

СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН  
**METHOD OF DIVISION VARIABLE IN DYNAMIC CALCULATION  
OF MINING MACHINES ELEMENTS**

**V. Vorobyov, I. Kyba**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

It is given a scheme of separation of variables in the one-dimensional wave equation to obtain an accurate solution of the problem of transverse vibrations of a conveyor belt, belting, hoses and pipes with flowing liquid, band saws, ropes, lifting devices.

**Key words:** boundary conditions, initial conditions, the normalizing factor, correlated orthogonality.

REFERENCES

1. Vorobyov, V.V., Kyba, I.I. (2013) "The precise definition of own forms of conveyor belt transverse oscillations", *Suchasni resursoenergozberigauchi tehnologiyi girnychogo vyrobnytstva*, vol. 1, no. 11, pp. 110 – 117.

2. Pankratov, S.A. (1967), *Dynamika mashyn dlja otkrytyh gornyh i zemljanyh robot* [Dynamics of machines for open pit mining and excavation], Mechanical Engineering, Moscow, Russia.

3. Goroshko, O.A., Dem'yanenko, A.G., Kyba S.P. (1991), *Dvohvyljovy protsesy v mehanichnyh systemah*, [Two-wave processes in mechanical systems], Lybotov, Kyiv, Ukraine.

4. Tikhonov, A.N., Samarskyi, A.A. (1968) *Uravenija matematicheskoy fiziki*, [The equations of mathematical physics], Nauka, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 25.10.2013

УДК 622.281.74.04

**К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ШТАНГОВОГО АНКЕРА  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА**

**С. И. Скипочка, Т. А. Паламарчук, Н. Т. Бобро, Т. Г. Войтович**

Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины

ул. Симферопольская, 2-А, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

На основании анализа существующих и собственных исследований, а также использования экспериментального критерия прочности получены формулы, позволяющие оценивать величину конечного натяжения анкерной штанговой крепи при известных упругих или прочностных параметрах материала анкера и системы «крепь–порода», начального натяжения крепи и ее геометрических параметров. Кроме того показано, что из всей совокупности горно-геологических и производственных факторов, которые могут оказать влияние на силовые характеристики анкеров с замковым закреплением, определяющими являются конструкция замка анкера, смещение относительно скважины, крепость и трещиноватость пород в месте закрепления замка, а основная потеря натяжения анкеров заключается в деформации породы на контакте с замком и опорной плитой.

**Ключевые слова:** натяжение штанговой анкерной крепи, прочность закрепления анкера, контактные напряжения.

**ДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАТЯГУ ШТАНГОВОГО АНКЕРА  
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ УГЛЕПОРОДНОГО МАСИВУ**

**С. І. Скіпочка, Т. А. Паламарчук, М. Т. Бобро, Т. Г. Войтович**

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України  
вул. Сімферопольська, 2-А, м. Дніпропетровськ, 490005, Україна.

E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

На підставі аналізу існуючих і власних досліджень, а також використання експериментального критерію міцності отримано формули, що дозволяють оцінювати величину кінцевого натягу анкерного штангового кріплення при відомих пружних або міцностних параметрах матеріалу анкера і системи «кріплення–порода», початкового натягу кріплення і його геометричних параметрів. Крім того, показано, що зі всієї сукупності гірничо-геологічних і виробничих факторів, які можуть зробити вплив на силові характеристики анкерів із замковим закріпленням, визначаючими є конструкція замка анкера, зсув щодо свердловини, міцність і тріщинуватість порід в місці закріплення замка, а основна втрата натягу анкерів полягає в деформації породи на контакті із замком і опорною плитою.

**Ключові слова:** натяг штангового анкерного кріплення, міцність закріплення анкера, контактні напруження.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Увеличение глубины и все более ухудшающиеся горно-геологические условия предъявляют все возрастающие требования к повышению безопасности и надежности функционирования горнодобывающих предприятий. При этом, по-прежнему, основное внимание уделяется креплению горных выработок, повышению его надежности и снижению себестоимости. В этом смысле весьма неплохо зарекомендовали себя как анкерно-стяжная, так и штанговая анкерная крепи.

Цель работы – исследование натяжения штангового анкера для обеспечения устойчивости углепородного массива.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Известно, что работоспособность штанговой крепи определяется тем сопротивлением, которое она оказывает смещению поддерживаемых пород. Зависимости между реактивным сопротивлением штанги и смещением контура кровли выражается обычно в виде графиков, получаемых в лабораторных и натуральных условиях (рис. 1). Работа штанги  $Q$  численно выражается площадью фигуры  $ABCD$ , которая без большой погрешности может рассматриваться как трапеция [1]. Для металлической штанги имеем

$$Q = \frac{1}{2} \delta k_t (P_0 + P_k), \quad (1)$$

где  $\delta$  – отрезок, на котором штанга оказывает сопротивление сдвигению поддерживаемых пород;

$P_0$  – начальное сопротивление (натяжение) штанги;

$P_k$  – конечное сопротивление (натяжение) штанги;

$k_t$  – коэффициент, учитывающий влияние фактора времени на работу штанги.

