

УДК 622.673.1

Ильин С.Р., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

Кириченко В.Е., канд. техн. наук, доцент,

Ильина И.С. канд. техн. наук, доцент
(ГВУЗ «Национальный горный университет»)

ГРАДУИРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НАТЯЖЕНИЙ КАНАТОВ ШАХТНЫХ МНОГОКАНАТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Ільїн С.Р., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

Кириченко В.Є., канд. техн. наук, доцент,

Ільїна І.С. канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «Національний гірничий університет»)

ГРАДУЮВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНИТОРИНГУ НАТЯГУ КАНАТІВ ШАХТНИХ БАГАТОКАНАТНИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК

Ilyin S.R., Ph.D (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

Kirichenko V.Ye., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,

Ilyina I.S., Ph.D (Tech.), Associate Professor
(SHEI «National Mining University»)

CALIBRATION OF MEASURING CHANNEL AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING OF MINE LINE PULL MULTIPLE-LIFTING EQUIPMENT

Аннотация. В статье поставлена и решена задача обоснования метода градуировки измерительных каналов цифровой системы мониторинга натяжений канатов шахтной многоканатной подъемной установки. Разработана математическая модель и получены формулы для расчета градуировочных коэффициентов на основании данных тестовых измерений натяжений канатов в промышленных условиях с применением вспомогательного измерительного оборудования. Приведена методика выполнения тестовых измерений в условиях действующего подъема, основанная на проведении серии контрольных измерений при грузеных и порожних скипах. Показано, что использование градуировочных функций позволяет средствами программного обеспечения верхнего уровня аппаратно-программного комплекса мониторинга натяжений канатов выполнять расчеты: отклонений натяжений канатов в отвесах от средних значений и сравнения их с допустимыми пределами согласно нормативной документации (25%, 15%), текущих отклонений длин канатов в навеске, величин необходимого укорочения канатов, текущих относительных отклонений радиусов желобов ведущего и отклоняющего шкивов от среднего значения и их сравнения с нормативными, величин необходимой подрезки футеровки желобов для минимизации отклонений натяжений и устранения пробуксовки канатов по ведущему и отклоняющему шкивам, текущего значения запаса по нескольжению для каждого каната по критерию Эйлера.

Указано, что для подъемной установки с двумя моноблочными шкивами эта функция может быть реализована при одновременных с измерениями натяжений канатов в отвесах измерениями начальных натяжений в канатах струны между шкивами и коротком отвесе при верхнем положении одного из подъемных сосудов и расчетом отклонений длин канатов от среднего значения в навеске.

Ключевые слова: шахтная многоканатная подъемная установка, натяжения канатов, отклонения длин канатов, многоканатный ведущий шкив, многоканатный отклоняющий шкив, система мониторинга натяжений канатов, градуировка.

Состояние вопроса. Современные шахтные многоканатные подъемные установки (ШПУ) за рубежом оснащены системами автоматического мониторинга натяжений канатов, которые непрерывно или периодически передают на компьютер механика подъема информацию о текущих нагрузках в канатах [1,2]. Эта информация используется для решения нескольких технологических задач эксплуатации подъемов разного уровня. Во-первых, такая информация позволяет оперативно контролировать вес загруженного в сосуд полезного ископаемого. В свою очередь, такая информация дает возможность вести автоматический коммерческий учет добычи за смену, сутки, неделю, месяц, год необходимый для работы экономической службы предприятия. Так же она позволяет обеспечивать безопасность работы подъема путем контроля случайной неполной выгрузки скипа в конце рабочего цикла и аварийной опасности начала следующего цикла с его перегрузкой (режим спуска груженого скипа на рабочей скорости или подъема перегруженного сверх допустимой нормы).

