Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVII, вып. 1, 1969 г.

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГЛУБИННЫХ ЗАМКОВ ДЕРЕВЯННЫХ ШТАНГ

М. М. Мордухович, О. В. Тимофеев

Деревянные штанги, имеющие обычно клино-щелевую конструкцию и обладающие малым весом, невысокой стоимостью, простотой изготовления, недефицитностью материала, — применяются пока редко. Причинами этого являются низкая несущая способность глубинного замка таких штанг, не превышающая 1—1,5 *m* [1, 2], недолговечность и малое сопротивление срезывающим усилиям. Основной причиной низкой несущей способности замка является принятие без достаточного обоснования диаметров стержней штанг $d_{шг}$ и скважин $d_{скв}$, длины щели в стержне $l_{щ}$ и клина $l_{к}$, толщины t и ширины b клина. Ряд исследователей приводят существенно различные рекомендации по размерам элементов замков, *мм*:

	$d_{скв}$	$d_{шт}$	$l_{щ}$	$l_{к}$	t	b
К. В. Кошелев [3]	40—45	35	300	280	20	—
Н. И. Селезнев и С. Н. Жарков [4]	40	35	200	180	22	30
Опытные работы на руднике Дей в США [5]	—	50,8	460	460	25,4	47,6

Анализ работы замков штанг и эксперименты показали, что „усы" деревянной штанги при расклинивании глубинного замка в скважине, как правило, не способны внедриться в ее бока даже при слабой породе (уголь). Поэтому несущая способность замка зависит, в основном, от сил трения, вызванных распором, и может быть в общем виде определена по предложенной О. В. Тимофеевым [6] формуле

$$P = \sigma_n S f_{дп}, \qquad (1)$$

где σ_n — нормальные напряжения на контактной поверхности, величина которых зависит от сопротивления древесины смятию поперек волокон, *кг/см*^{2}; S — общая расчетная площадь контакта замка штанги с поверхностью скважины, *см*^{2}; $f_{дп}$ — коэффициент трения древесины по породе, определяемый с учетом степени увлажненности поверхности контакта (ориентировочно $f_{дп}$ равен 0,4—0,6 при сухом трении и 0,2—0,3 при мокром).

При вдавливании цилиндрического штампа в цилиндрическую поверхность нормальные напряжения на поверхности контакта, согласно решению соответствующей задачи теории упругости [7], распреде-

ляются по схеме, представленной на рис. 1,*а*. Средняя величина нормальных напряжений при расчете замков деревянных штанг может быть с достаточным для инженерных расчетов приближением принята равной напряжениям при смятии образца прямоугольного сечения той же ширины *а* силой *N* (рис. 1,*б*).

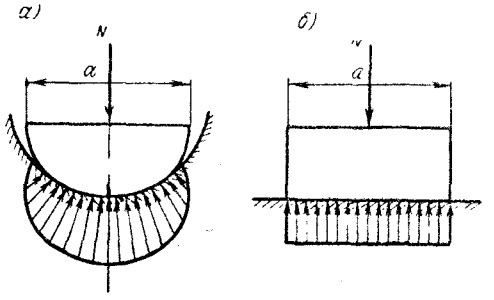


Рис. 1. Распределение нормальных напряжений на поверхности контакта:

а) при вдавливании цилиндрического штампа в цилиндрическую поверхность; *б*) при смятии образца прямоугольного сечения.

Сопротивление древесины смятию поперек волокон зависит, как известно, от величины деформации. При расклинивании в скважине замка штанги ее „усы" подвергаются местному смятию поперек волокон. Величина последнего зависит от соотношения диаметров штанги и скважины, размеров и конфигурации клина и степени надвига штанги на клин при ее установке. Для определения зависимости сопротивления смятию древесины от величины деформации авторами проведена серия лабораторных испытаний образцов сосны на местное смятие поперек волокон в соответствии с ГОСТ 6336—52. Было испытано 18 образцов (размеры 20×20×60 *мм*) в тангенциальном и радиальном направлениях (по 9 образцов) на прессе Гагарина с самописцем, регистрировавшим на миллиметровке график изменения деформаций образца в зависимости от величины приложенной нагрузки. Определенные по графикам напряжения смятия пересчитывались на влажность 15%, для чего сразу после испытаний устанавливалась фактическая влажность образцов.

Предел прочности на местное смятие, определявшийся по усилию, при котором кривая на графике начинала существенно отклоняться от первоначального направления, составлял 40—50 *кг/см²* как в тангенциальном, так и в радиальном направлениях.

