

РОПАЙ Валерий А.

Днепродзержинский индустр. институт

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ КРУЧЕНИЯ КРУГЛЫХ
УРАВНОВЕШИВАЮЩИХ КАНАТОВ НА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКЕ

Резюме. Описываются результаты экспериментальных исследований деформаций кручения круглых уравновешивающих канатов с помощью датчиков и токосчетника конструкции автора. В эксперименте регистрировались скорость движения подъемного сосуда, угол поворота роторной части вертикального прицепного устройства, деформации кручения каната в трех сечениях по длине отвеса, отстоящих друг от друга на расстоянии 250 м. Регистрация указанных параметров производилась в рабочем режиме спуска и подъема сосуда в стволе и в режимах торможения при подъеме и спуске.

Приводятся полученные осциллограммы, делается заключение о величинах деформаций кручения каната и формах его крутильных колебаний.

Цель исследований - выяснение характера и величин крутильных деформаций по длине отвеса уравновешивающего каната в рабочем режиме работы подъемной установки и в режиме предохранительного торможения.

На рис. I представлена схема подъемной установки.

В эксперименте измерялись величины крутильных деформаций уравновешивающего каната одновременно в трех сечениях, отстоящих друг от друга на расстоянии 250 м (верхний датчик располагался у вертикального прицепного устройства), скорость движения подъемного сосуда; угол поворота и угловая скорость вращения вертикаля. Изменялись деформации канатов $d = 42$ мм ГОСТ 7668-69, находившихся в эксплуатации разное время - 1 месяц и 15 месяцев на двух установках, характеризующихся следующими данными: высота подъема 986 м, подъемные машины МК 4x4, клетки массой 14800 кг, масса противовеса 20450 кг, длины подъемных и уравновешивающих канатов 1040 м (максимальная длина отвеса уравновешивающего каната 1013 м).

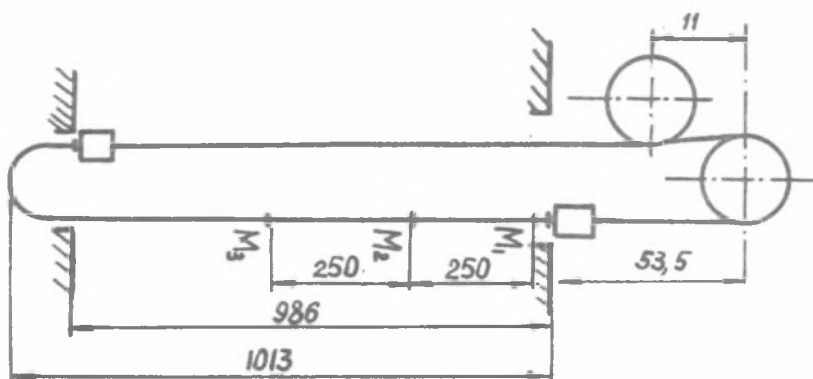


Рис. 1. Схема подъемной установки

подъемных канатов 4, диаметром 34,5 мм, уравновешивающих канатов 3, из них один диаметром 36,5 мм и два - 42 мм, момент инерции вертлюга $0,5 \text{ кгм}^2$, диаметр его упорного подшипника 0,3 м.

Крутильные деформации каната измерялись с помощью датчиков конструкции автора (рис.2), в которых относительный поворот двух соседних сечений (база датчика 1,5 см) преобразовывался в деформации изгиба упругой балочки с наклеенными и соединенными в мост полупроводниковыми тензорезисторами. Чувствительным элементом датчика является плоская упругая балочка 1 с четырьмя наклеенными полупроводниковыми тензорезисторами 2, соединенными в мост. Балочка закреплена консольно на регулировочной пластине 3