Во-вторых, измерение натяжений каждого каната в точках подвеса подъемного сосуда позволяет в режиме реального времени контролировать такой нормативный параметр как «относительные отклонения натяжений от среднего значения». Ограничения на данный параметр установлены правилами безопасности [3,4] для крайних точек ствола. При верхнем положении сосуда в стволе он не должен превышать 25%, при нижнем 15%. Следует отметить, что за рубежом, в странах Европы, он ограничен, соответственно, значениями 10% и 20%. Эти ограничения введены для того, чтобы исключить неупругую пробуксовку отдельных канатов по ведущему шкиву, вызванную тем, что при большой разнице в натяжениях канатов по обеим сторонам шкива возникает опасность нарушения условия Эйлера по нескольжению:

$$\exp(-\alpha_1 \cdot f_1) < \frac{Q_{cp}^{(1)} + \Delta Q_i^{(1)}(\varphi_1)}{Q_{cp}^{(2)} + \Delta Q_i^{(2)}(\varphi_1)} < \exp(\alpha_1 \cdot f_1), \quad (1)$$

где α_1 - угол обхвата шкива канатом, f_1 - коэффициент трения между канатом и футеровкой, $Q_{cp}^{(1)}$ - среднее натяжение канатов набегающей ветви, $Q_{cp}^{(2)}$ - среднее натяжение канатов сбегающей ветви, $\Delta Q_i^{(1)}(\varphi_1)$ - отклонение натяжения каната от среднего значения в набегающей ветви, $\Delta Q_i^{(2)}(\varphi_1)$ - отклонение натяжения каната от среднего значения в сбегающей ветви в функции угла поворота шкива φ_1 . Кроме того, снижение разбаланса натяжений канатов увеличивает срок их работы и снижает динамические нагрузки на армировку.

В настоящее время, подавляющее большинство отечественных многоканатных установок имеет моноблочные многоканатные отклоняющие шкивы. В таких системах подъема многоканатный отклоняющий шкив становится источником дополнительного разбаланса натяжений, который концентрируется на коротком отрезке канатов между шкивами и приводит к постоянному нарушению условий Эйлера и пробуксовке по отклоняющему и ведущему шкивам. Для таких систем градуировка измерительных каналов и построение калибровочных функций в системе программного обеспечения (ПО) верхнего уровня имеет свои особенности. Требования к точности, стабильности характеристик и объему расчетов технологических параметров по данным измерений выходных электрических сигналов с датчиков усилий в подвесных устройствах более широкие, чем в классических установках с отдельными отклоняющими шкивами.

Целью данной работы является обоснование методологии расчета градуировочных коэффициентов программно аппаратных комплексов мониторинга натяжений канатов и критериев точности их определения в промышленных условиях.

Изложение основного материала. Кинематическая схема подъемной установки приведена на рис. 1.

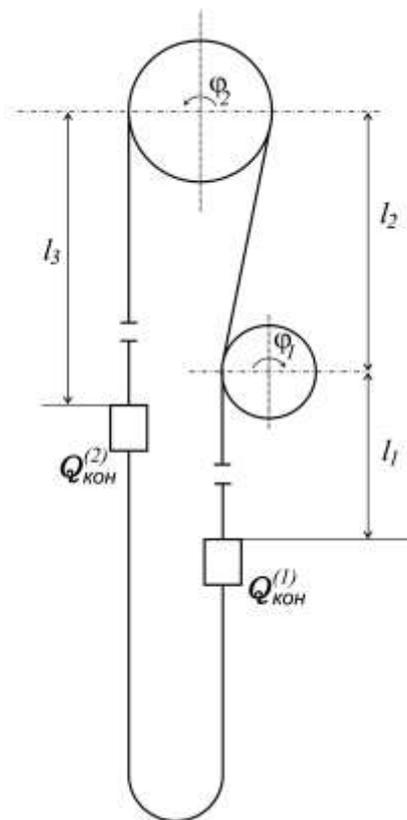


Рисунок 1 - Кинематическая схема уравновешенной подъемной установки

Участки l_1 , l_3 являются отвесами, участок между шкивами l_2 – струной канатов; $Q_{кон}^{(1)}$, $Q_{кон}^{(2)}$ - массы подъемных сосудов; φ_1 , φ_2 - углы вращения соответственно ведущего и отклоняющего шкивов.

1. Математическая модель для расчета параметров градуировочных функций системы измерения натяжений канатов

Программное обеспечение система анализа и обработки данных при мониторинге натяжений канатов принимает на вход сигналы в кодах аналого-цифрового преобразования (АЦП) с $2n$ тензометрических датчиков, установленных в подвесных устройствах на подъемных сосудах (n – число головных канатов установки). Для их математической обработки, проведения автоматических расчетов и выдачи сообщений о превышении параметрами натяжений канатов предельно допустимых значений необходимо определение соответствующих критериев, разработка методики и алгоритма градуировки каналов для адекватного перевода кодов АЦП в значения натяжений канатов в единицах усилия.