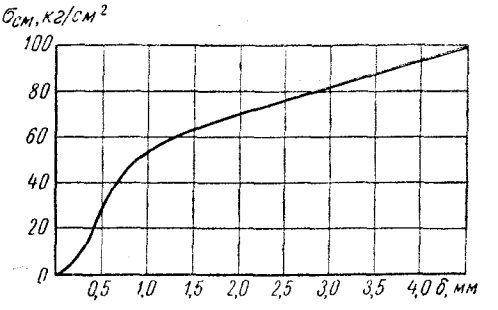


Рис. 2. Зависимость напряжения смятия $\sigma_{см}$ от величины деформации образца δ.

Зависимость, полученную по результатам испытаний (рис. 2) с достаточным для инженерных целей приближением, можно использовать при расчетах замков деревянных штанг по формуле (1), принимая δ равным величине смятия „уса" штанги, а напряжения распора

$$\sigma_n = \xi \sigma_{см}, \qquad (2)$$

где ξ—коэффициент уменьшения сопротивления древесины смятию вследствие повышенной влажности и длительного приложения нагрузки, $\xi \approx 0{,}6-0{,}7$.

Максимальная величина смятия „уса" штанги в результате расклинивания замка в скважине (рис. 3) может быть определена по формуле

$$\delta_{max}=0{,}5(d_{шт}-n+t_1-d_{скв}), \tag{3}$$

где n—ширина щели в штанге, *мм*; t_1—расчетная толщина клина у торца штанги, *мм*.

При простом профиле клина (рис. 3,*а*)

$$t_1=2l_k'\operatorname{tg}\alpha+t_0, \tag{4}$$

при сложном (рис. 3,*б*)

$$t_1=t=2l_\alpha\operatorname{tg}\alpha+t_0, \tag{5}$$

где l_α—длина приостренной части клина, *мм*; l_k'—величина надвига штанги на клин, *мм*; α—половина угла приострения клина; t_0—толщина заостренного конца клина, *мм*.

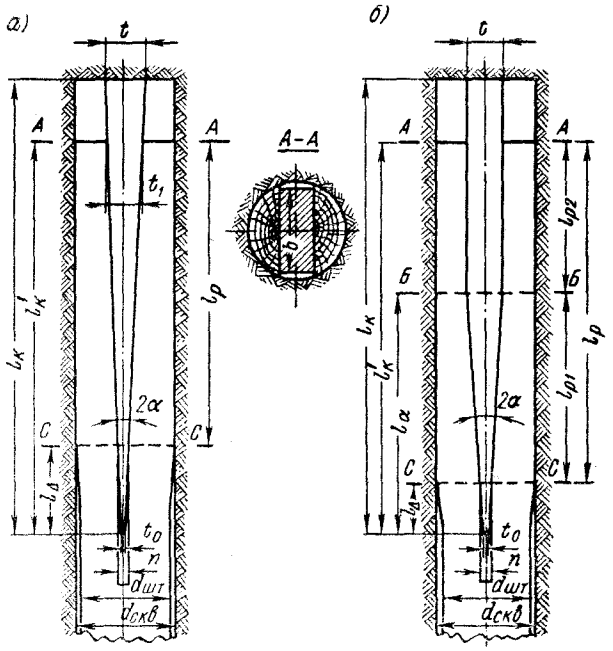


Рис. 3. Схемы к определению несущей способности глубинных замков деревянных штанг при клине *а* простого и *б* сложного профилей.

В сечении $C-C$ $\delta=0$. Поэтому на участках между сечениями $A-A$ и $C-C$ при простом профиле клина и между сечениями $Б-Б$ и $C-C$ при сложном средняя величина смятия „усов" штанги составит

$$\delta_{ср}=\frac{\delta_{max}}{2}. \tag{6}$$

На участке между сечениями $A-A$ и $Б-Б$ при сложном профиле клина $\delta=\delta_{max}$. Расчетная длина поверхности контакта „уса" штанги с породой составит при простом профиле клина (рис. 3,*а*)

$$l_p=l_k'-l_\Delta=l_k'-\frac{d_{скв}-d_{шт}+n-t_0}{2\operatorname{tg}\alpha}, \tag{7}$$

при сложном (рис. 3,*б*)

$$l_p = l_k' - l_\Delta = l_{p_1} + l_{p_2}; \tag{8}$$

где

$$l_{p_1} = l_\alpha - \frac{d_{скв} - d_{шт} + n - t_0}{2\operatorname{tg}\alpha}, \tag{9}$$

$$l_{p_2} = l_k' - l_\alpha. \tag{10}$$

Общая расчетная площадь контакта замка штанги с поверхностью скважины с достаточным для практических целей приближением может быть определена по формуле

$$S = 2d_{шт} l_p. \tag{11}$$

Несущая способность замка штанги в соответствии с вышеизложенным может быть выражена при клине простого профиля (рис. 3*а*) как

$$P = 2d_{шт} l_p \sigma_{см} f_{дп} K, \tag{12}$$

при клине сложного профиля (рис. 3,*б*)

$$P = 2d_{шт} (\sigma'_{см} l_{p_1} + \sigma''_{см} l_{p_2}) f_{дп} K, \tag{13}$$

где K—коэффициент запаса, $K = 0{,}7-0{,}8$.

В первом случае величина $\sigma_{см}$ определяется по графику рис. 2 при среднем значении деформации „уса" штанги (формулы (6) и (3)), а величина l_p—по формуле (7). При замке с клином сложного профиля величина $\sigma'_{см}$ также определяется по среднему значению деформации (формула (6)), а величина $\sigma''_{см}$—по максимальному значению деформации (формула (3)). Величины l_{p_1} и l_{p_2} вычисляются соответственно по формулам (9) и (10).

Настоящая методика составлена при условии, что клин практически не сминается, т. е. изготовлен из более прочного чем сосна материала (дуб, береза, прессованная древесина).

Расчет по предложенной методике при использовании зависимости между деформацией и напряжением смятия (рис. 2) справедлив только для сосновых штанг. При изготовлении штанг из других пород древесины следует пользоваться аналогичной зависимостью для применяемого вида древесины.

Анализ формул (12) и (13) свидетельствует о том, что несущая способность замка деревянной штанги зависит в наибольшей мере от площади его контакта с породой и от сопротивления древесины смятию поперек волокон, а следовательно, и от величины смятия.

Площадь контакта, при прочих равных условиях, определяется длиной клина и величиной надвига штанги на него l_k'. Для эффективной работы замка следует обеспечивать $l_k' \geqslant 0{,}8 l_k$.

Сопротивление смятию зависит от породы древесины, толщины и формы клина и величины надвига на него штанги, способ закрепления которой должен обеспечить указанное выше значение l_k'.

Для проверки изложенной методики расчета замков деревянных штанг, выбора рациональных размеров элементов замка и эффективного способа его закрепления были проведены экспериментальные исследования в лабораторных и шахтных условиях.

На первом этапе испытаний закрепление глубинных замков деревянных штанг производилось обычным способом—забивкой кувалдой. Штанги длиной 180 *см* и диаметром 5 *см* устанавливались в скважинах, пробуренных в кровле и боках выемочных печей, пройденных

по мощному пологому пласту угля (f=0,8—1) на шахте „Томусинская 1—2" (Кузбасс). Клинья из березы длиной 40 и 45 *см*, шириной 4,5—4,7 *см* и толщиной у широкого основания 1,5 и 2,0 *см* применялись простого и сложного профиля. В последнем случае длина приостренной части клина принималась 20 и 25 *см*. Перед установкой штанг замерялся фактический диаметр скважины прибором ППВС [8]. При каждом испытании определялась величина надвига штанги на клин.

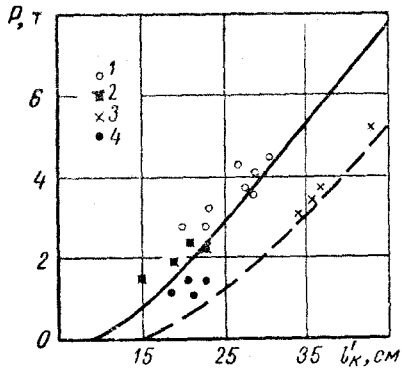


Рис. 4. Зависимость несущей способности замка P от величины надвига штанги на клин l_k' (при l_k=45 *см*). Расчетные кривые при клине сложного (сплошная) и простого (пунктирная) профилей:

1—экспериментальные точки при клине сложного профиля для штанг, установленных задавливанием; *2*—то же забивкой; *3*—экспериментальные точки при клине простого профиля и задавливании; *4*—то же при забивке.

Результаты указанных испытаний оказались достаточно близкими к соответствующим расчетным значениям несущей способности глубинных замков, определенным по формулам (12) и (13). На рис. 4 точками обозначены экспериментальные значения несущей способности глубинных замков при различной величине надвига штанги на клин. Там же приведены расчетные кривые, определенные при тех же параметрах замка ($d_{скв}$=5,45 *см*; $d_{шт}$=5 *см*; t=2 *см*; n=0,3 *см*; t_0=0,2 *см*; l_k=45 *см*; l_a=25 *см*—при клине сложного профиля).