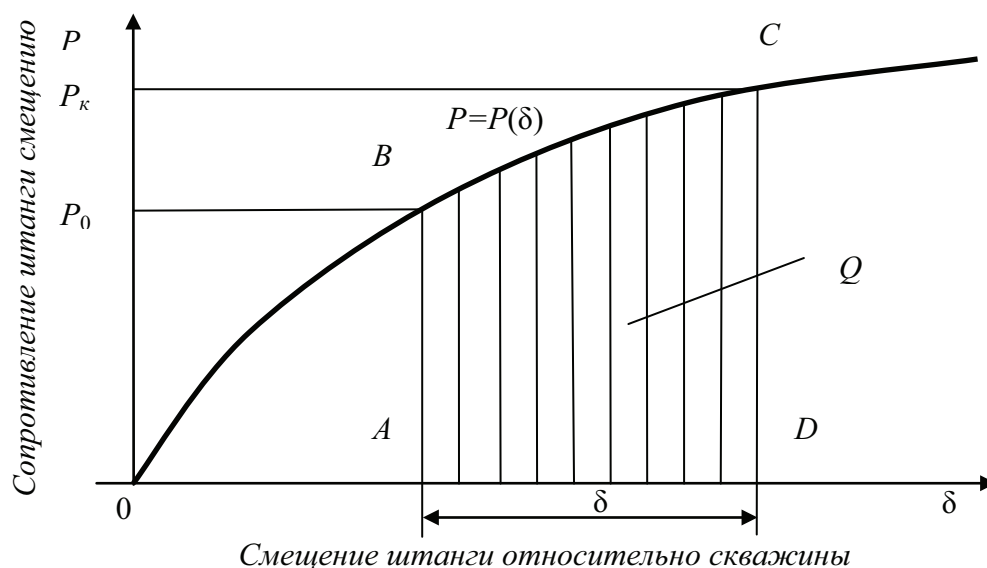


Рисунок 1 – Типовая рабочая характеристика металлической штанги

Протяженность отрезка  $\delta$  выражается соотношением

$$\delta = \lambda a_0 \sin \beta, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент работоспособности штанговой крепи;

$a$  – максимальный прогиб контура кровли;

$\beta$  – угол наклона штанговой крепи.

Коэффициент влияния фактора времени зависит от крепости пород и конструкции штанги. Для основных типов металлических штанг, применяемых на шахтах и рудниках СНГ в породах крепостью  $f = 3-12$ , значение коэффициента  $k_t$  изменяется от 0,35 до 0,8.

Работа штанговой крепи определяется формулой

$$Q = \frac{\delta^2 ES}{2h}, \quad (3)$$

где  $E$  – модуль упругости материала штанги;

$S$  – площадь поперечного сечения штанги;

$h$  – активная длина штанги.

Инструментальными наблюдениями на замерных станциях установлена удовлетворительная сходимость расчетных и фактических смещений кровли: средняя величина относительной разности между их значениями для 69 выработок составила 14 %. Закрепленные штангами выработки в течение 5–6 лет продолжают оставаться в устойчивом состоянии [1].

На основании приведенных выше формул для определения конечного натяжения штанговой крепи получим следующее выражение:

$$P_k = \frac{\delta ES}{hk_1} - P_0. \quad (4)$$

Наиболее общее с физической точки зрения критериальное уравнение прочности должно устанавливать зависимость между основными для данного случая компонентами тензора напряжений, прочностью на сжатие породы при одноосном нагружении и прочностью на сжатие системы «крепь–порода», работающей в заданных условиях. Полное решение этой задачи чрезвычайно сложно в связи с отсутствием необходимого количества экспериментальных данных. Представляется возможным в качестве первой попытки использовать экспериментальный критерий прочности [2].

Для определения вида экспериментального критерия прочности и влияния параметров натяжной штанговой крепи на несущую способность закрепляемых ею пород проведены исследования на моделях из эквивалентных материалов. Исследование заключалось в закреплении близлежащего к стволу слоя штанговой крепию с различными параметрами, затем нагружении всесторонней равномерно распределенной нагрузкой до разрушения и сравнении его несущей способности с несущей способностью такого же слоя, не закрепленного штанговой крепию. Методика эксперимента изложена в работе [3].