Рассмотрим задачу в следующей постановке: основываясь на паспортных характеристиках тензометрических датчиков и считая, что силопередающие системы подвесных устройств не вносят значительных искажений в процессе передачи усилия на чувствительные элементы датчиков и не изменяют свои параметры в процессе эксплуатации достаточно длительное время, будем считать, что зависимость между натяжением каждого каната и показаниями измерительной системы в кодах АЦП линейна, и для каждого отвеса описывается линейной градуировочной функцией вида

$$T_i = A_i \cdot K_i + B_i \quad (2)$$

где T_i – натяжения канатов, подлежащие определению, Н; K_i – известные значения кодов АЦП; A_i , B_i – коэффициенты градуировочной функции, подлежащие определению в условиях действующего подъема; $i=1, 2, 3, 4$ номера канатов (для 4-х канатной ШПУ).

Пусть пустой скип находится на некоторой отметке в стволе с известной координатой. То есть нам известен суммарный вес уравнивающих канатов, вес пустого скипа, а также значения кодов АЦП для каждого каната. На эту отметку скип пришел, имея в каждом канате неизвестные значения отклонений натяжений от средних значений и, соответственно, неизвестные истинные значения полных натяжений $T_{i,0}$, которые считаем начальными в последующей процедуре расчета.

На основании (2) получим следующую систему 4-х уравнений относительно 12-ти неизвестных: четырех усилий $T_{i,0}$ в каждом канате и восьми коэффициентов A_i , B_i :

$$\begin{aligned} T_{1,0} &= A_1 \cdot K_{1,0} + B_1; \\ T_{2,0} &= A_2 \cdot K_{2,0} + B_2; \\ T_{3,0} &= A_3 \cdot K_{3,0} + B_3; \\ T_{4,0} &= A_4 \cdot K_{4,0} + B_4. \end{aligned} \quad (3)$$

Предположим, что мы на этой отметке загрузили скип мерным грузом ΔQ . Пренебрегая влиянием перекоса скипа в проводниках в пределах кинематических зазоров на разбаланс натяжений канатов как малым, по сравнению вертикальным перемещением скипа на упругих канатах, будем считать, что добавочная нагрузка равномерно распределилась между канатами. То есть

$$\Delta Q_i = \frac{\Delta Q}{4},$$

где $\Delta Q_i = \Delta Q_j$ при $j \neq i$ - известные величины. При этом на всех измерительных каналах произошло приращение кодов АЦП на известные величины ΔK_i .

На основании (3) получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} T_{1,0} + \Delta Q_1 &= A_1 \cdot (K_{1,0} + \Delta K_1) + B_1; \\ T_{2,0} + \Delta Q_2 &= A_2 \cdot (K_{2,0} + \Delta K_2) + B_2; \\ T_{3,0} + \Delta Q_3 &= A_3 \cdot (K_{3,0} + \Delta K_3) + B_3; \\ T_{4,0} + \Delta Q_4 &= A_4 \cdot (K_{4,0} + \Delta K_4) + B_4; \end{aligned} \quad (4)$$

Так как неизвестных величин 12, то необходимо получить еще четыре уравнения, добавив дополнительный мерный груз в скип. Предположим, что это был такой же груз весом ΔQ . То есть, в каждом канате добавилось дополнительное известное натяжение ΔQ_i . Получим дополнительные уравнения.

$$\begin{aligned} T_{1,0} + 2\Delta Q_1 &= A_1 \cdot (K_{1,0} + 2\Delta K_1) + B_1; \\ T_{2,0} + 2\Delta Q_2 &= A_2 \cdot (K_{2,0} + 2\Delta K_2) + B_2; \\ T_{3,0} + 2\Delta Q_3 &= A_3 \cdot (K_{3,0} + 2\Delta K_3) + B_3; \\ T_{4,0} + 2\Delta Q_4 &= A_4 \cdot (K_{4,0} + 2\Delta K_4) + B_4. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, мы имеем систему из 12 уравнений и 12 неизвестных. Рассмотрим их в блоках по 3 уравнения, относящихся к одному канату в 3-х опытах.