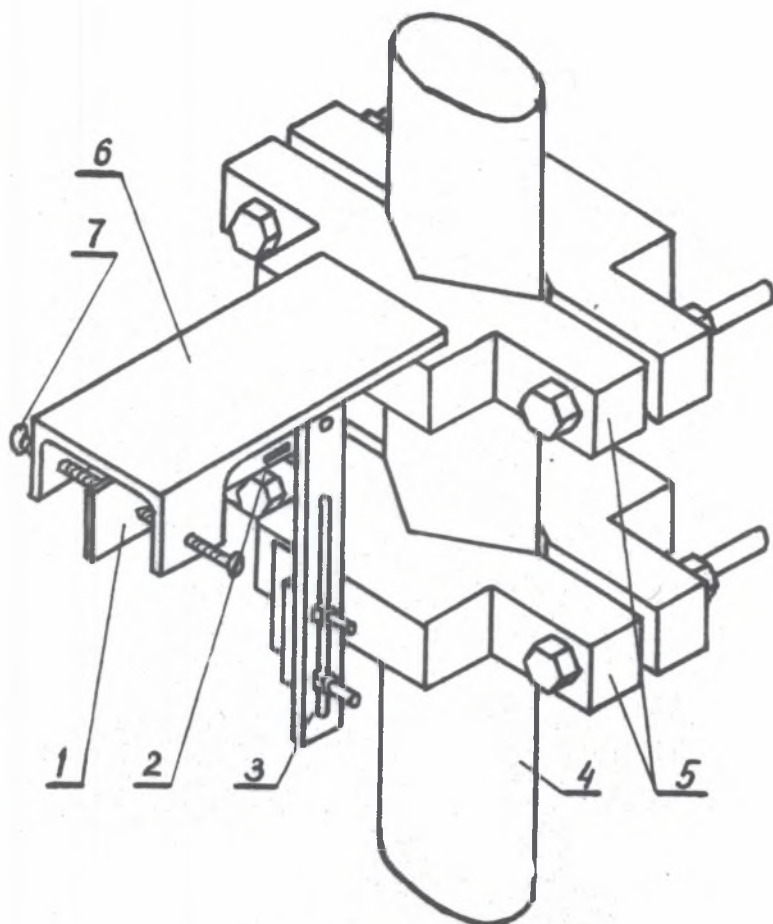


Рис. 2. Конструкция датчика

перпендикулярно оси каната 4. Два разъемных хомута 5, закрепляются на канате болтами на некотором расстоянии друг от друга (база датчика порядка 1-2 см).

При деформации каната хомуты поворачиваются и смещаются в продольном направлении относительно друг друга, при этом упорная пластина 6 изгибает балочку с помощью регулировочных винтов 7.

Продольное относительное смещение хомутов датчик не воспринимает, т.к. плоскость балочки совпадает с вертикальной осью каната и регулировочные винты скользят по балочке, кроме того, мост из четырех датчиков автоматически исключает деформацию изгиба балочки в плоскости ее большей жесткости.

Изгибные деформации каната датчик не фиксирует вследствие малого расстояния между хомутами.

Круглые металлические канаты бывают разных диаметров и конструкции их имеют, следовательно, различные жесткостные параметры. Конструкция датчика должна позволять изменение его чувствительности в широких пределах. С этой целью упругая балочка крепится не к хомуту непосредственно, а к регулировочной пластине, которая может смещаться относительно хомута по направляющему пазу при необходимости изменить базу датчика.

Разъемные хомуты позволяют установить датчик на канате любого диаметра.



Рис. 3. Конструкция тросоъемника

Тарировка датчика должна производиться после установки его на исследуемый канат с помощью дополнительных хомутов и рычагов, укрепляемых на канате по обе стороны от датчика на достаточно большом расстоянии /порядка 1 м/.

Относительным поворотом дополнительных хомутов можно протарировать датчик в силах или перемещениях. Измерительная аппаратура располагалась в клетке, соединение цепей осуществлялось через разъемный токосъемник (рис.3), роторная часть которого закреплялась на канате под вертлюгом (рис.4), а статорная часть

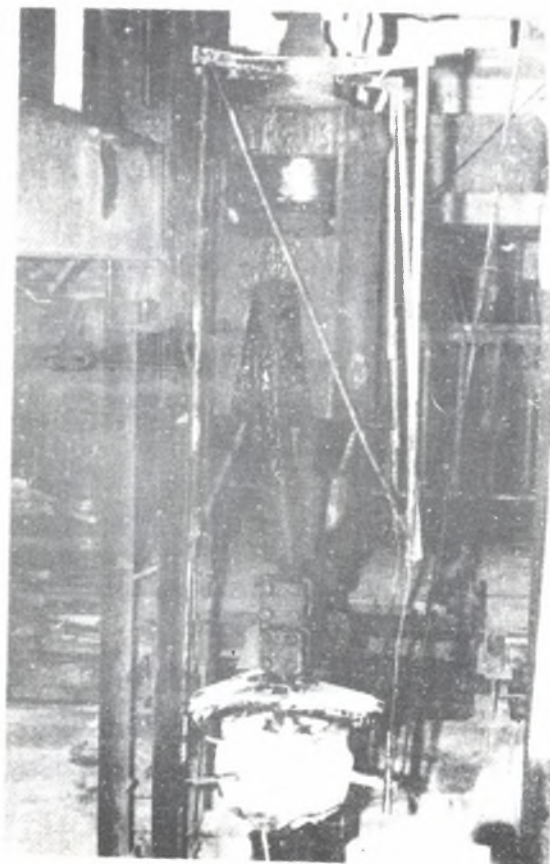


Рис. 4. Установка токосъемника под вертлюгом

крепилась к клету. Установка и тарировка датчиков осуществлялась с нижнего горизонта - 986 м.

