

*Завгородний В.И.,
научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ»
Россия, г. Кемерово*

**МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ
МНОГОСЛОЙНОЙ НАВИВКИ КАНАТОВ ПОДЪЁМНЫХ МАШИН
ЧАСТЬ 1.
ПОДГОТОВКА И АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

***Аннотация:** Применение многослойной навивки в настоящее время существенно ограничено из-за хаотичной укладки каната на барабан ПМ, что создает повышенную опасность при эксплуатации этих устройств.*

В данной работе показана практическая реализация способа и устройства заявленного в патенте № 2205148, которое обеспечивает возможность создания в переходных зонах у реборд благоприятных условий укладки канатас равномерным распределением в слоях навивки.

Разработана методика подготовки и анализа исходных данных для проектирования, включающая оценку имеющейся схемы нарезной части барабана и проектной схемы новой укладки каната на барабан ПМ. Рассмотрен анализ волновых переходов витков каната по слоям навивки и кинематики укладки каната на барабан по новой проектной схеме.

Новая схема укладки каната позволяет применение практически неограниченного количества слоев навивки каната на барабан ПМ с равномерной укладкой в слоях.

***Ключевые слова:** Подъёмная машина, барабан, канат, переход каната, волна переходов, схема укладки.*

Annotation: *The use multi-layer winding is currently limited due to the chaotic arrangement of the rope on the LM drum, which creates increased danger during the operation of these devices.*

The work shows the practical implementation of the device described in patent № 2205148, which provides the ability to create condition for laying a rope with uniform distribution in the layers of winding in the transition zones near the flanges. A methodology for preparing and analyzing initial data for design has been developed, evaluation of the drums rifled section diagram and a design scheme laying the rope on the drum. An analysis of the wave transitions of the rope across the winding layers was carried out and the kinematics of laying the rope on the drum according to the design scheme.

The new rope stacking scheme allows for an unlimited number of rope layers on the LM drum, with uniform rope stacking in each layer.

Key words: *Lifting machine, drum, rope, rope crossing, wave of transitions, laying scheme.*

1. Введение.

Применение многослойной навивки каната на барабан подъемной машины (ПМ) обусловлено необходимостью расширения технологических возможностей данных машин. В связи с этим возникает необходимость повышения безопасности и надежности подъемной машины с многослойной навивкой каната на барабан за счет исключения деформации прядей витков каната в зонах перехода с одного слоя на другой и упорядочения укладки витков каната слоях навивки.

Устройство, заявленное в патенте № 2205148 [1], обеспечивает возможность создания в переходных зонах у реборд благоприятных условий укладки витков каната с равномерным распределением в слое навивки. Практическая реализация устройства требует расчета конструктивных

параметров элементов ступенчатых реборд, клиньев подъёма и компенсирующих вкладышей для переходных витков каната.

Для решения этой задачи необходимо учитывать элементы кинематики многослойной навивки, связанные с особенностью укладки витков каната в переходных зонах и по слоям навивки каната на барабан.

Анализ кинематики укладки витков каната в переходных зонах и по слоям навивки на барабан является важной составной частью расчета параметров элементов устройства многослойной навивки каната. В качестве объекта рассматривается барабан для многослойной навивки каната, имеющий цилиндрическую поверхность с профильной винтовой канавкой и ребордами, которые выполнены с цилиндрическими кольцевыми ступенями, а в переходных зонах размещены клинья подъёма витков каната и установлены вкладыши для компенсации «провалов» в зазорах между витками и ребордами барабана.

2. Основные определения и условные обозначения.