Результаты эксперимента используются для определения вида уравнения критерия прочности и в виде безразмерных зависимостей  $p = v/v_0$ ,  $\varphi = \sigma_{к.п}/\sigma_{п}$ , ( $v$  – коэффициент объемного напряжения при исследуемом паспорте крепления) представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента, используемые для вида критерия прочности

№ п/п	$v$	$p$	$\varphi$	№ п/п	$v$	$p$	$\varphi$
1	0,250	1,25	1,07	15	1,120	5,10	1,56
2	0,295	1,47	1,14	16	1,180	5,90	1,59
3	0,346	1,68	1,21	17	1,238	6,19	1,66
4	0,461	2,30	1,28	18	1,380	6,90	1,72
5	0,500	2,50	1,35	19	1,380	6,90	1,63
6	0,500	2,50	1,11	20	1,500	780	1,77
7	0,590	2,95	1,22	21	1,660	8,30	1,66
8	0,619	3,10	1,42	22	1,780	890	1,83
9	0,690	3,45	1,45	23	2,00	10,00	1,70
10	0,692	3,46	1,33	24	2,040	10,20	1,88
11	0,780	3,90	1,48	25	2,360	11,80	1,94
12	0,890	4,45	1,52	26	2,760	13,80	1,98
13	0,922	4,60	1,44	27	3,320	16,60	2,09
14	1,000	5,0	1,55	28	4,00	20,00	2,10

В таблице приняты следующие обозначения:  $v$  – минимальный коэффициент объемного предварительного напряжения заштангованного слоя, при котором еще обеспечивается упрочняющее влияние штанговой крепи на систему крепь–

порода. За  $\nu_0$  принят коэффициент напряжения, соответствующий расстоянию между штангами 3 м и при длине 2 м. При этом паспорте прочностные показатели заштангованного и незаштангованного слоев различаются на 5–10 %. В шахтных условиях это означает, что при таком паспорте уже обеспечивается ограничение перемещений породы внутрь ствола, совместная работа породы и штанг.

Получены уравнения [2]:

$$\sigma_{к.н} = 0,96 \sigma_n \left( \frac{P_0}{P_k} : \frac{l h}{l_0 h_0} \right) \quad (5)$$

$$\sigma_{к.н} = 1,48 \sigma_n \nu^{27},$$

где  $\sigma_{к.н}$  – допускаемое сопротивление сжатию системы «крепь – порода»;

$\sigma_n$  – предел прочности на одноосное сжатие;

$P_0$  – величина предварительного натяжения штанги;

$P_k$  – величина текущего натяжения штанги;

$l_0$  – начальное расстояние между штангами;

$h_0$  – активная длина штанги;

$l$  – конечное расстояние между штангами;

$h$  – конечная длина штанги.

Выражение (5) и есть экспериментальный критерий прочности системы «крепь – порода» при натяжной штанговой крепи. Оно с достаточной степенью точности (данные, полученные экспериментально, не отклоняются от расчетных более чем на 10–12 %) устанавливает зависимость между показателями напряженного состояния заштангованного приконтурного слоя, предельной прочностью на сжатие материала системы «крепь–порода» и предельной прочностью на сжатие породы.

Критериальное уравнение прочности системы «крепь–порода» вида (5) действительно для слабых пород, при которых и наблюдаются проявления горного давления в вертикальных выработках. Но при использовании штанговой крепи для крепления выработок, пройденных в зоне существенного влияния очистных работ (такие предложения в настоящее время имеются [3]), необходимо уточнить значения коэффициента для прочных пород. Путем простых преобразований из уравнения (5) получим выражение для определения величины натяжений штанговой крепи:

$$P = \frac{P_0 \sigma_{к.н} l^2 h^2}{0,96 \sigma_n l_0^2 h_0^2}. \quad (6)$$

Изложенное позволяет сделать вывод, что с помощью штанговой крепи в приконтурном массиве вертикальной выработки создается грузонесущая конструкция «крепь–порода» с прочностью на сжатие  $\sigma_{к.н}$ , значительно превышающей прочность породы  $\sigma_n$ ; между прочностью на сжатие  $\sigma_{к.н}$  материала системы «крепь – порода» и коэффициентом объемного напряжения, характеризующим напряженное состояние системы, вызываемое натяжной штанговой крепью, существует корреляционная зависимость, на основе которой получено критери-

альное уравнение прочности системы «крепь–порода»; при расчете штанговой крепи вместо прочностных характеристик пород следует использовать прочностные характеристики системы «крепь–порода», определенные для различных паспортов штанговой крепи из выражений (6), следует уточнить показатели критериального уравнения прочности системы «крепь–порода» при использовании натяжных штанг для пород различных категорий крепости.