На рис.5 показана тарировочная осциллограмма. Мы здесь не приводим осциллограмму изменения деформации кручения верхнего сечения отвеса каната в рабочем режиме спуска-подъема, т. к. это длинная запись в виде пологой линии, на которой нет динамических изменений, деформация носит квазистатический характер. Общее изменение деформации каната у прицепного устройства при изменении длины отвеса каната на 986 м соответствовало нагружению при тарировке крутящим моментом порядка 250-260 Нм. Вертлюг начинал вращение после прохождения клетки около 300 м с нулево-

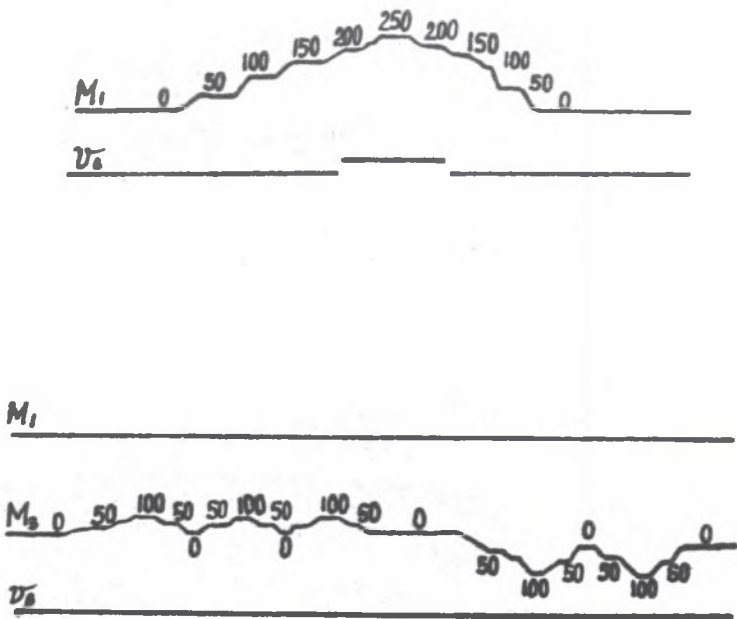


Рис. 5. Тарировочная осциллограмма

го горизонта при спуске и столько же - при подъеме клетки с отметки - 986 м. Это объясняется значительным трением в упорном подшипнике вертлюга.

При движении с невращающимся вертлюгом деформация кручения каната в контролируемом сечении не изменялась. Это будет показано ниже на осциллограммах спусков перед предохранительным торможением.

В рабочем режиме спуска - подъема вертлюг с канатом, работавшим 15 месяцев, сделал 106 оборотов. При подъеме клетки направление вращения вертлюга направлено в сторону раскручивания каната, при спуске клетки - в сторону закручивания каната.

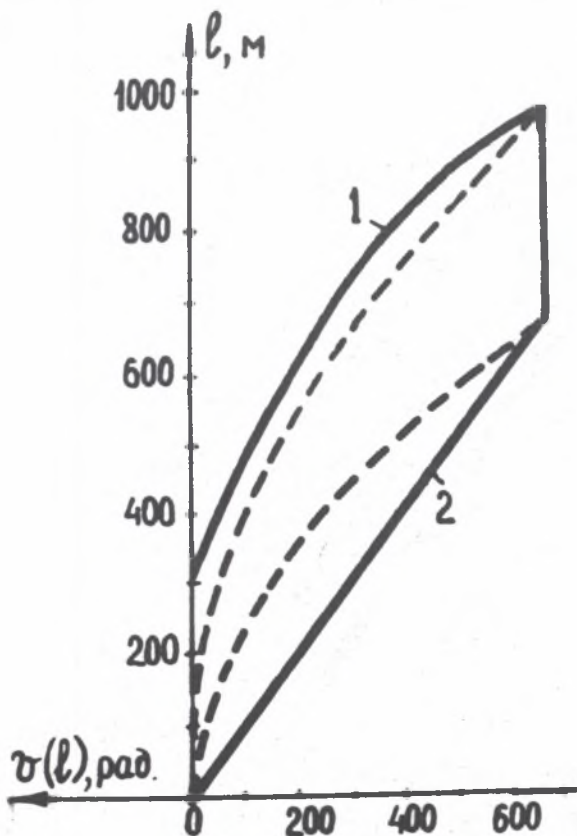


Рис. 6. Изменение угла поворота вертлюга в зависимости от длины отвеса

Запись оборотов вертлюга старого каната в рабочем режиме спуска-подъема позволила построить диаграмму зависимости угла поворота вертлюга в радианах в зависимости от длины вертикального отвеса уравнивающего каната (рис.6).