Так как нашей целью является определение коэффициентов функции градуировки A_i , B_i , то в процессе решения неизвестные начальные натяжения канатов $T_{i,0}$ надо исключить из уравнений

$$\begin{aligned} T_{i,0} &= A_i \cdot K_{i,0} + B_i; \\ T_{i,0} + \Delta Q_i &= A_i \cdot (K_{i,0} + \Delta K_i) + B_i; \\ T_{i,0} + 2\Delta Q_i &= A_i \cdot (K_{i,0} + 2\Delta K_i) + B_i. \end{aligned} \quad (6)$$

Вычтем первое уравнение из второго.

$$\Delta Q_i = A_i \cdot \Delta K_i. \quad (7)$$

Отсюда найдем

$$A_i = \frac{\Delta Q_i}{\Delta K_i}. \quad (8)$$

Для нахождения коэффициентов B_i подставим значение $T_{i,0}$ из 1-го уравнения (6) в третье.

$$A_i \cdot K_{i,0} + B_i + 2\Delta Q_i = A_i \cdot K_{i,0} + A_i \cdot 2\Delta K_i + B_i \quad (9)$$

Видно, что в левой и правой частях уравнения неизвестные B_i сокращаются и остается тождество, совпадающее с (7) справедливое в силу линейности измерительных каналов.

$$2 \cdot \Delta Q_i = 2 \cdot A_i \cdot \Delta K_i. \quad (10)$$

Это является следствием того, что система уравнений (6) является линейно зависимой с вырожденной матрицей коэффициентов, в чем не трудно убедиться прямым вычислением. То есть найти коэффициенты B_i не имея данных о фактических начальных натяжениях каждого каната в промышленных условиях действующего подъема, не представляется возможным.

Для получения дополнительной информации о начальных натяжениях каждого каната в отвесе необходимо определить его каким-либо альтернативным методом, например, волновым или частотным. Пусть к началу градуировки нам известны значения натяжений каждого каната $T_{i,0}$ и соответствующие им коды АЦП $K_{i,0}$. Тогда, для нахождения 8-ми неизвестных A_i , B_i нам достаточно 8-ми уравнений (3), (5). Рассмотрим полученные на их основании первые два уравнения системы (6). Подставляя полученные из них соотношения (8) в первое уравнение (3) найдем

$$B_i = T_{i,0} - \Delta Q_i \cdot \frac{K_{i,0}}{\Delta K_i} \quad (11)$$

Таким образом, мы получили формулы (8) и (11) для определения всех коэффициентов градуировочных функций для каждого измерительного канала.

2. Алгоритм определения коэффициентов градуировочных функций системы измерения натяжений канатов

2.1. Для достоверного определения коэффициентов градуировочных функций надо получить с максимально возможной точностью значения начальных натяжений 4-х головных канатов в отвесе при фиксированном положении подъемных сосудов в стволе. Использование «ручного» варианта волнового метода требует установки скипа в нижней части ствола, чтобы максимально удлинить время возврата бегущей волны в достаточной для реакции человека мере при включении/выключении секундомера. В таком варианте в качестве мерного груза можно использовать полезный груз, вес которого предварительно определен альтернативной системой измерения в дозаторе.

В этом варианте алгоритм определения коэффициентов для каждого скипа имеет следующий вид:

1. Переместить порожний скип в дозатор.
2. Включить систему измерения натяжений канатов в режим записи.
3. Определить волновым методом натяжения каждого каната согласно [5] и зафиксировать коды АЦП для каждого измерительного канала системы измерения натяжений канатов, соответствующие значениям натяжений каната (времени пробега поперечной волны).
4. Загрузить скип мерной дозой груза.
5. В режиме записи зафиксировать новое значение кодов АЦП системы измерения натяжений канатов.
6. Снять показания кодов АЦП с контроллера системы измерения натяжений канатов и перевести их во внешний компьютер для расчетов.
7. Определить значения начальных кодов АЦП $K_{i,0}$ для каждого каната и их приращения ΔK_i под весом мерного груза. Подставить значения начальных натяжений канатов $T_{i,0}$, $K_{i,0}$, ΔK_i , ΔQ_i в формулы (8) и (11) и рассчитать коэффициенты A_i , B_i . Занести полученные значения коэффициентов в Базу данных программного обеспечения верхнего уровня для использования при последующей обработке и анализе процесса разбаланса натяжений в канатах при работе ШПУ.