Основным критерием надежной работы анкерной крепи является ее несущая способность, определяемая пределом прочности анкера на разрыв или сопротивлением его замка скольжению по скважине при приложенном усилии. Предел прочности анкера на разрыв может быть определен исходя из площади его поперечного сечения и материала, из которого он изготовлен. При применении рамной или арочной крепи всегда можно установить, в каждой степени отдельные ее элементы отвечают предъявленным к ним требованиям [4]. В случае же недостаточно надежно закрепленных в скважине анкеров и необеспечении необходимого предварительного натяжения в них обследованиями без соответствующих приборов нельзя установить надежную их работу.

При исследовании несущей способности анкерной крепи ставились следующие задачи:

– установление зависимости между несущей способностью анкерной крепи и определяющими ее факторами (предел прочности анкеруемых пород на одноосное сжатие, влияние взрывных и очистных работ и т.п.) при кратковременных нагрузках и в условиях длительной эксплуатации анкерной крепи;

– изучение влияния основных конструктивных параметров замков анкеров и горно-геологических факторов на рабочую характеристику анкерной крепи.

Общепринятым критерием надежной работы анкерной крепи [5] являются экспериментальные графики несущей способности анкеров, выражающие зависимость между приложенной к анкеру осевой нагрузкой и его смещением относительно скважины. Согласно типовой методике [6], прочность закрепления анкеров в породах определялась методом разового извлечения (вытягивания) из скважины закрепленного анкера с помощью специальных приборов. Для этой цели применяли различные механические и гидравлические приборы: ПА–3, ПВ–3 и др.

После проведения выработки (выемки угля) обнаженные слои при плоской кровле испытывают растягивающие напряжения. На некотором расстоянии от обнаженной поверхности есть зона, где породы не испытывают растягивающих напряжений. Анкерная крепь влияет на характер распределения напряжений в слоях. При этом растягивающие усилия из зоны обнаженной поверхности кровли передаются в вышележащие слои.

С целью уменьшения расслоения пород кровли, необходимо растягивающие усилия в нижней ее части снизить приложением сжимающих усилий, которые должны быть меньше предельного сопротивления пород сжатию. Если в установленном анкере создать определенное напряжение гайкой, то оно будет через опорную плитку оказывать на обнаженную поверхность кровли давление, создавая в месте установки анкера сжимающие усилия в кровле. Поэтому во всех устанавливаемых анкерах (если они не закреплены по всей длине скважины) необходимо создавать предварительное натяжение.

Величина предварительного натяжения анкера ограничивается прочностью его материала и прочностью закрепления анкера в скважине. Напряжение в анкере в процессе его работы не должно превышать допустимого напряжения, которое складывается из напряжения предварительного натяжения анкера и напряжения, вызываемого весом поддерживающих пород.

Основной составной частью анкера с механическим закреплением является его замок. Каждый тип замка имеет свою рабочую характеристику, зависящую от его конструкции, способа закрепления и свойства пород. Анкерные крепи имеют как конструктивные отличия в выполнении распорных элементов, так и в принципе создания распорного усилия. Поэтому следует ожидать, что работоспособность этих конструкций в одних и тех же условиях будет различной.

Силу закрепления анкеров с механическими замками (в кН) ориентировочно можно определять по эмпирической формуле

$$P = 1,7 + 1,22f + 0,03f^2, \quad (7)$$

где  $f$  – коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протождяконова.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что из всей совокупности горно-геологических и производственных факторов, которые могут оказать влияние на силовые характеристики анкеров с замковым закреплением при кратковременных нагрузках (время воздействия составляет не более 10 мин, изменение нагрузки от 0 до 100 кН), определяющими являются конструкция замка анкера, смещение относительно скважины, крепость и трещиноватость пород в месте закрепления замка, параметры и форма скважин и обводненность пород.

Наряду с исследованиями несущей способности анкеров при кратковременных единичных нагрузках исследовалось также влияние повторных нагружений. Повторные нагружения производились непосредственно одно за другим. Наибольшее уменьшение податливости (смещения) анкера в скважине происходит при вторичном его нагружении. При последующих нагружениях величины смещения анкера по скважине постепенно убывает. Дальнейшие повторные нагружения анкера показывают, что уменьшение смещения их по скважине происходит до определенного предела, после чего характеристика анкера становится неизменной.

Различное влияние повторных нагружений на несущую способность и смещение распорных анкеров объясняется тем, что элементы замка распорных анкеров после их установки (первое нагружение) контактируют между собой и с породами, окружающими скважину, на незначительной площади (для ребристых полумуфт – ряд точек). При погружении анкера происходит обжатие элементов замка между собой и внедрение полумуфт в породу. Это увеличивает площадь контакта полумуфт замка с породами. Следовательно, возрастает и сопротивление пород внедрению полумуфт. Сопротивление замка смещению возрастает. Однако одного нагружения для полного обжатия элементов замка породой оказывается недостаточно. Окончательное обжатие наступает после двух, трех или четырех в зависимости от коэффициента крепости пород и конструкции замка нагружений анкера.