На рис.7 показано как изменялась угловая скорость вращения вертлюга при спуске и подъеме клетки. На рисунке показано в каких пределах изменялась длина отвеса при движении клетки с постоянной скоростью 8,4 м/с.

На рис.8 а,б представлена осциллограмма деформаций каната, находившегося в эксплуатации менее I месяца. Обозначено M_I и M_3 - моменты упругих сил в верхнем сечении отвеса у вертлюга (M_I)

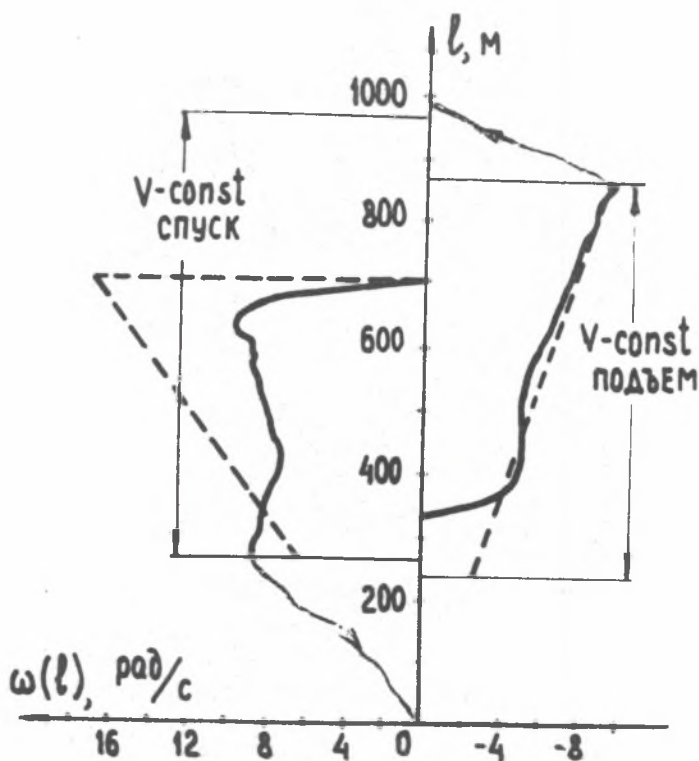


Рис. 7. Изменение угловой скорости вращения вертлюга при подъеме и спуске клетки, пунктирные линии - результаты расчета

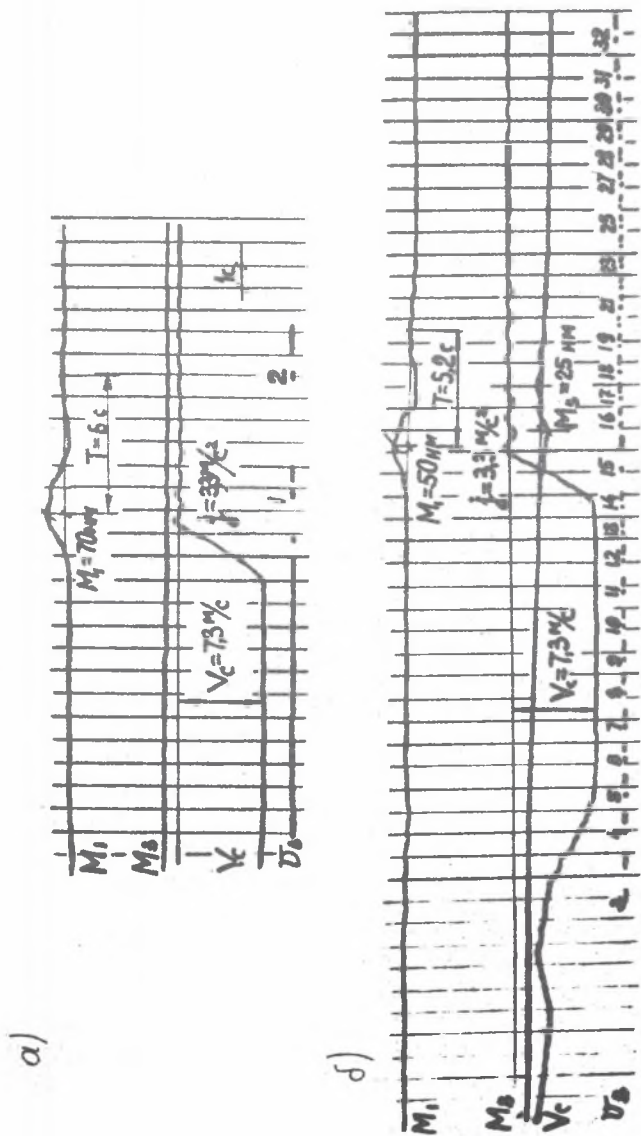


Рис. 8. Осциллограммы деформации нового каната при спуске кюветы
 а) длина отвеса - 860 м, б) длина отвеса - 720 м

и в сечении, отстоящем от него на расстоянии 500 м; V_c - скорость движения подъемного сосуда; ζ_n - запись оборотов вертлюга. Скорость протяжки фотобумаги была равной 10 мм/с.

При опускании клетки на 150-160 м вертлюг не вращался, во время торможения он сделал два оборота в сторону закручивания каната (точки и тире линии ζ_n).

На рис. 8,б приведена осциллограмма дальнейшего опускания клетки и предохранительного торможения. Замедление клетки равно $3,3 \text{ м/с}^2$. Длина отвеса уравновешивающего каната порядка 720 м. Нижний датчик M_3 находится ниже середины отвеса на 140 м. На осциллограмме видно, что в этом случае возникающие деформации кручения в двух контролируемых сечениях каната имеют противоположные знаки. В верхнем сечении деформация раскручивания каната, в нижнем сечении - деформация закручивания. Период крутильных колебаний равен 5,2 с, продольных колебаний клетки - 1,25 с. Величины динамических добавок к моментам упругих сил в контролируемых сечениях каната при торможении составили - 50 Нм и + 25 Нм в верхнем и нижнем сечениях соответственно. Вертлюг за время спуска и торможения сделал 33 оборота в сторону закручивания каната.

На рис. 9,а представлена осциллограмма предохранительного торможения при подъеме, когда клетка находилась на расстоянии 160 м от верхней приемной площадки. Как и в первом опыте, описанном выше, длина отвеса уравновешивающего каната равна 850 м. Ускорение клетки $3,4 \text{ м/с}^2$. Соответственно изменению направления ускорения изменились знаки динамических деформаций каната, но колебательный процесс не изменился. Период крутильных колебаний равен 6с, период колебаний клетки - 1,15 с.

На осциллограмме (рис. 9,б) записан процесс торможения при подъеме со скоростью 7,3 м/с. Торможение произошло с замедлением $3,3 \text{ м/с}^2$. Клетка находилась на расстоянии 35 м от нулевого горизонта. Длина отвеса уравновешивающего каната равна

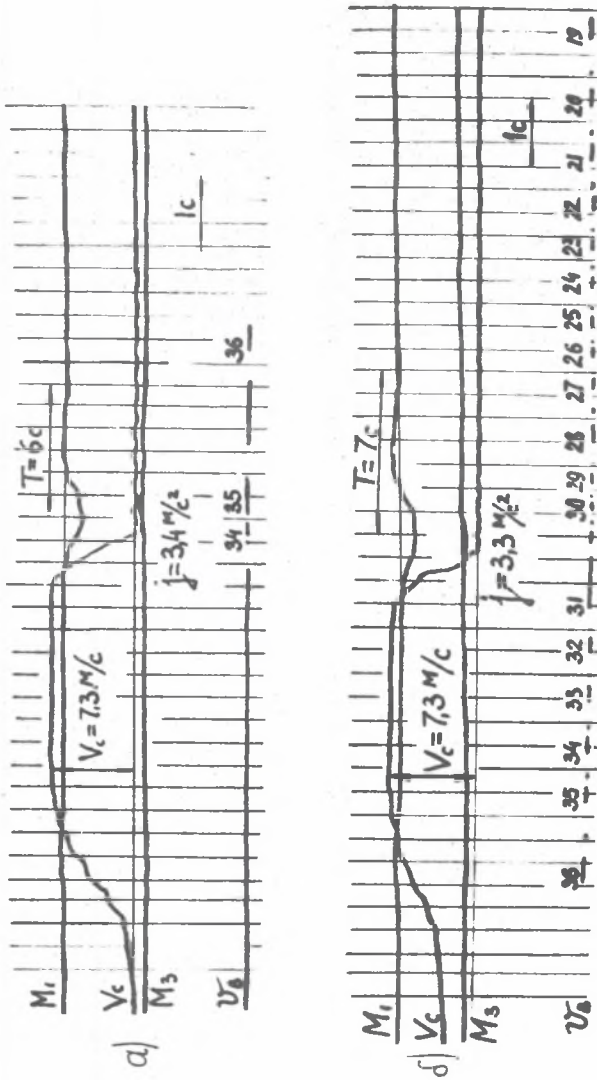


Рис. 9. Осциллограммы деформации нового каната при подъеме клети
 а) длина отвеса - 850 м, б) длина отвеса - 970 м

970 м, т.е. нижний датчик (M_3) находился почти на середине отвеса. Видно, что изменение деформаций этого сечения незначительное. Период крутильных колебаний равен 7 с. Колебания клетки на подъемных канатах длиной 90 м происходили с периодом 0,5 с.