Примечание: значения ΔQ_i можно так же определить путем повторного измерения натяжений каждого каната волновым методом после загрузки. В этом случае измерения величины дополнительного груза не требуется, однако в последствие его значение используется при периодическом тестировании работы измерительной системы после длительной эксплуатации в соответствии с указанными ниже критериями.

2.2. Пример расчета коэффициентов градуировочных функций:

В результате выполнения операций по п. 2.1 на действующей подъемной установке были получены данные по измерению времени пробега волны с применением ручного секундомера при нижнем положении каждого из скипов в дозаторе в порожнем и загруженном состоянии представленные в табл. 1.

Таблица 1. Время пробега поперечной волны в канатах, сек

№ каната	Скип Западный		Скип Восточный	
	порожний	груженный	порожний	груженный
1	9,8	8,0	9,8	8,1
2	9,2	8,0	9,6	8,0
3	9,8	8,1	9,9	8,1
4	9,4	8,0	9,9	8,1

Следует отметить, что при длине канатов в отвесе во время измерений натяжений волновым методом менее 500 м, а так же при измерении периодов колебаний канатов при верхнем положении подъемных сосудов или в струне между шкивами фиксация параметров колебаний с помощью ручного секундомера может дать значительную погрешность. В этом случае необходимо применять стандартный цифровой виброанализатор и выполнять измерения согласно [6].

Этим значениям времени пробега волны соответствовали следующие значения кодов аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микропроцессорной системы измерения натяжений канатов:

1) для западного порожнего скипа $Kz1=3414$; $Kz2=3520$; $Kz3=3151$; $Kz4=3665$;

2) для западного груженого скипа $Kzgr1=4976$; $Kzgr2=5110$; $Kzgr3=4303$; $Kzgr4=4871$;

3) для восточного порожнего скипа $Kv1=3332$; $Kv2=3768$; $Kv3=3882$; $Kv4=3314$;

4) для восточного груженого скипа $Kvgr1=5005$; $Kvgr2=5036$; $Kvgr3=4813$; $Kvgr4=5033$.

Для расчета натяжений канатов волновым методом воспользуемся формулой [10]

$$T(to) = q \cdot g \cdot \left(\frac{4 \cdot L^2}{g \cdot to^2} + \frac{g \cdot to^2}{64} - \frac{L}{2} \right) \quad (12)$$

где $q=95$ Н/м – вес одного метра головного каната; $g=9.81$ м/с² – ускорение свободно падения, $L=598$ м для восточного скипа, $L=588$ м для западного скипа.

Подставляя указанные значения to из табл. 1 в формулу (12), получим следующие значения натяжений канатов в коушах:

1) для западного порожнего скипа $T1=132,439$ кН; $T2=129,035$ кН; $T3=110,773$ кН; $T4=122,553$ кН;

2) для западного груженого скипа $T1gr=178,800$ кН; $T2=178,800$ кН; $T3=173,786$ кН; $T4=178,800$ кН;

3) для *восточного порожнего* скипа $T1=114,999$ кН; $T2=120,901$ кН; $T3=112,183$ кН; $T4=112,183$ кН;

4) для *восточного грузеного* скипа $T1gr=180,189$ кН; $T2=185,376$ кН; $T3=180,189$ кН; $T4=180,189$ кН.

Подставляя полученные значения натяжений канатов и кодов АЦП в формулы (8), (11) найдем значения коэффициентов градуировочных функций:

1) для *западного* скипа $Az1=29.681$; $Az2=31.681$; $Az3=54.699$; $Az4=46.64$;
 $Bz1=3.111 \times 10^4$; $Bz2=1.886 \times 10^4$; $Bz3=-6.158 \times 10^4$; $Bz4=-4.838 \times 10^4$;

2) для *восточного* скипа $Av1=38.966$; $Av2=50.848$; $Av3=73.046$; $Av4=39.561$;
 $Bv1=-1.483 \times 10^4$; $Bv2=-7.070 \times 10^4$; $Bv3=-1.714 \times 10^4$; $Bv4=-1.892 \times 10^4$.