Следует полагать, что при наибольших нагрузках графики, характеризующие несущую способность металлических анкеров с распорными замками, должны иметь одинаковый характер независимо от их типа. На это указывает выстраивание графиков несущей способности распорных анкеров всех испытанных типов по мере их нагружения. Кроме того, в ряде случаев, когда распорные анкера подвергались нагружению до 100–120 кН смещение их происходило при постоянной нагрузке. После извлечения анкеров из скважин обнаруживались одинаковые деформации элементов замка.

При нагружении анкеров элементы замка внедряются в боковые стенки скважины, а площадь контакта элементов замка между собой остается неизменной. В некоторый момент контактные напряжения в элементах замка превышают предел прочности металла смятию, и элементы замка деформируются, утрачивая способность перемещаться одному относительно другого. В результате замок набирает свою максимальную несущую способность и его смещение в дальнейшем происходит при постоянной нагрузке. Его несущая способность определяется тем усилием, которое необходимо для скалывания слоя породы, толщина которого составляет глубину внедрения полумуфта замка в стенки скважины.

Исследования осевых напряжений в анкерах проводились в выработках, расположенных в массиве (с пределом прочности на одноосное сжатие 7–12 МПа и породах (аргиллитах, алевролитах и песчаниках). Предел прочности на одноосное сжатие этих пород составляет 6–37 МПа. В более крепких породах напряжения в анкерах изучались на породных блоках, отбираемых в забое из свежееотбитой породы. Для исследования принимались распорные анкера с двумя полумуфтами и клино-щелевые анкера.

Все экспериментальные анкера устанавливали в различных породах группами вне зоны влияния очистных и взрывных работ. В каждой группе испытывалось по 6–7 анкеров. Наблюдения велись в течение 28–56 сут.; в первые сутки показания снимались через 30–60 мин, в дальнейшем – через 1–7 сут. Чтобы исключить влияние на предварительное натяжение жесткости подхвата, динамометры устанавливали непосредственно к породе. На нескольких анкерах для сравнения использовали деревянные подхваты из распилов и металлические подхваты из спецпрофиля СП–17 и др.

Результаты проведенных наблюдений за изменением первоначального натяжения анкеров (без подхватов) во времени в породах различной крепости представлены на рис. 2. Наблюдения показывают, что во всех случаях первоначальное натяжение в анкерах со временем уменьшается. Основная потеря натяжения происходит в течение первых суток, в дальнейшем скорость потери натяжения уменьшается. Потери натяжения резко возрастают с уменьшением прочности горных пород. Так, в угольном массиве ( $\sigma_{сж} = 7–12$  МПа) и аргиллитах ( $\sigma_{сж} = 6–12$  МПа); за 24 ч потеря натяжения составила 132 кН (44 % первоначального натяжения), в алевролитах ( $\sigma_{сж} = 17–24$  МПа) – 12 кН (36,6 %), в песчаниках ( $\sigma_{сж} = 32–37$  МПа) – 7,8 кН (26 %).



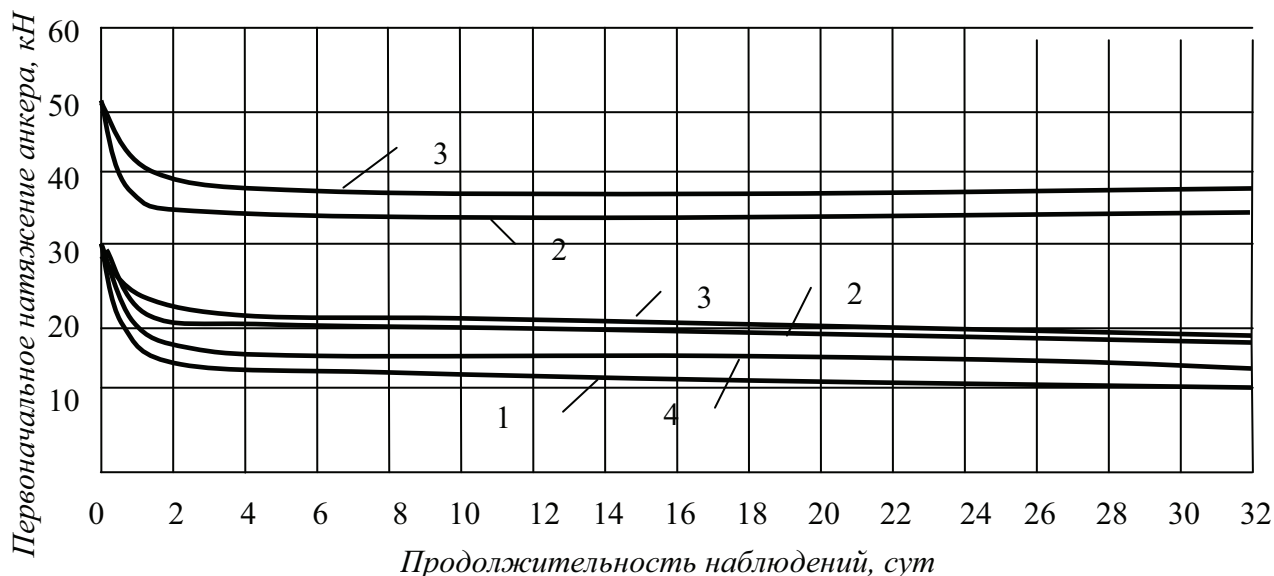
Изучение и анализ потери первоначального натяжения во времени показали, что натяжение анкеров (в кН) изменяется по прямолинейной зависимости и с достаточной точностью может быть выражено уравнением:

$$P = a + \frac{b}{t}, \quad (8)$$

где  $P$  – натяжение анкера через определенный промежуток времени;

$a, b$  – постоянные коэффициента, зависящие от свойств горных пород и величины первоначального натяжения;

$t$  – время с момента первоначального натяжения, ч.



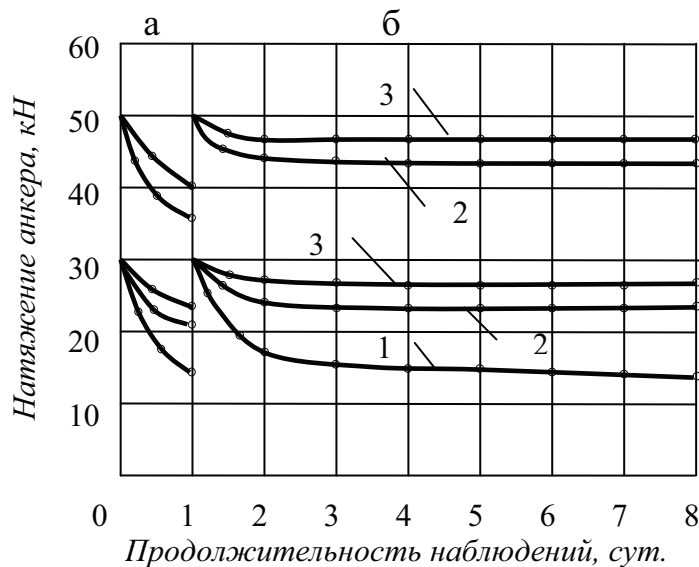
1 – аргиллит ( $\sigma_{сж} = 0,6 - 1,2$  кН/см<sup>2</sup>); 2 – алевролит ( $\sigma_{сж} = 1,7 - 2,4$  кН/см<sup>2</sup>);  
3 – песчаник ( $\sigma_{сж} = 3,2 - 3,7$  кН/см<sup>2</sup>); 4 – уголь ( $\sigma_{сж} = 0,7 - 1,2$  кН/см<sup>2</sup>)

Рисунок 2 – Изменение первоначального натяжения анкеров во времени, закрепленных в различных породах

Падение первоначального натяжения в анкере можно объяснить рядом причин. Напряжение, создаваемое замком анкера, разрушает породу и вызывает падение натяжения анкера. Этому способствует также воздух и влага, вызывающая снижение прочности пород и коррозию металла. В породе под опорной плиткой концентрируются напряжения, которые вызывают разрушение породы. В анкерах, установленных с металлическими подхватами, потеря натяжения на 20–25 % меньше, чем у анкеров с деревянными подхватами. Потеря натяжения в анкере также может происходить вследствие удлинения материала анкера и малой прочности закрепления анкера.

С этой целью были испытаны анкера на прочности закрепления. Испытания показали, что анкера, установленные в слабых породах, имеют значительную податливость и малую прочность закрепления. Только у анкеров, установленных в песчаниках, прочность закрепления значительно превосходит первоначальную величину натяжения. Все это указывает на то, что для эффективной работы анкеров прочность закрепления их должна в 1,5 раза и более превосходить вели-

чину первоначального натяжения. Работа анкеров проявляется в виде дополнительного сжатия опорных элементов и пород, вторичное подтягивание способствует сохранению натяжения. С целью проверки этого вывода анкера, потерявшие натяжение, подтягивали до первоначального натяжения. У анкеров, имевших прочность закрепления, приближающуюся к величине первоначального натяжения, потери натяжения почти не изменялись. У анкеров, прочность закрепления которых превосходит величину натяжения в 1,5 раза и более, потери натяжения уменьшались значительно. При вторичном подтягивании гаек потери натяжения произошли вновь, но незначительно (рис. 3). Это указывает на то, что для распорных анкеров, установленных в массиве, где нет даже влияния очистных и взрывных работ, необходимо вторичное подтягивание.