На рис. 10 приведены осциллограммы процессов спуска клетки и аварийного торможения на одноклетевой установке, уравновешивавший канат $d = 42$ мм ГОСТ 7668-69 находился в эксплуатации 15 месяцев. Изменение деформаций контролируемых сечений обозначено M_1 , M_2 , M_3 , линия V_c - запись скорости движения клетки, n - обороты вертлюга. Вертикальная сетка на осциллограмме соответствует отметке времени с интервалом 1 с (цифры сверху). Обороты вертлюга (тире и точка внизу на осциллограмме) обозначены для удобства цифрами.

На рис. 10,а представлена осциллограмма спуска клетки с нулевого горизонта. Разгон клетки до скорости $V_c = 8,4$ м/с осуществлен за 9 с, движение с постоянной скоростью $V_c = 8,4$ м/с происходило до отметки - 254 м в течение 21 с (до 34с). Вертлюг при этом не вращался и деформации кручения отвеса каната не изменялись - линии M_1 , M_2 и M_3 не смещались на осциллограмме. На 34 с началось предохранительное торможение подъемной машины, замедление клетки было равным 5 м/с². Длина вертикального отвеса уравновешивающего каната в этот момент была порядка 760 м. При этом датчики M_2 и M_3 находились на расстоянии 120 - 130 м от середины отвеса. В момент торможения эти датчики зафиксировали разные по знаку незначительные деформации. После заторможения клетки вертлюг сделал 9 оборотов в направлении закручивания каната. При вертикальных колебаниях клетки на подъемных канатах с периодом 1,2 с динамические деформации кручения уравновешивавшего каната происходили в такт колебаниям клетки, однако в первые секунды с начала замедления (с 34 по 39 с) можно отметить наложение на эти колебания колебаний большего периода. (Это явление было особенно заметным в экспериментах с новым канатом). В момент торможения наиболь-

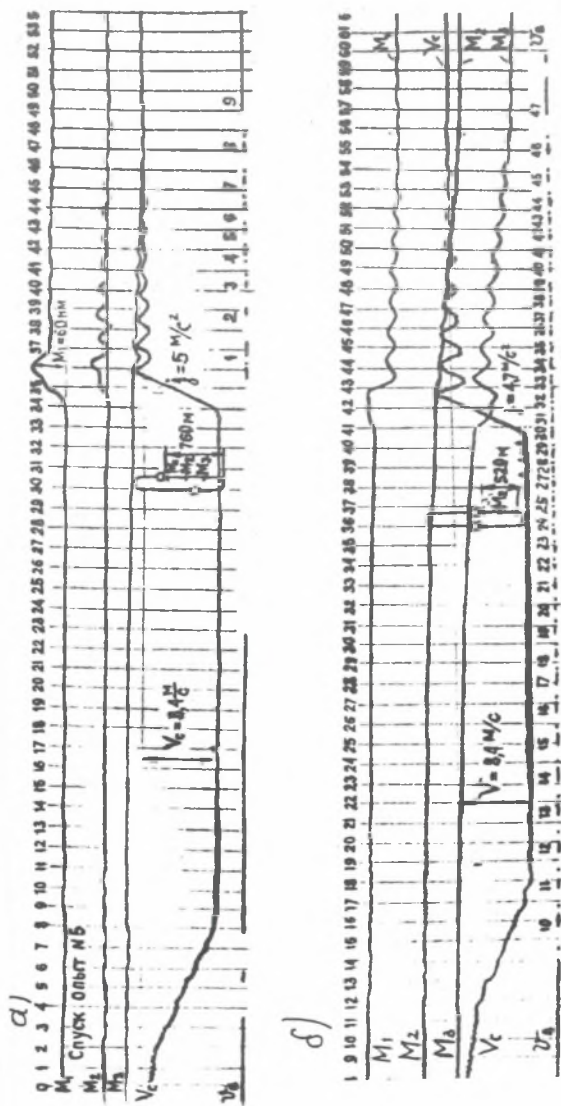


Рис. 10. Осциллограммы деформации старого каната при спуске кисти
 а) длина отвеса - 760 м, б) длина отвеса - 520 м

шая деформация кручения зафиксирована в верхнем сечении отвеса каната у вертлюга, она соответствует скручиванию каната моментом 60 Нм.