Тот факт, что значения градуировочных коэффициентов для разных измерительных каналов отличаются достаточно существенно, хотя у первичных тензоизмерительных преобразователей, установленных в подвесных устройствах сосудов, они практически одинаковые, говорит о том, что механические нагрузочные звенья могут иметь некоторые отличия в своих узлах при изготовлении. Кроме того, в процессе эксплуатации из-за воздействия шахтной среды и просыпи полезного ископаемого параметры взаимодействия узлов могут меняться со временем. Поэтому окончательная градуировка измерительных каналов системы в целом должна производиться именно на действующей подъемной установке после завершения всех монтажно-наладочных работ и периодически повторяться по истечении промежутка времени, установленного опытным путем для конкретных условий эксплуатации.

2.3. Критерии определения погрешности расчета градуировочных коэффициентов системы измерения натяжений канатов

2.3.1. Измеряемые системой натяжения параметры являются исходными данными для расчета:

- отклонений натяжений канатов в отвесах от средних значений и сравнения их с допустимыми пределами согласно нормативной документации (25%, 15%);
- текущих отклонений длин канатов в навеске;
- величин необходимого укорочения канатов;
- текущих относительных отклонений радиусов желобов ведущего и отклоняющего шкивов от среднего значения;
- величин необходимой подрезки футеровки желобов для минимизации отклонений натяжений и устранения пробуксовки канатов по ведущему и отклоняющему шкивам;

- текущего значения запаса по нескольжению для каждого каната по критерию Эйлера (1). Для подъемной установки и двумя моноблочными шкивами эта функция может быть реализована на основании зависимостей, полученных в работе [7]. В таком случае, одновременно с натяжениями в отвесах, проводятся измерения начальных натяжений в канатах струны между шкивами и коротком отвесе при верхнем положении одного из подъемных сосудов и рассчитываются отклонения длин всех канатов от среднего значения в навеске.

Каждая из указанных функций имеет свои технологически обоснованные диапазоны допустимых погрешностей при практической реализации, поэтому

погрешность системы измерения натяжений канатов должна определяться исходя из степени ее влияния на их выполнение.

2.3.2. Критерии оценки погрешности расчета натяжений канатов

Критерием погрешности расчета натяжений канатов является отклонение интегральных параметров полученных данных от их эталонных значений, полученных альтернативными методами с известной точностью. К таким критериям относятся:

- равенство суммы натяжений канатов, выданных системой измерения натяжений канатов при пустом скипе в дозаторе сумме паспортных значений веса скипа, веса петли уравнивающих канатов, веса штатного оборудования, установленного на скипе (для каждого из скипов);

- равенство разности суммарных натяжений канатов, выданных системой измерения натяжений канатов при загруженном и пустом скипе в дозаторе, значениям веса загруженного в скип груза по данным системы весового дозирования (для каждого из скипов);

- равенство значений суммы натяжений канатов, выданных системой измерения натяжений канатов при пустом скипе на уровне разгрузки сумме паспортных значений веса скипа со штатным оборудованием и веса уравнивающих канатов (для каждого из скипов);

- равенство среднего значения натяжений канатов, выданных системой измерения натяжений канатов при *пустом* скипе в процессе подъема/спуска, расчетным значениям в точках по глубине ствола с учетом паспортных значений веса уравнивающих канатов, соответствующих значениям координаты скипа, выданным системой управления подъемной машиной (для каждого из скипов);

- равенство среднего значения натяжений канатов выданных системой измерения натяжений канатов при *груженом* скипе в процессе подъема/спуска, расчетным значениям по глубине ствола с учетом паспортных значений изменения веса уравнивающих канатов (для каждого из скипов).

Эти критерии дополняют, но не исключают друг друга.

Выводы.

1. Определение значений градуировочных коэффициентов измерительных каналов системы мониторинга натяжений канатов шахтной подъемной установки проводится на основании прямых измерений в промышленных условиях после монтажа и запуска в работу электронного оборудования, обеспечивающего запись в цифровой форме выходных электрических сигналов датчиков усилий, установленных в подвесных устройствах сосудов.

2. Расчет градуировочных коэффициентов проводится с использованием данных тестовых измерений натяжений канатов в отвесах с использованием метрологически сертифицированного дополнительного оборудования и апробированных методов расчета.