1 – аргиллит; 2 – алевролит; 3 – песчаник;

а – снижение первоначального натяжения; б – снижение вторичного натяжения

Рисунок 3 – Изменение натяжения анкеров во времени, закрепленных в различных породах

На основании результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

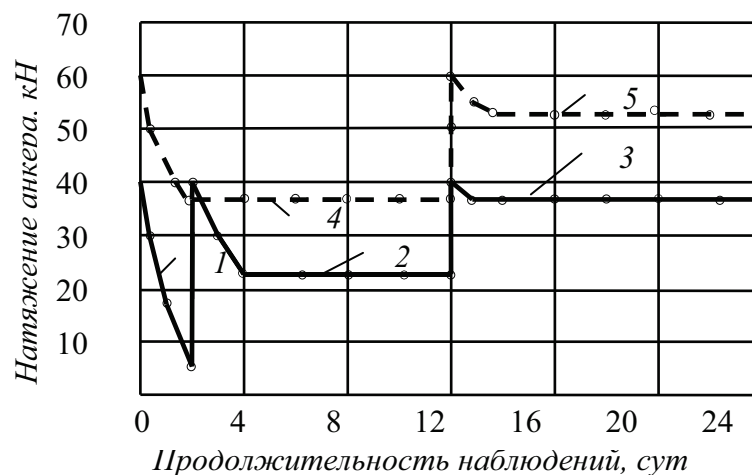
Основная потеря натяжения анкеров заключается в деформации породы на контакте с замком и опорной плиткой.

Процесс потери натяжения анкеров – затухающий, но не останавливающийся. Характер и величина потери натяжения находятся в зависимости от прочностных свойств породы, первоначального натяжения и прочности закрепления анкера. Потеря натяжения происходит в основном в первые сутки после натяжения (68–81 %), в течение остальных 27 сут. доля общей потери натяжения составляет 19–32 %.

Создание повторного натяжения на анкерах в породах с пределом прочности на сжатие более 30 МПа способствует сохранению первоначального натяжения и улучшению работы крепи. Вторичное натяжение наиболее целесообразно на

вторые сутки после первоначального натяжения. В породах с пределом прочности на сжатие менее 30 МПа анкеры с замковым креплением имеют малую прочность крепления и весьма податливый режим работы, не позволяющий их использовать для длительного поддержания выработок. Анкеры с механическим замковым креплением наиболее целесообразно применять в породах с пределом прочности на сжатие 30–40 МПа, где они имеют наиболее лучшую рабочую характеристику.

ШахтНИУИ на породных блоках из более крепких пород (песчанистый сланец с пределом прочности на сжатие 60–70 МПа и песчаник с пределом прочности на сжатие 110 МПа изучал напряжение в анкерах и процессы, происходящие на контакте замка с породами стенок скважины. Попытки провести подобные наблюдения на блоках из слабых пород приводили к разрушению последних при создании в анкерах натяжения или при закреплении клино-щелевых анкеров. Породные блоки отбирались размером не менее 0,5×0,5×0,5 м в забое выработки. В отобранных блоках перпендикулярно к напластованию пород бурились скважины глубиной 0,3–0,4 м, в которых устанавливали анкеры длиной 0,5–0,6 м с натяжением 30, 40 и 50 кН. В результате наблюдений установлено, что непосредственно после установки анкера и создания в нем первичного натяжения последнее интенсивно падает и через двое–трое суток снижается до нуля (рис. 4, кривая 1). После вторичного натяжения анкера падение натяжения происходит менее интенсивно (рис. 4, кривая 2). В этом случае натяжение достигает некоторого минимума и может оставаться неизменным в течение длительного времени. После трёх–четырёх натяжений в анкере, величина конечного натяжения стабилизируется и почти остается неизменной.



1, 2, 3 – падение натяжения, созданного в 40 кН соответственно в первый, второй и третий раз; 4, 5 – падение натяжения, созданного в 60 кН первый и второй раз

Рисунок 4 – Изменение натяжения анкеров во времени

Установлено, что величина начального натяжения в анкере, как в момент установки, так и при повторных натяжениях оказывает существенное влияние на

величину конечного натяжения. С увеличением начального натяжения процесс стабилизации натяжения в анкере происходит быстрее и конечное (стабильное) натяжение имеет большую величину с меньшим числом повторных натяжений (рис. 4, кривые 4 и 5). Лабораторные исследования подтвердили шахтные исследования изменения натяжения анкеров во времени.