На рис. 10,б представлена осциллограмма дальнейшего опускания клетки и второго предохранительного торможения. Разгон подъемной машины до скорости клетки $V_c = 8,4$ м/с осуществлен за 18 с, клеть двигалась с постоянной скоростью до 40 с. В этот период вертлюг ускоренно вращался в сторону закручивания каната и деформация кручения отвеса каната в контролируемых сечениях изменялась квазистатически и одинаково - линии M_1 , M_2 и M_3 смещаются на осциллограмме параллельно (чувствительность датчиков приблизительно одинаковая). Предохранительное торможение началось на 41 с. Замедление клетки составило $4,7$ м/с². В этот момент клеть находилась на отметке - 490 м. Длина отвеса уравновешивающего каната 520 м. Три датчика M_1 , M_2 и M_3 зафиксировали одновременное изменение деформаций в верхнем у вертлюга, в среднем и в нижнем у петли сечениях отвеса каната.

На осциллограмме четко видно, что замедленное движение клетки (верхнего конца отвеса уравновешивающего каната) вызвало крутильные колебания, при которых деформации верхнего и нижнего сечений были разными по знаку приблизительно одинаковыми по величине, а в среднем сечении был узел колебаний.

Этот эксперимент может служить обоснованием расчетной схемы для исследования продольно-крутильных колебаний круглого уравновешивающего каната. Он ясно свидетельствует о том, что канат в свободно провисавшей в зумпфе петле, по обе стороны которой отвесы растягиваются собственным их весом в противоположных направлениях, не прокручивается при переходных режимах движения.

Если в расчетной схеме представить отвес закрепленным от вращения и имеющим массу на верхнем конце, то собственные формы колебаний такой системы имеют вид, представленный на рис. 11. Датчики фиксировали относительные деформации соседних

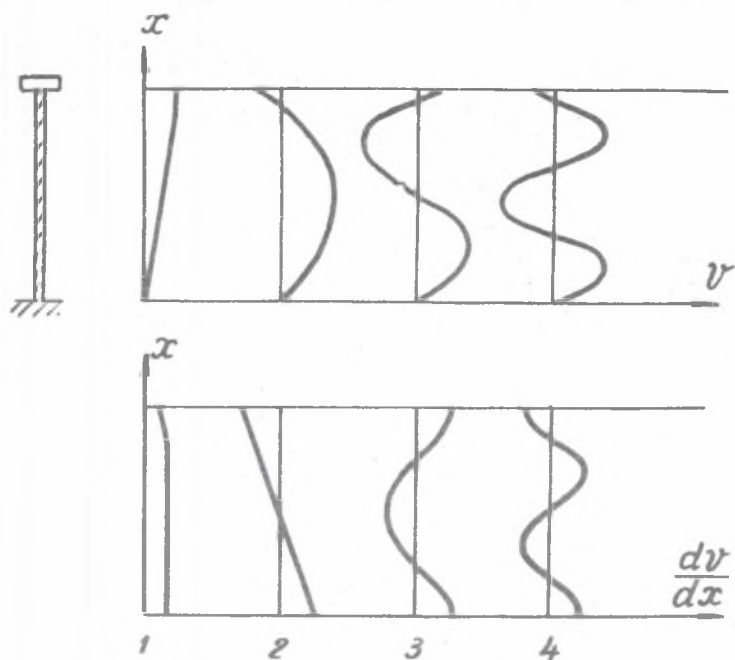


Рис. 11. Формы крутильных колебаний отвеса каната

сечений, то есть то, что соответствует второй форме крутильных колебаний отвеса. Эксперимент подтверждает граничные условия, принимаемые как непрокручивание каната в петле.

Результаты экспериментов по предохранительному торможению двухклетевой установки с новым уравновешивающим канатом сведены в таблицу I, данные по деформациям старого уравновешивающего каната представлены в таблице 2. В таблицах обозначено: l - длина отвеса каната в момент торможения, j - замедление клетки, $\alpha = \frac{ml}{J_0}$ - отношение осевого момента инерции отвеса каната к моменту инерции вращающихся частей вертляга, M_1, M_2, M_3 - значения первых максимумов динамических деформаций кручения каната в контролируемых сечениях, знаки "-" и "+" соответствуют деформациям в направлении раскручивания или закручивания каната, T_1 - период крутильных колебаний, T_2 - период продольных колебаний системы головной канат-клеть-уравновешивающий канат по записи колебаний клетки.