3. Для установок с двумя моноблочными шкивами реализация функции мониторинга запасов по нескольжению требует при градуировке измерения начальных натяжений в струне и коротком отвесе при верхнем положении со-

суда в стволе спеціальними технічними засобами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Манец, И.Г. Техническое обслуживание и ремонт шахтных стволов. Изд. 5. Т. 2. / И.Г. Манец, Б.А. Грядущий, В.В. Левит / Под общей редакцией С.А. Сторчака. – Донецк: «Світ книги», 2012. –457 с.
2. Tadeusz Wróbel, Sławomir Jurasz , Jerzy Świetlicki , Andrzej Bielecki, Daniel Honisz. Doświadczenia eksploatacyjne z wykonywania pomiarów obciążeń lin nośnych górniczych wyciągów szybowych wielolinowych oraz stosowania praktycznej metody ich wyrównywania. / III Międzynarodowa konferencja - Bezpieczeństwo Pracy Urzędzeń Transportowych w Górnictwie Organizowana przez Centrum Badań i Dozoru Górnictwa w Łędzinach (listopad 2007r.) – pp.1-9. Электронный ресурс: http://www.temix.com.pl/publikacje/publikacja_6_pl.pdf
3. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. / Утв. Госгортехнадзором СССР. 31.08.1971. - Изд. 2. дополненное. - М.: Недра, 1977. -223 с.
4. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. Затв. наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62. – Київ: Мінвуглепрому України, 2010 – 430 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України)
5. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок. - М.: «Недра», - 1982. -891 с.
6. Патент України на винахід №77996. / С.Р. Ільїн, В.В. Лопатін, Б.С. Послід. Спосіб контролю натягування канатів при багатоканатному підйомі та пристрій для його здійснення. ; заявник і патентотвласник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. 15.02.2007. Бюл. №2.
7. Ильин, С.Р. Особенности регулировки натяжений канатов многоканатных подъемных установок с моноблочными отклоняющими шкивами / С.Р.Ильин, И.С.Ильина // Геотехническая механика: меж вед. сб. научн. тр. – 2016. - Вып. 126. - с. 144-172. Режим доступа: <http://geotm.dp.ua>

REFERENCES

1. Manec, I.G., Grjadushchy, B.A. and Levit, V.V. (2012), *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont shakhtnykh stvolov. Izd. 5. T. 2.* [Technical service and repair of mine trunks. Publ. 5. T. 2], Svit knigi, Donetsk, UA.
2. Tadeusz Wróbel, Sławomir Jurasz , Jerzy Świetlicki , Andrzej Bielecki and Daniel Honisz (2007), Doświadczenia eksploatacyjne z wykonywania pomiarów obciążeń lin nośnych górniczych wyciągów szybowych wielolinowych oraz stosowania praktycznej metody ich wyrównywania. / III Międzynarodowa konferencja - Bezpieczeństwo Pracy Urzędzeń Transportowych w Górnictwie Organizowana przez Centrum Badań i Dozoru Górnictwa w Łędzinach (listopad 2007r.) –pp.1-9. Available at: http://www.temix.com.pl/publikacje/publikacja_6_pl.pdf
3. Gosgortekhnadzor SSSR (1971), *Yedinyie pravila bezopasnosti pri razrabotke rudnykh, nerudnykh i rossypanykh mestorozhdeniy podzemnym sposobom* [Uniform safety rules for mining of ore, non-ore and placer deposits by underground methods] (1977), Nedra, Moscow, SU.
4. State committee of Ukraine on industrial safety, labour protection and mountain supervision (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10. Pravyla bezpeky u vugilnikh shakhtakh* [NPAOP 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Kiev, Ukraine.
5. *Rukovodstvo po revizii, naladke i ispytaniyu shakhtnykh podyemnykh ustanovok* [Inspection Manual, commissioning and testing of mine hoisting installations] (1982), Nedra, Moscow, SU.
6. Ilyin, S.R., Lopatin, V.V. and Poslid, B.S. IGTM NAS of Ukraine (2007), *Sposib kontrolyu natyahu-vannya kanativ pry bahatokanatomu pidyomi ta prystriy dlya yoho zdiysnennya* [The method of controlling tension cables at multirope rise and device for its implementation], Dnepropetrovsk, UA, Pat. №77996.
7. Ilyin, S.R. and Ilyina, I.S. (2016), “Features adjusting tension ropes multirope lifting installations monobloc diverting pulleys”, *Geo-Technical Mechanics*, Vyp. 126, pp. 144-172. Available at: <http://geotm.dp.ua>

Об авторах

Ільїн Сергій Ростиславович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу горної термоаеродинаміки та автоматизованих систем, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С.Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ),

Днепропетровск, Украина, iljin_sr@mail.ru

Кириченко Владимир Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и компьютерных систем, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина.