При закреплении деревянных штанг забивкой кувалдой несущая способность глубинных замков не превышала 1,5—1,7 *т*, что соответствует результатам, полученным другими исследователями.

Опыты показали, что величина надвига штанги на клин при забивке кувалдой не превышала 22—23 *см*, т. е. была вдвое меньше возможной при указанных выше размерах клина. Этим обусловлена и низкая несущая способность замка. Очевидно, что ручная забивка штанг, особенно в кровле, не обеспечивает надлежащее расклинивание замка. Бо́льшую величину надвига штанги на клин, а следовательно, бо́льшую несущую способность замка можно обеспечить лишь механической забивкой или задавливанием деревянных штанг.

Для оценки эффективности метода задавливания и проверки предлагаемой расчетной методики при $\frac{l_k'}{l_k} > 0{,}5$ были проведены лабораторные испытания на вытягивание деревянных штанг, закрепленных в скважинах задавливанием. Испытания проводились в специальных разъемных матрицах, заполненных углебетоном состава У:Ц=3:1. Через 3—5 суток в матрице бурилась скважина и устанавливалась деревянная штанга. Размеры штанг, скважин и клиньев, а также материал штанг и клиньев были такими же, как и в описанных выше шахтных испытаниях. Заполненная углебетоном матрица с деревянной штангой устанавливалась на нижней плите 50-тонного испытательного пресса, при подъеме которой осуществлялось задавливание штанги в скважину.

Лабораторные испытания глубинного замка деревянных штанг дали результаты близкие к расчетным и подтвердили приемлемость

приведенной методики расчета при величине надвига штанги на клин в пределах 0,7—0,9 длины клина.

Эти испытания показали, что задавливанием можно значительно повысить величину надвига штанги на клин (до $l_k' = l_k$) и тем самым резко увеличить несущую способность глубинного замка деревянных штанг. При указанных выше размерах элементов замка, диаметре скважины и $l_k' = 43$ *см* (клин простого профиля, $l_k = 45$ *см*) несущая способность глубинного замка составила 5,2 *т*, при $l_k' > 25$ *см* усилие вытягивания штанг во всех испытаниях превышало 3,0 *т*.

Установка деревянных штанг задавливанием позволяет в 3—4 раза увеличить несущую способность глубинного замка по сравнению с забивкой вручную и, следовательно, может значительно расширить область применения деревянных штанг.

Указанный способ снижает трудоемкость установки деревянных штанг и позволяет получать стабильную величину несущей способности глубинных замков.

При выборе оборудования для задавливания деревянных штанг необходимо обеспечивать усилие задавливания на 2—2,5 *т* больше величины требующейся несущей способности глубинного замка, так как, кроме сил трения, возникающих при распоре „усов" штанги, задавливанию будут оказывать сопротивление неровности боков скважины.

В ряде испытаний происходил разрыв штанг диаметром 5 *см* при усилии вытягивания 3,0—3,5 *т* и небольшом смещении глубинного замка (20—25 *мм*), т. е. в этих случаях несущая способность замка, закрепленного методом задавливания, превышала прочность стержня на разрыв.

Расчет и опытные данные показали, что при клине сложного профиля несущая способность глубинного замка на 20—50% выше, чем при клине простого профиля той же длины и толщины у широкого основания.

На основании проведенных исследований можно рекомендовать для применения клинья сложного профиля длиной 40—45 *см* и толщиной у широкого основания 2 *см*. Предлагаемая методика расчета несущей способности глубинных замков деревянных штанг может быть рекомендована для практического использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллик А. М. Штанговая крепь на сланцевых шахтах. Недра, 1964.
2. Бескаравайный В. Г. Опытное применение деревянной контролируемой штанговой крепи. Горн. ж., № 6, 1962.
3. Кошелев К. В. Самостоятельное применение деревянной штанговой крепи. Горн. ж., № 6, 1960.
4. Селезнев Н. И., Жарков С. Н. Проявления горного давления при камерной системе разработки на шахтах комбината „Сланцы" Ленинградского совнархоза. Тр. ВНИМИ, сб. X, 1961.
5. Рафиенко Д. И. Применение деревянных болтов для крепления горных выработок. Техн. информационный листок № 211 гл. упр-ия строительства Дальнего Севера. Магадан, 1955.
6. Семевский В. Н. и др. Штанговая крепь. Недра, 1965.
7. Штаерман И. Я. Контактная задача теории упругости. Гостехиздат, 1949.
8. Тимофеев О. В., Мордухович М. М. Испытания угля в массиве на прочность при вдавливании. Изв. ВУЗов. Горн. ж. № 6, 1967.