Таблиц I

Результаты измерения деформаций кручения нового уравнивающего каната ГОСТ 7668-69 $d = 42$ мм при предохранительном торможении

№ пп	$l, \text{ м}$	$j, \text{ м/с}^2$	α	$M_I, \text{ Нм}$	$M_3, \text{ Нм}$	$T_I, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$
I	860	3,3 спуск	0,254	- 70	+ 10	6,0	1,15
2	720	3,3 спуск	0,220	- 50	+ 25	5,2	1,25
3	850	3,4 подъем	0,254	+ 60	- 10	6,0	1,15
4	980	3,3 подъем	0,294	+ 70	0	7,0	0,5

Таблица 2

Результаты измерения деформаций кручения старого каната
 ГОСТ 7668-69 $\epsilon_l = 42$ мм при предохранительном торможении

№ пп	$l, \text{ м}$	$\dot{\gamma}, \text{ м/с}^2$	α	$M_1, \text{ Нм}$	$M_2, \text{ Нм}$	$M_3, \text{ Нм}$	$T_1, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$
1	760	5 спуск	0,230	- 60	- 30	+ 20	1,3	1,2
2	520	4,7 спуск	0,182	- 35	0	+ 35	1,6	1,6
3	760	3,8 подъем	0,230	+ 45	+ 30	- 10	3,0	1,3

Основные результаты эксперимента можно сформулировать следующим образом:

1. В нормальном режиме спуска-подъема сосуда деформации кручения уравновешивающего каната носят квазистатический характер.
2. Деформации кручения отвеса каната не изменяются при движении сосуда, если вертлюг не вращается. В опытах наблюдалось отсутствие вращения вертлюга при изменении длины отвеса на 250-300 м при спуске и подъеме сосуда.
3. За цикл подъема сосуда с отметки -986 м до нулевого горизонта вертлюг сделал 106 оборотов в сторону раскручивания каната. При спуске сосуда до отметки -986 м - 106 оборотов в сторону закручивания каната цикл подъема сосуда с новым уравновешивающим канатом ГОСТ 7668-69 вертлюг сделал 74 оборота.
4. При переходных режимах движения (предохранительном торможении) в отвесе каната форма крутильных колебаний такова, что деформации верхнего сечения каната у вертлюга и нижнего сечения каната у петли приблизительно одинаковые по величине и противоположные по направлению, а в среднем сечении отвеса колебания отсутствуют (в середине отвеса узел колебаний).
5. Продольные колебания каната вместе с подъемным сосудом после торможения подъемной машины не оказывают существенного влияния на деформации кручения уравновешивающего каната.
6. Рассеивание энергии крутильных колебаний уравновешивающего каната значительное. Коэффициент вязкого трения при исследовании динамики каната может быть принят равным $0,5 e^{+I}$, что на два порядка больше соответствующего значения для подъемного каната.
7. В процессе эксплуатации круглого уравновешивающего каната его жесткость на кручение увеличивается по сравнению с новым канатом вследствие вытяжки каната.

BADANIA DOŚWIADCZALNE DEFORMACJI SKRĘCENIA LIN WYRÓWNAWCZYCH
OKRĄGLYCH W KOPALNIA NYM URZĄDZENIU WYCIĄGOWYM

S t r e s z c z e n i e

W referacie przedstawiono rezultaty badań doświadczalnych deformacji skręcenia lin wyrównawczych okrągłych, w których wykorzystano czujniki i rejestratory prądowe konstrukcji autora. W czasie pomiarów rejestrowano prędkości ruchu naczyń wyciągowego, kąt skrętu ruchomej części zaczepu obrotowego urządzenia oraz deformację skręcenia w osi liny; w trzech przekrojach odległych od siebie o 250 m. Rejestracji wymienionych wielkości dokonywano w warunkach normalnej pracy naczyń w szybie oraz w czasie hamowania przy ciągnięciu i opuszczaniu.

Przedstawiono uzyskane oscylogramy i wyniki wartości deformacji skręcenia liny oraz postacie drgań skrętnych.

INVESTIGATIONS OF DEFORMATIONS OF STRANDS IN BALANCE ROPES
IN HOISTING MACHINES

S u m m a r y

The paper presents results of experimental investigations of deformations of strands in balance round ropes. Sensors and recorders constructed by the author were used in experiments. The velocity of hoisting vessel, angle of the strand of movable part of the catch of rotational device, and deformation of strand in the axis of a rope in three sections (the distance from catch section being 250 m) was registered during the measurements. All the measurements were done under normal work conditions of the hoisting vessel in a shaft and during braking while raising and lowering.

The obtained oscillogram and values of deformations of strands of ropes and forms of strand vibrations are presented.