утолщения при диаметре утолщения, на 2—3 *мм* меньшем внутреннего диаметра трубы. Болты с загнутым концом возможно применять только при высокомарочных растворах для закрепления болтов в камуфлетах труб. Утолщения болтов следует располагать в верхней трети камуфлета.

6. Металлическая трубчатая и железобетонная трубчато-болтовая штанговая крепь обеспечивает закрепление в глинистых породах и глинах (несущая способность при испытании на вытягивание до 6—7,5 *т*) и может быть надежным средством предотвращения пучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов Б. И., Деметриадес Г. К., Тимофеев О. В. Трубчатая штанговая крепь с образованием замка взрывом. Зап. ЛГИ, 1960, т. XLII, вып. 1.
2. Пяткин А. М. Штанговая крепь как средство борьбы с пучением пород подошвы горных выработок. Промышленно-экономич. бюлл. Луганский совнархоз, 1958, № 9.
3. Полуэктов В. М., Посаженникова Н. А. Опытное применение анкерной крепи для борьбы с пучением почвы в подготовительных выработках. Научная и технич. информация. ЦИТИ угля, 1959, № 10.
4. Шишов Л. Е., Липкинд Р. И. Промышленные испытания анкерной крепи в условиях Донецкого бассейна. Сб. «Анкерная крепь в подготовительных выработках». ЦИТИ угля, 1959.
5. Маевский Г. А., Митасов Е. Т., Серпокрыл И. С. Крепление пучащих почв железобетонными анкерами. «Уголь Украины», 1959, № 12.
6. Горин А. И. Борьба с поддуванием подошвы горных выработок. «Шахтное строительство», 1957, № 9.
7. Ханукаев А. Н. Приближенный расчет затрат энергии волны напряжений на разрушение, перемещение и деформации твердых горных пород. Изв. высших учебных заведений. «Горный журнал», 1960, № 2.
8. Middendorf H., janssen K. Glückauf, 1953, H. 33/34.
9. Roof-Bolting. Colliery Guardian, 1957, N 5014.