Основные определения:

- принятое обозначение реборд «правая и «левая» определено относительно рабочего места машиниста ПМ;
- принятое направление навивки каната в первом слое - от правой реборды к левой;
- направление вращения барабана принимается встречным относительно рабочего места машиниста ПМ;
- принятая нулевая ось угловых координат точек на поверхности барабана совпадают с точкой выхода из обечайки начала первого витка навивки каната параллельна оси вращения барабана;
- нулевое сечение – сечение барабана, проходящее через нулевую ось угловых координат и ось вращения барабана;

- принятая система координат определяет положение поперечного сечения навиваемого каната на поверхности барабана углом сдвига относительно нулевой оси барабана и номером витка в слое навивки каната;
- переходный виток слоя формируется в переходной зоне у реборды в каждом слое навивки для перехода каната на вышележащий слой и является полным витком с пробегом на 360° по верхнему слою барабана;
- крестовые переходы – переходы витков каната верхнего слоя через витки нижнего возникающие в связи с противоположным направлением перемещения каната при навивке верхнего слоя относительно нижнего;
- волна крестовых переходов – совокупность следующих друг за другом крестовых переходов смежных витков навиваемого слоя каната;
- укладка витков каната второго и последующих слоев навивки сопровождается закономерностью заключающуюся в том, что за один оборот барабана каждый виток каната совершает два крестовых перехода через смежные витки нижнего слоя. Таким образом, формируются две волны крестовых переходов витков, которые перемещаются по поверхности барабана с одним угловым шагом сдвига [2].

Условные обозначения.

ПМ – подъёмная машина;

α_b , град – угловая координата положения точки касания поперечного сечения каната на поверхности барабана относительно нулевой оси барабана;

φ_b , град – шаг углового сдвига крестовых переходов витков каната на один виток навивки, определяется угловым смещением начал крестовых переходов смежных витков навивки;

$\gamma_b(n)$, град – угловой пробег волны крестовых переходов от крестового перехода первого до крестового перехода последнего витка навиваемого слоя, где $n = 2, 3, \dots$ - слой навивки каната;

s_n , мм – шаг нарезки винтовой канавки на рабочей поверхности барабана, определяет сдвиг витка каната за один оборот барабана;

w_1 , w_2 – первая и вторая волна крестовых переходов;
 $bw_1(n)$, $bw_2(n)$, град – угловые координаты начала волн крестовых переходов w_1 и w_2 , где $n = 2, 3 \dots$ - слой навивки каната;
 k_n – коэффициент перекрытия витков каната, определяет плотность укладки каната по слоям;
 h_k , b_k , r_k , мм – глубина, ширина и радиус винтовой канавки на обечайке барабана;
 d_k , мм – диаметр каната навиваемого на барабан ПМ;
 D_b , мм – диаметр барабана ПМ;
 L_o , мм – расстояние от оси барабана до оси направляющего шкива каната перед спуском сосуда и ствол шахты;
 L_b , мм – расстояние между ребрами барабана для навивки первого слоя каната;
 $h_{оп}$, мм – опорный уровень витков каната второго слоя навивки;
 k_s , мм/град -величина уклона винтовой канавки на барабане;
 Δl_l , Δl_r , мм – неиспользуемые части длины барабана в зоне левой и правой реборды при навивки первого слоя каната;
 c_p , шт -расчетное количество полных витков каната в первом слое навивки на барабан по действующей схеме укладки;
 $c_s(n)$, шт -количество витков каната в слое навивки, где $n = 1, 2, 3 \dots$ -слой навивки каната по проектной схеме укладки;
 h_l , h_r , (b_l , b_r) , мм – глубина (ширина) посадочных проточек под левую и правую реборды на обечайке барабана ПМ;
 $L_k(n)$, м – длина каната в слое навивки на барабане, где $n = 1, 2, 3 \dots$ -слой навивки каната;
 L_{max} , м – наибольшая длина пути спуска груза по стволу;
 L_{kb} , м – расчетная канатная ёмкость барабана;
 q_s , шт – количество слоёв навивки каната на барабан ПМ;

Δq_s , шт – запас слоёв навивки каната согласно требованиям правил безопасности;

Δd , мм – расстояние между вертикальными осями поперечных сечений смежных витков каната нижнего и верхнего слоёв навивки;

β_{1-2} , - угол сдвига начала волн w_1 и w_2 ;

$l_c(n)$, м – длина полного витка каната в слое навивки, где $n = 1, 2, 3, \dots$ - номер слоя;

3. Общие положения и требования к конструкции.

3.1 Методика проектирования устройств многослойной навивки каната распространяется на ПМ имеющие барабаны со съёмными ребордами (типа Ц 1,6х1,2) и с ребордами, выполненными сварными с элементами барабана (типа Ц 2.5х2,5).

В первом случае – изготавливаются реборды новой конструкции и устанавливаются на имеющиеся посадочные места барабана ПМ, во втором – изготавливаются кольцевые накладки новой конструкции и монтируются на имеющиеся реборды.

3.2 Крепление реборд и кольцевых накладок новой конструкции выполняется с помощью болтовых соединений, крепление клиньев подъёма и компенсирующих вкладышей устанавливаемых на элементах реборд и обечайке барабана выполняется с применением сварки.

3.3 В методике рассматривается проектирование и расчет параметров устройства многослойной навивки каната на барабан ПМ, конструктивно выполненного в соответствии с патентом № 2205148.

Барабан должен иметь цилиндрическую рабочую поверхность с профильной винтовой канавкой и реборды, которые выполнены с кольцевыми ступенями, клиньями подъёма витков каната и компенсирующими вкладышами в местах провала витков в переходных зонах навивки каната на барабан ПМ.

Провалы витков каната возникают в связи с особенностью укладки последних витков слоя навивки каната и их переходом на вышележащий слой навивки.

3.4 Для плавного подъёма витков каната в переходных зонах у реборд барабана ПМ и равномерной укладки витков каната начала следующего слоя навивки необходимо обеспечить девиацию струны каната в интервале $30' - 1^\circ$, а скорость навивки каната – $0,5 - 1,0$ м/с.

3.5 Для оптимального варианта схемы укладки каната по слоям навивки на барабане ПМ рекомендуется применять нарезку профильной канавки на обечайке барабана с шагом $s_n = 1,2 \cdot d_k$ и глубину нарезки $h_k = 0,3 \cdot d_k$.

4. Сбор и анализ данных для расчета параметров устройства.

4.1 Исходные данные действующего подъёма.

При обследовании действующих ПМ с многослойной навивкой каната на барабан необходимо уточнить следующие исходные данные:

- тип ПМ;
- диаметр применяемого каната;
- шаг и глубина нарезки винтовой канавки на барабане;
- расстояние между ребордами барабана;
- количество слоев навивки каната на барабан;
- расстояние от оси барабана до оси направляющего шкива на спуске сосуда в ствол шахты;
- размеры проточек посадочных мест под реборды барабана;

4.2 Анализ волновых переходов витков каната.

Навивка каната второго слоя выполняется в направлении противоположном навивки первого слоя. Начало второго слоя формируется переходным витком перевода каната с первого на второй слой навивки. Под действием усилия натяжения каната и угла девиации каната при его нахождении в переходной зоне левой реборды барабана возникает осевая

составляющая усилия, направленная вдоль оси барабана от левой реборды к правой. Эта силовая составляющая формирует начало укладки витков второго слоя каната с крестовыми переходами через витки первого слоя в направлении противоположном навивки первого слоя.

Каждый виток каната второго слоя, начиная с переходного витка, совершает за один оборот барабана ПМ два крестовых перехода через витки первого слоя. В результате этого возникают две волны крестовых переходов смежных витков второго слоя навивки, которые движутся от левой реборды к правой в направлении противоположном навивки первого слоя каната.

Анализ волновых переходов витков каната второго слоя навивки позволяет определить координаты точек начала формирования первой и второй волны крестовых переходов витков каната и точек выхода концов этих волн к правой реборде. Зная эти координаты, можно определить углы пробега волн по поверхности барабана (γ_b) и углы сдвига этих волн на один виток навивки каната $\phi_b = \gamma_b / c_s(n)$. Эти данные необходимы в дальнейших расчетах переходных зон по слоям навивки, графического анализа и расчета элементов клиньев подъёма и компенсирующих вкладышей в этих зонах.

С целью получения исходных данных для анализа необходимо выполнить полную навивку первого и второго слоя каната на барабан ПМ. Навивку каната выполнять со скоростью 1-2 м/с, снижая в переходных зонах у реборд до 0,5 м/с. Вовремя навивки фиксировать координаты начала и конца первой и второй волн крестовых переходов. Для удобства анализа рекомендуется использовать схему приведенную на рис 1.

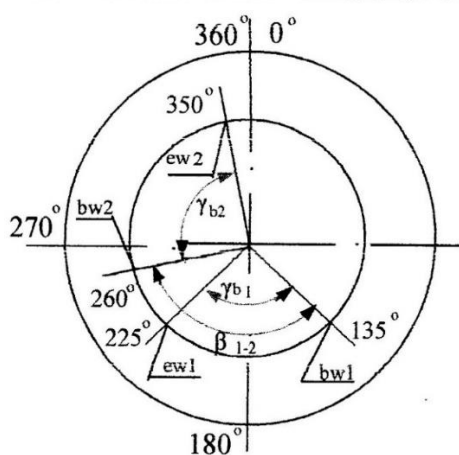


Рис.1

Используя схему, можно определить угол сдвига начала волн $bw1(2)$, $bw2(2) - \beta_{1-2}$, углы пробега волн γ_{b1} , γ_{b2} , шаг сдвига волны крестовых переходов витков $\phi_b = \gamma_b / c_s$.

Полученный расчетный угловой шаг ϕ_b для исключения грубых ошибок, необходимо уточнить по графику зависимости $\phi_b = f(k)$ представленному на Рис 2.

4.3 Анализ исходной нарезной части барабана ПМ принятой для проведения модернизации.

Графический анализ имеющейся конструкции барабана позволяет дать оценку элементам его конструкции и учесть их фактические размеры при выборе новой схемы укладки каната в первом слое навивки и расчете размеров элементов новых реборд барабана.

Схема варианта имеющейся конструкции барабана со съёмными ребордами выполненная в нулевом сечении представлена на Рис 3.

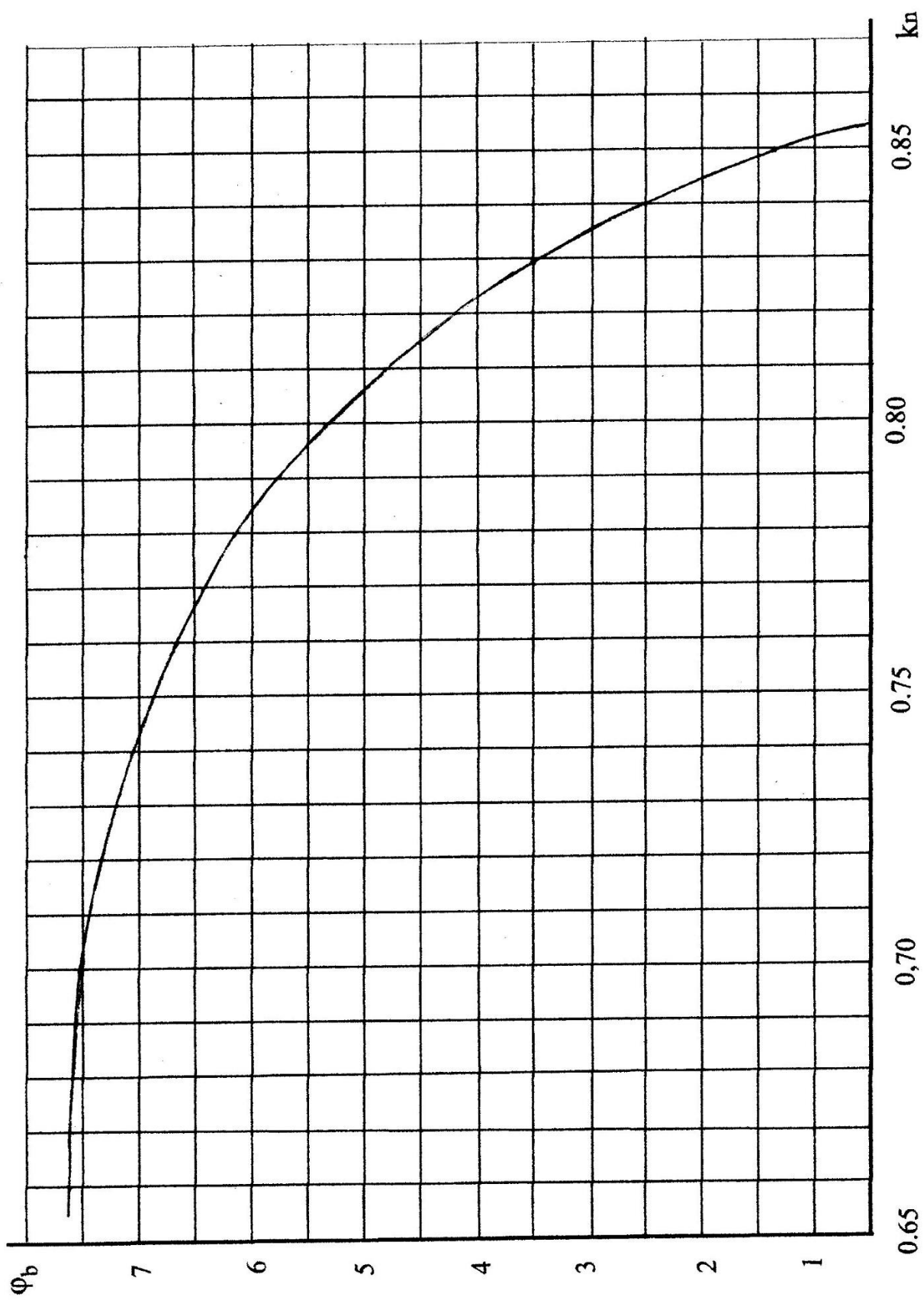


Рис.2 График изменения шага сдвига волны крестовых переходов ϕ_b в зависимости от k_n

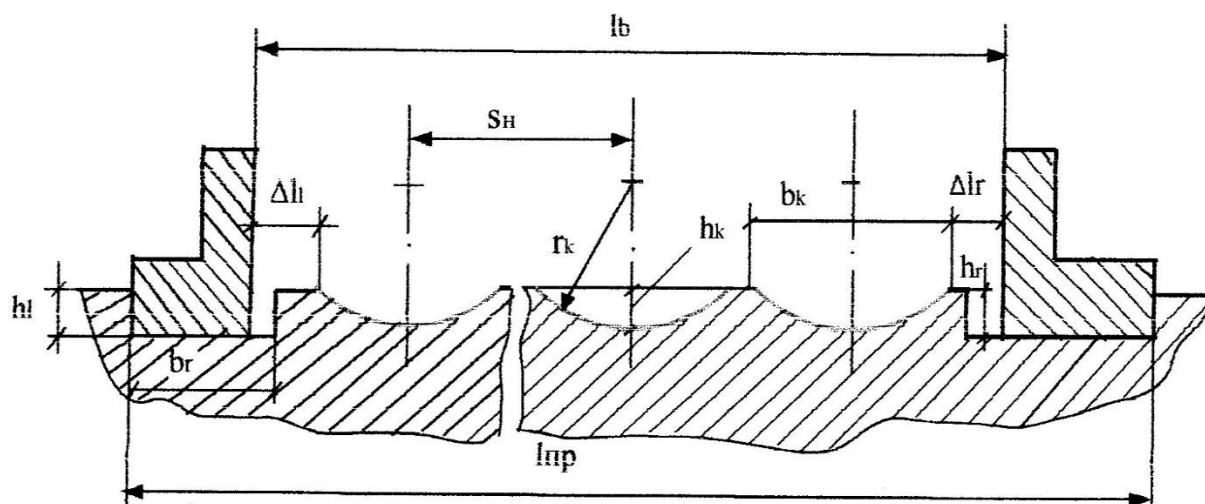


Рис.3

4.3.1 Расчет радиуса нарезки винтовой канавки.

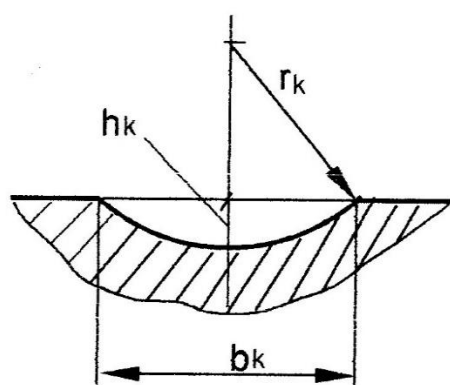


Рис.4

Радиус нарезки винтовой канавки r_k требуется определить для графического построения схемы укладки витков каната.

Исходные данные для расчёта: h_k , b_k

Расчёт: $r_k = (h_k^2 + b_k^2 / 4) / (2 h_k)$, мм

4.3.2 Расчет опорного уровня второго слоя навивки каната.

Расчет опорного уровня требуется для определения параметров ступеней реборд новой конструкции.

Исходные данные для расчета: s_n , d_k

Расчет: $h_{оп} = k_n \cdot d_k$, мм, где $k_n = \sqrt{1 - [s_n / (2 \cdot d_k)]^2}$

4.3.3 Расчет величины уклона винтовой канавки обечайки.

Используется для построения схем укладки по слоям навивки.

Расчет: $k_s = s_n / 360^\circ$, мм/град

4.3.4 Расчет количества витков каната в первом слое навивки.

Расчет ведется по схеме нарезной части барабана рис.3.

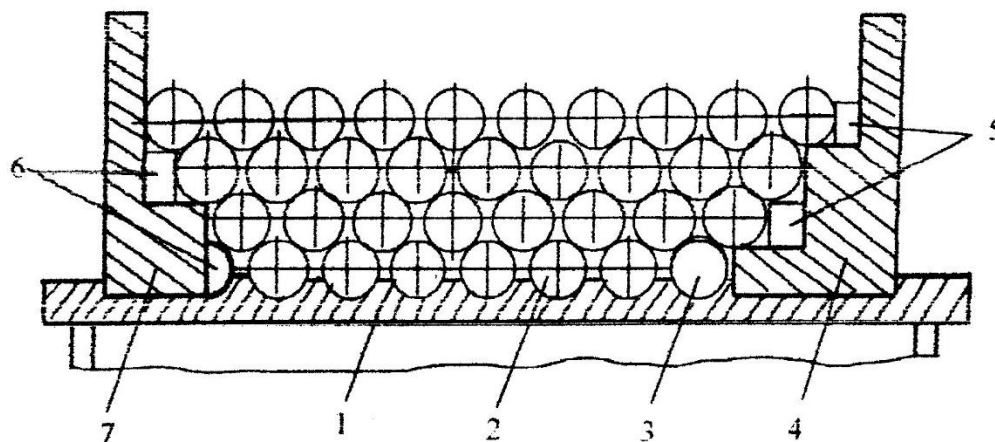
Исходные данные для расчета: $l_b, s_n, d_k, \Delta l_l, \Delta l_r$

Расчетная формула: $c_p = \{ [l_b - (\Delta l_l + \Delta l_r)] / s_n \} - 1$, шт

Для дальнейших расчетов по новой схеме укладки витков каната в первом слое навивки полученное значение c_p округляем до целого числа.

4.4 Проектная схема новой укладки каната на барабан ПМ.

Схема укладки принимается в соответствие с устройством заявленном в патенте № 2205148. Схема рис.5 обеспечивает создание благоприятных условий укладки каната у реборд и в слоях навивки.



1-обечайка барабана; 2-канат; 3-компенсирующий вкладыш; 4-правая реборда;
5-клинья подъема правой реборды; 6-клинья подъема левой реборды; 7-левая реборда.

Рис.5 Проектная схема укладки каната.

4.4.1 Расчет количества витков каната в слоях навивки по принятой схеме укладки.

За базу для расчетов принимается количество витков в первом слое навивки c_p исходной схемы укладки каната на барабан ПМ.

Расчет количества витков по слоям навивки для новой схемы укладки проводится по следующим зависимостям:

$$c_s(1) = c_p + 0,5 ; c_s(2) = c_s(1) + 1,0 ; c_s(3) = c_s(2) + 0,5 ; \text{ и так далее.}$$

Необходимо учитывать, что в нечетных слоях навивки идет увеличение количества витков на 0,5, а в четных слоях на 1,0 относительно нижнего смежного слоя. Это связано с особенностью выбранной схемы укладки.

4.4.2 Определение базового расстояния между ребордами.

Базовое расстояние между ребордами – это расстояние между боковыми поверхностями ступеней реборд, формирующими первый слой навивки каната на барабан. Базовое расстояние определяет взаимное расположение реборд на барабане и используется при монтаже их на ПМ.

Расчет ведется по формуле: $l_b = (c_s(1) + 1) \cdot s_n$, мм

4.4.3 Канатная ёмкость барабана и количество слоёв навивки каната по принятой схеме укладки.

Канатная ёмкость барабана L_{kb} должна соответствовать технологическому проекту подъёма и обеспечивать спуск-подъём груза на максимальное расстояние по проекту.

Должно выполняться условие: $L_{\max} \leq L_{kb} = \sum L_k(n)$, где $n = 1, 2, 3, \dots$ – слой навивки каната.

Расчёт длины каната по слоям навивки:

$$L_k(1) = c_s(1) \cdot l_c(1), \text{ м}$$

$$L_k(2) = c_s(2) \cdot l_c(2), \text{ м}$$

.....

$$L_k(n) = c_s(n) \cdot l_c(n), \text{ м}$$

Длина витка каната в слое навивки рассчитывается по формуле:

$$l_c(n) = \pi \cdot [(D_b - 2 \cdot h_k + d_k) + 2 \cdot (n-1) \cdot h_{оп}], \text{ м}$$

Общая длина каната для (n) слоёв навивки:

$$\sum L_k(n) = L_k(1) + L_k(2) + \dots + L_k(n), \text{ м}$$

4.5 Анализ кинематики укладки каната на барабан ПМ по проектной схеме.

Анализ выполняется с применением графических схем укладки витков каната по слоям навивки в переходных зонах правой и левой реборд барабана ПМ. Пример построения графических схем приведен в приложение 1. Рекомендуется использовать масштаб построения 1,5:1.

Направление навивки каната принимается от правой реборды к левой для нечетных слоёв навивки и от левой реборды к правой для четных слоёв навивки каната. В процессе анализа определяются углы пробега волн крестовых переходов по поверхности барабана, координаты начала $bw1(n)$, $bw2(n)$ и концов $ew1(n)$, $ew2(n)$ этих волн в переходных зонах реборд барабана. Исходными данными для расчетов являются – $c_s(n)$ по слоям навивки и φ_b волн крестовых переходов витков

Анализ выполняется со второго слоя навивки каната.

4.5.1 Второй слой навивки каната.

Пробег волн крестовых переходов определяется из выражения:

$$\gamma_b(2) = \varphi_b \cdot c_s(2), \text{ град.}$$

Координаты начала волн $bw1(2)$, $bw2(2)$ определяются с использованием графического анализа укладки витков каната в переходных зонах у реборд. Для этого используется метод целевых сечений переходных зон в координатных точках, представляющих важную информацию для оценки начала формирования этих волн (приложение 1). Важно знать, что начала волн крестовых переходов $bw1(2)$, $bw2(2)$ формируются после подъёма каната на второй слой первым витком второго слоя путём крестовых переходов через нижележащие витки первого слоя каната.

При графическом анализе для определения координат $bw1(2)$, $bw2(2)$ необходимо использовать критерий устойчивости положения первого витка

второго слоя от сброса в крестовый переход. Таким критерием является межсоевое расстояние витка второго слоя по отношению к смежному витку первого слоя навивки Δd . Допустимое значение для обеспечения устойчивого положения витков при рекомендуемом угле девиации каната $\alpha = 30' \dots 1^\circ$ принимается равным $\Delta d \geq 5$ мм по результатам практических исследований для канатов $\varnothing = 20 \dots 30$ мм.

Координаты концов волн $ew1(2)$, $ew2(2)$ определяются из выражений:

$$ew1(2) = bw1(2) + \gamma_b(2), \text{ град};$$

$$ew2(2) = bw2(2) + \gamma_b(2), \text{ град}.$$

4.5.2 Третий и последующие слои навивки.

Проведенными исследованиями установлено, что навивка третьего слоя также сопровождается формированием двух волн крестовых переходов витков, которые соответствуют по шагу сдвига и углу пробега волнам крестовых переходов второго слоя навивки, причем волны третьего слоя накладываются на соответствующие волны второго слоя и перемещаются встречно относительно их движения.

Аналогичная картина формирования двух волн крестовых переходов и укладки наблюдается и для последующих слоёв навивки каната.

Для расчетов необходимо учитывать, что волны крестовых переходов витков четных слоёв, начиная со второго, перемещаются от левой реборды к правой, нечётных слоёв, начиная с третьего слоя, перемещаются от правой реборды к левой. Движение волн крестовых переходов витков вышележащего слоя идет встречно волнам нижнего слоя.

Шаг углового сдвига волн крестовых переходов витков φ_b для всех слоёв навивки равен шагу рассчитанному для волн второго слоя, углы пробега волн крестовых переходов $\gamma_b(n)$, будут меняться в зависимости от количества витков каната в слое навивки.

Углы пробега волн крестовых переходов определяются по формуле:

$$\gamma_b(n) = \varphi_b \cdot c_s(n), \text{ град, где } n = 3, 4, 5 \dots$$

Координаты начала волн определяются по формулам:

$$bw1(n) = ew2(n-1), \text{ град;}$$

$$bw2(n) = ew1(n-1), \text{ град;}$$

Координаты концов волн определяются по формулам:

$$ew1(n) = bw2(n-1) \pm \Delta\gamma(n), \text{ град;}$$

$$ew2(n) = bw1(n-1) \pm \Delta\gamma(n), \text{ град;}$$

$$\text{где } \Delta\gamma(n) = \gamma_b(n) - \gamma_b(n-1), \text{ град}$$

знак (-) – применяется для нечетных слоёв навивки $n = 3, 5 \dots$

знак (+) - применяется для четных слоёв навивки $n = 4, 6 \dots$, это связано со встречным движением волн крестовых переходов в смежных слоях навивки.

Библиографический список:

1. Пат. 2205148 Российская Федерация В66D1/30. Способ многослойной навивки каната на барабан и устройство для его осуществления/ Завгородний В. И.; заявитель и патентообладатель Завгородний В. И.- 99124849/28; опубл. 7.05. 2003г.

2. Завгородний В. И. Расчет параметров устройства для многослойной навивки каната на барабан подъёмной машины. // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. - №1. – с.63-67.