**ВЫВОДЫ.** Получены формулы, позволяющие оценивать величину конечного натяжения анкерной штанговой крепи при известных упругих или прочностных параметрах материала анкера и системы «крепь–порода», начального натяжения крепи и ее геометрических параметров. Кроме того, показано, что из всей совокупности горно-геологических и производственных факторов, которые могут оказать влияние на силовые характеристики анкеров с замковым закреплением, определяющими являются конструкция замка анкера, смещение относительно скважины, крепость и трещиноватость пород в месте закрепления замка, а основная потеря натяжения анкеров заключается в деформации породы на контакте с замком и опорной плитой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Юрченко И.А. Энергетический подход к расчету штанговой креп // ФТРПИ. – 1970. – № 1. – С. 27–32.
2. Кравченко Г.И. О влиянии натяжной штанговой крепи на прочность системы крепь-порода // ФТРПИ. – 1970. – № 4. – С. 34–40.
3. Методика и результаты исследования влияния штанговой крепи на несущую способность стенок ствола / Г.И. Кравченко, А.Е. Белов // Вопросы горного давления. – 1965. – Вып. 24. – С. 37–45.
4. Опыт применения анкерной крепи / Н.И. Мельников, Н.И. Линденау. – М.: Госгортехиздат, 1959. – 215 с.
5. Курганский Е.В. Исследование работы металлической анкерной крепи при ее длительной эксплуатации: дис.... канд. техн. наук: 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / Е.В. Курганский. – Новочеркасск, 1972. – 170 с.
6. Типовая методика по испытанию опытных образцов и опытно-промышленных партий анкерной крепи. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1972. – 52 с.

### TO QUESTION OF RESEARCH OF ANCHORAGE PULL FOR PROVIDING OF THE COALROCK MASSIF STABILITY

**S. Skipochka, T. Palamarchuk, N. Bobro, T. Voytovich**

M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine

vul. Simferopolskaya, 2-A, Dnepropetrovsk, 490005, Ukraine.

E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

On the basis of analysis of researches existing and own, and also the uses of experimental criterion of strength are received formulas, allowing to estimate the size of anchorage pull at known elastic or strength parameters of material and system of «support – rock», initial pull, its geometrical parameters. It is shown in addition, that

from all aggregate of factors rock-geological and production, which can have influence on power descriptions of anchors with the lock fixing, determining are construction of anchor lock displacement in relation to a mining hole, rock strength and fracturing in the place of lock fixing, and the basic loss of anchors pull in rock deformation on the contact with a lock and supporting plate.

**Key words:** the pull of anchorage, strength of anchorage fixing, contact stress.

#### REFERENCES

1. Yurchenko, I. A. (1970), “Energy approach to the calculation of anchorage”, *FTRPI*, no. 1, pp. 27–32.
2. Kravchenko, G. I. (1970), “About influencing of anchor support pull on the strength of the system “support – rock”, *FTRPI*, no. 4, pp. 34–40.
3. Kravchenko, G. I. and Belov, A. E. (1965), “Methodic and results of investigation anchorage influence on carrying ability of walls”, *Voprosy gornogo davleniya*, no. 24, pp. 37–45.
4. Melnikov, N. I. and Lindenau, N. I. (1959), *Opyt primeneniya ankernoy krepki* [Experience of application of anchorage], Gosgortekhzdat, Moscow, Russia.
5. Kurganskiy, E. V. (1972), “Research of work of metallic anchorage during its protracted exploitation”, Abstract of D.Sc. (Tech.) dissertation, Underground working mining, Novocherkassk, Russia.
6. *Tipovaya metodika po ispytaniyu opytnykh obraztsov i opytno-promyshlennykh partiy ankernoy krepki* [Sample methodic on the test of pre-production models and experimental-industrial parties of anchorage] (1972), IGD im. A. A. Skochinskogo, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 28.10.2013.

УДК 622.281.74

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ АНКЕРОВАНИЯ ОДНОРОДНОГО ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА

**Р. Н. Терещук**

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г.Днепропетровск, 45005, Украина.

E-mail: Tereschuk\_rm@mail.ru

Приведены результаты математического моделирования анкерной крепи, установленной в однородном приконтурном массиве. Получены зависимости изменения относительных смещений кровли от расстояния между анкерами и изменения размеров рациональной зоны влияния одиночного анкера от угла его наклона. Выполнен анализ полученных результатов. Определена рациональная плотность анкерования однородного массива при проведении горных выработок.

**Ключевые слова:** анкерная крепь, плотность анкерования, математическое моделирование, приконтурный массив.