Ильина Инна Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина.

About the authors

Ilyin Sergey Rostislavovsch, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher of the Department of Rock Thermoaerodynamics and Automated Systems, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine (NASU IGTM), Dnepropetrovsk, Ukraine, iljin_sr@mail.ru

Kirichenko Vladimir Yevgeniyevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Department of Automation and Computer Systems, State Higher Educational Institution "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnepr, Ukraine.

Ilyina Inna Sergeevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Department of Mining Mechanics, State Higher Educational Institution "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnepropetrovsk, Ukraine.

Анотація. У статті поставлена і вирішена задача обґрунтування методу градуювання вимірювальних каналів цифрової системи моніторингу натягу канатів шахтної багатоканатною підйомної установки. Розроблена математична модель і отримані формули для розрахунку градуювальних коефіцієнтів на підставі даних тестових вимірювань натягу канатів в промислових умовах із застосуванням допоміжного вимірювального обладнання. Наведено методику виконання тестових вимірювань в умовах чинного підйому, заснована на проведенні серії контрольних вимірювань при навантажених і порожніх скіпах. Показано, що використання градуювальних функцій дозволяє засобами програмного забезпечення верхнього рівня апаратно-програмного комплексу моніторингу натягу канатів виконувати розрахунки: відхилень натягу канатів в схилах від середніх значень і порівняння їх з допустимими межами згідно з нормативною документацією (25%, 15%), поточних відхилень довжин канатів в навішуванні, величин необхідного укорочення канатів, поточних відносних відхилень радіусів жолобів ведучого і відхилюючого шківів від середнього значення і їх порівняння з нормативними, величин необхідного підрізування футерування жолобів для мінімізації відхилень натягів і усунення пробуксовки канатів по ведучому і відхилюючому шківів, поточного значення запасу по нековзанню для кожного каната за критерієм Ейлера. Зазначено, що для підйомної установки і двома моноблоковими шківями ця функція може бути реалізована при одночасних з вимірами натягу канатів у схилах, вимірами початкових натягів в канатах струни між шківями і короткому схилі при верхньому положенні однієї з підйомних посудин і розрахунком відхилень довжин канатів від середнього значення в навішуванні.

Ключові слова: шахтна багатоканатна підйомна установка, натяг канатів, відхилення довжин канатів, багатоканатний провідний шків, багатоканатний відхилюючий шків, система моніторингу натягу канатів, градуювання

Abstract. In the article is set and decided the problem of ground method of calibrating measuring channels of the digital system monitoring of ropes pulls of the mine multirope lifting setting. A mathematical model is developed and formulas for the calculation of calibration coefficients on the basis of information of the test measurings pulls of ropes in industrial terms with the use of auxiliary measuring equipment are got. The method of implementation of the test measurings in the conditions of the active winding, based on conducting series of the control measurings at loaded and empty skips, is resulted. It is shown that the use of calibration functions allows by facilities of top level software of vehicle-programmatic complex of monitoring pulls of ropes to execute calculations: rejections of pulls of ropes in plumbs from the mean values and comparison of them with possible limits in obedience to a normative document (25%, 15%), current rejections lengths of

ropes in the hinge-plate, sizes of the necessary shortening of ropes, current relative deviations of radiuses chamfers of leading and declining pulleys from the mean value and their comparison with normative, sizes of the necessary paring of fettling chamfers for minimization rejections of pulls and removal of slippage of ropes on leading and declining pulleys, current value of supply on unsliding for every rope on the criterion of Euler.

It is indicated, that for the lifting setting with two monosectional pulleys this function can be realized at simultaneous with measurings of pulls of ropes in plumbs by measurings of initial pulls in the ropes of string between pulleys and short plumb at top position of one of lifting vessels and calculation rejections lengths of ropes from the mean value in the hinge-plate.

Keywords: mine multirope lifting setting, pulls of ropes, rejections lengths of ropes, multirope leading pulley, multirope declining pulley, system of monitoring pulls of ropes, calibrating

Статья поступила в редакцию 20.06. 2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским