

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РУДНИЧНА ПОДЕМНА УРЕДБА С МНОГОСЛОЙНО НАВИВАНЕ НА ПОДЕМНОТО ВЪЖЕ

Илия Йочев

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България

РЕЗЮМЕ

В доклада са показани предимствата и недостатъците на рудничните подемни уредби с многослойно навиване на подемното въже при използване на пръстеновидни и спираловидни канали на цилиндричен барабан. Определени са основни параметри на подемната машина и условията за възникване на резонанс на подемното въже при многослойното му навиване по схемата с пръстеновидни канали.

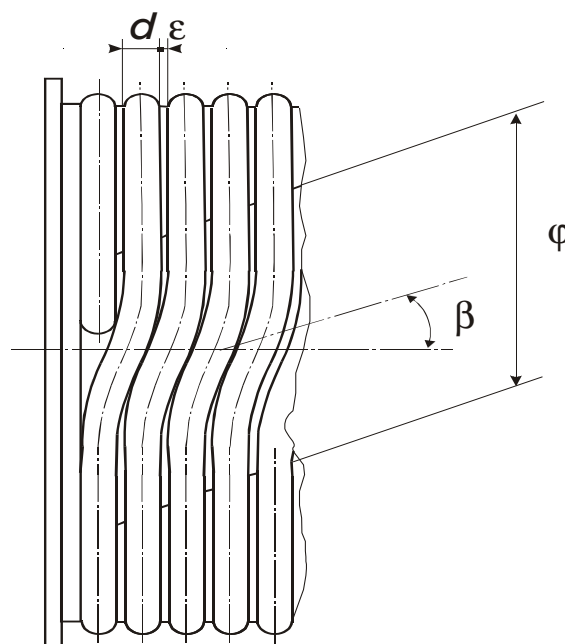
ВЪВЕДЕНИЕ

Поради изчерпване на техническия ресурс за безопасна и ефективна работа голяма част от рудничните подемни уредби са един от основните фактори, които предопределят нерентабилността на подземен добив на полезни изкопаеми в страната. Ето защо обосноваването и изборът на ефективни решения за модернизация и реконструкция на РПУ в експлоатация се явява една актуална задача. В (Кърцелин, 1998) е обосновано решение за модернизация и реконструкция на РПУ на ш.Капитална, Горубсо - Мадан чрез доставката на нов цилиндричен барабан с многослойно навиване на подемното въже.

В Република България не се експлоатират вертикални РПУ с многослойно навиване на подемното въже. В действащия правилник по техническа безопасност (Правилник по безопасността..., 1969) на този въпрос е отделено твърде ограничено място. Тези обстоятелства определиха задачата за предварително изследване на редица въпроси от теорията на РПУ с многослойно навиване на подемното въже с цел получените резултати да се използват при изготвянето на окончателните проектни решения. В настоящия доклад за представени част от тези резултати.

1. Същност на многослойното навиване на подемното въже.

За увеличаване височината на подем при определени условия е възможно да се използва и решение с многослойно навиване на подемното въже. При двуслойното (многослойно навиване), различаваме две разновидности: с разполагане на подемното въже от първия слой в спираловиден канал и с разполагане на подемното въже от първия слой в пръстеновиден канал.



Фигура 1.

Във втория случай (фиг.1) на повърхността на барабана не се изработва спираловиден канал, а множество пръстеновидни канали разположени един до друг. Съществува обаче гладка ивица от барабана, на която няма реборди и която се измества на някакъв ъгъл β спрямо оста на барабана.

Многослойното навиване с първи спираловидно разположен слой има следните предимства:

- лесно и технологично възможно изработване на спираловидния канал с металорежещи машини в заводски условия;

- лесно приложимо при преминаване от еднослойно към двуслойно навиване в процес на навлизане в дълбочина на дадена шахта.

Недостатъци:

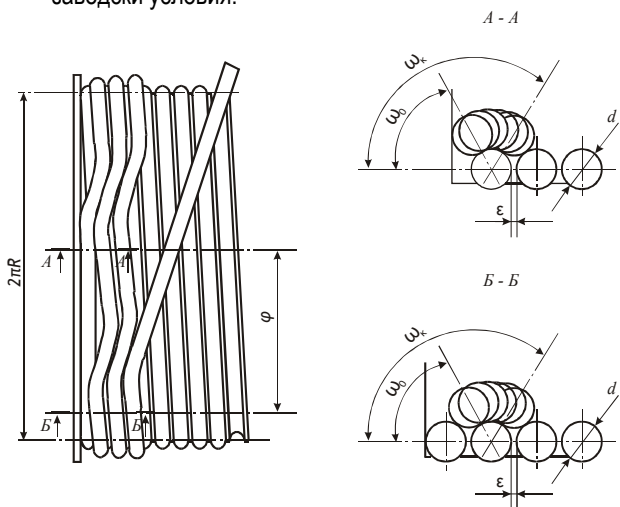
- закливане на въжето при преминаване от слой в слой между реборда на барабана и последната витка на въжето от предходния слой;
- нечетния слой се разполага по спираловиден канал, а четния извършва двойно скокообразно преместване при преминаване от витка на витка за всеки оборот на барабана и произтичащи от това динамични усилия във въжето;
- задължително изработване на запълващ клин със сложна конфигурация и разполагането му в прехода от слой в слой (фиг. 2).

Многослойното навиване с разполагане на първия слой в пръстеновидни канали има следните предимства:

- въжето извършва единично скокообразно преместване от витка на витка за всеки оборот на барабана;
- почти напълно отсъства закливането на въжето между реборда на барабана и последната витка.

Недостатъци:

- затруднено изработване на пръстеновидни канали с наличие на гладка изместваща се част;
- подходяща схема за нови машини изработени при заводски условия.



Фигура 2.

2. Избор на рационални параметри на подемната машина при многослойно навиване на подемното въже по схемата с пръстеновидни канали.

Ъгълът на наклона β (фиг.1) на гладката част на барабана към оста на барабана и продължителността на гладката част φ , rad се определя по изразите (Димашко и др. 1969):

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{\varepsilon}{d} \right)} \sqrt{\frac{D}{d}} F(\beta) \quad (1)$$

$$\varphi = 2 \sqrt{\frac{d}{D}} F(\varphi) \quad (2)$$

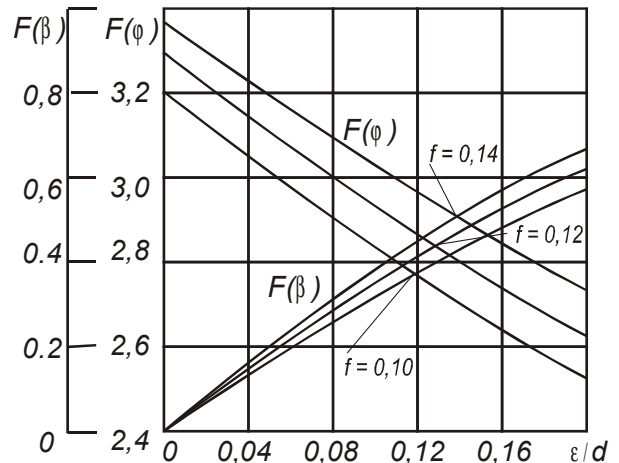
$$F(\beta) = \frac{\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{\varepsilon}{2d}}{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\varepsilon}{2d}} \int \frac{dx}{\phi(x)} \quad (3)$$

$$F(\varphi) = \int_{\arccos \frac{d+\varepsilon}{2d}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{dx}{\phi(x)} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} [\phi(x)]^2 = & \frac{\sin x - 2f \cos x}{1 + 4f^2} - \frac{1}{2} + \exp \left[2f \left(\arccos \frac{d+\varepsilon}{2d} - x \right) \right] \times \\ & \times \left[\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{4d^2 - (d+\varepsilon)^2 + 2f(d+\varepsilon)}}{2d(1+4f^2)} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

където d е диаметър на въжето;
 D - диаметър на барабана;
 ε - разстояние между витките;
 f - коефициент на триене "въже по въже" в зависимост от състоянието на смазката (0,1 - 0,14);

Поради сложните аналитични изрази големините на $F(\beta)$ и $F(\varphi)$ се определят по диаграма на фиг. 3. (Димашко и др., 1969). Това позволява да се определят β и φ .

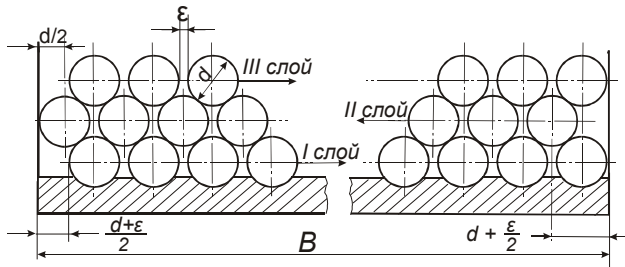


Фигура 3.

Успоредното навиване на въжето към реборда и в слоеве се получава по схемата на фиг. 4. Понеже ширината на барабана B и диаметъра на въжето d са зададени, то за да се изпълни дадената схема за навиване на подемното въже може да се варира само с ε и n - броя навивки на първия слой, които трябва да са цели числа, определени по изразите

$$n = \frac{2B - d - \varepsilon}{2(d + \varepsilon)} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{2B - d(2n + 1)}{2n - 1} \quad (7)$$



Фигура 4.

Рационалните големина на ъглите на девиация, обезпечаващи успоредното навиване са приложени в табл. 1.

Таблица 1

Ъгълът на девиация трябва да е в границите:
 $1^0 \leq \alpha \leq 1,30^0$ (Правилник по безопасността ..., 1969).

Такова изчисление позволява достатъчно точно да се определят параметрите на многослойното навиване с пръстеновидни канали.

3. Условия за възникване на резонанс в струната на въжето.

По-горе беше отбелязано, че при схемата на многослойно навиване със спираловидно разположен първи слой, при всеки четен слой въжето извършва двойно скокообразно движение на всеки оборот на барабана, т.е. за всеки оборот на барабана се наблюдават два ударни импулса.

При дадени условия честотата на тези ударни импулси може да съвпадне с честотата на собствените напречни колебания на участъка от въжето, разположен между барабана и направляващите шайби.

Това явление се нарича резонанс и може да предизвика силни напречни движения на струната на въжето, в резултат на което въжето може да изскочи от ребордите на направляващата шайба, което е вече аварийна ситуация.

Честотата на принудителните колебания, определена от ударните импулси при прехода на въжето от витка на витка ще бъде (Димашко и др., 1969).

$$P_n = \frac{2\pi}{\varphi} n, \text{ цикли/min.} \quad (8)$$

където n - брой обороти на барабана за минута;
 φ - ъгъл между двойния ударен импулс, който се определя на базата на израз (Димашко и др., 1969) (фиг.2);

$$\tau_2 = \tau \left[1 - \frac{d}{2(d + \varepsilon)} (\sqrt{3} \cdot \sin \omega_0 - \cos \omega_0) \right], \text{ s} \quad (9)$$

където τ_2 е интервал от време между първия ударен импулс и втория ударен импулс;

τ - интервал от време съответстващ на един оборот на барабана;

ω_0 - ъгъл на прехода (координиращ ъгъл), фиг. 2.

Ъгълът ω_0 се определя съгласно диаграма на фиг. 5 (Димашко и др., 1969) в зависимост от ъгъла на девиация.

Собствената честота на напречните колебания ще се определи съгласно израза (Алексеев, 1975):

$$P_c = \frac{\varepsilon_0}{L} \sqrt{\frac{Qg}{q}} = 94 \frac{\varepsilon_0}{L} \sqrt{\frac{Q}{q}}, \text{ цикли/min} \quad (10)$$

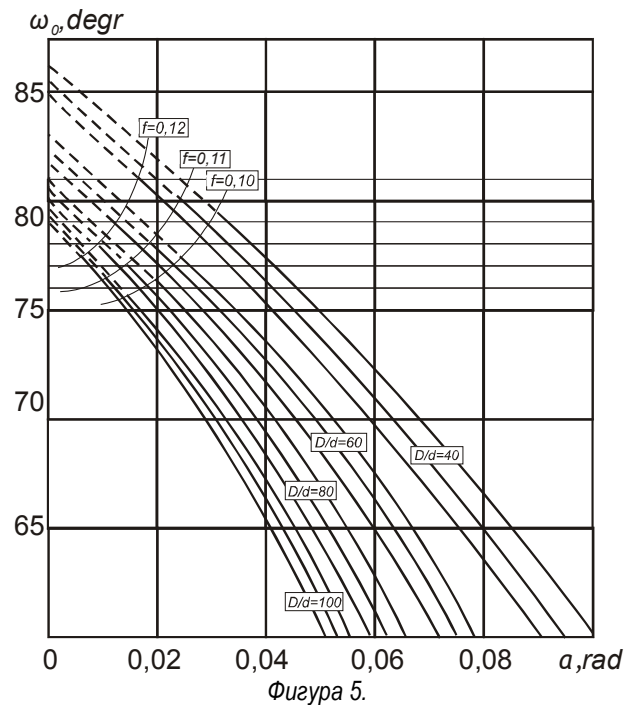
където L е разстояние между вертикалните оси на органа за навиване и направляващите шайби;

Q - краен товар с отчитане теглото на въжето;

ε_0 - порядък на резонанса - 1,2,3...;

q - линейно тегло на въжето;

α - ъгъл на девиация.



Фигура 5.

За да се избегне резонанса трябва да е налице условието:

$$P_n \neq P_c \quad (11)$$

За да се изпълни това условие може да се варира с параметрите Q , L , α , q , D/d на подезната машина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати са използвани при изготвянето на проектните решения за модернизация и реконструкция на РПУ на ш.Капитална – Горубсо, Мадан.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Л.А. 1975. Теория и практика подъема. К., Наукова думка.
- Димашко А.Д. и др. 1969. О выборе рациональных параметров многослойной навивки канатов. Шахтное строительство, №8.
- Кърцелин Е. Р. и др. 1998. Реконструкция на руднична подезна уредба на шахта "Капитална", Горубсо - Мадан. Научно-техническа конференция по охрана на труда в подземните и откритите рудници и кариерите, Варна, 8-11 юни, *Сб. доклади, Том 2*, 243-249.
- Правилник по безопасността на труда при разработването на рудни и нерудни находища по подземен начин. 1969. (В-01-02-04), гр.София, ДИ "Техника".

INVESTIGATION OF MINE HOIST WITH MULTI-LAYERED COILING OF HOISTING ROPE

Ilija Iochev

University of Mining and Geology
 "St. Ivan Rilski"
 1700 Sofia, Bulgaria

ABSTRACT

Pros and cons are shown for the mine hoist systems with multilayer coiling of a rope using annular and spiral grooves of a cylinder roll. Main parameters are set for hoist machine and conditions of resonance of hoisting rope by its multilayer coiling according to a scheme with annular grooves.

INTRODUCTION

Exhausting of technical resource for safe and effective work of a great part of the mining hoist systems is one of the main factors for non-profitability of underground mining of minerals in Bulgaria. That is why reasoning and selection of effective decisions for updating and reconstruction of MHS in mining seems to be a task of the day. The decision for updating and reconstruction of MHS at "Capitalna" shaft, Gorubso – Madan by supplying of a new cylinder roll with a multilayer coiling of the hoist rope was proved (Karcelin, 1998).

In the Republic of Bulgaria vertical MHS with a multi-layer coiling of the rope have not been. In the valid rules for occupational safety (Guidelines for Safety..., 1969) too limited position is allotted to this matter. These circumstances set the task for preliminary research of a series of questions from the theory of MHS with a multi-layered coiling of a hoisting rope aiming an application of results to design of final development decisions. Some of these results are shown in the present article.

1. Main point of the multi-layered coiling of a hoist rope.

Decisions with a multi-layered coiling of a hoist rope may also be applied for increasing the height of uplift under definite conditions. There are two different kinds of two-way multi-layered coiling: with stating of the hoist rope from the first layer in a spiral groove and with stating of the hoist rope in an annular groove.

In the second case (fig.1) many annular grooves, situated one by the other are formed on the roll surface, instead of a spiral grooves. However, there is a smooth stripe on the roll, without rims on it, and displaced at an angle β from roll axis.

The multi-layered coiling with a first spiral situated layer has the following advantages:

- simple and technologically accessible working out of the spiral groove by metal-sawing machines in manufacturing conditions;
- easily applicable for transition from one-layer to two-layer coiling in the process of penetrating in depth of the shaft.

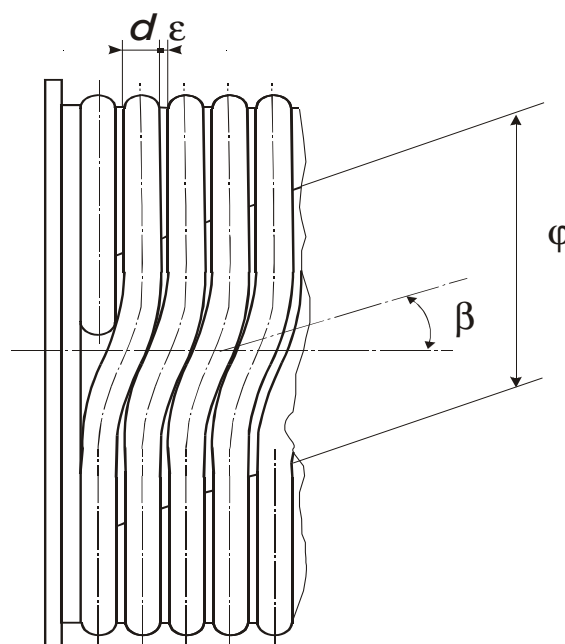


Figure 1.

Disadvantages:

- wedging of rope by the passing from layer to layer between roll rim and the last coil of previous layer;
- the odd layer is located on a spiral groove and the even layer performs a double shifting by transition from coil to coil on every revolution of the roll and consequent dynamic efforts in the rope;
- the compulsory working out of a filling wedge with a complex configuration and its situating in the transition from layer to layer (fig. 2).

The multilayer coiling with positioning of first layer in annular grooves has the following advantages:

- the rope performs a single shifting from coil to coil for every revolution of the roll ;
- the wedging of rope between roll rim and the last coil is almost totally missing.

Disadvantages:

- difficult manufacture of annular grooves with presence of a smooth shifting part;

- appropriate scheme for new machines for manufacture.

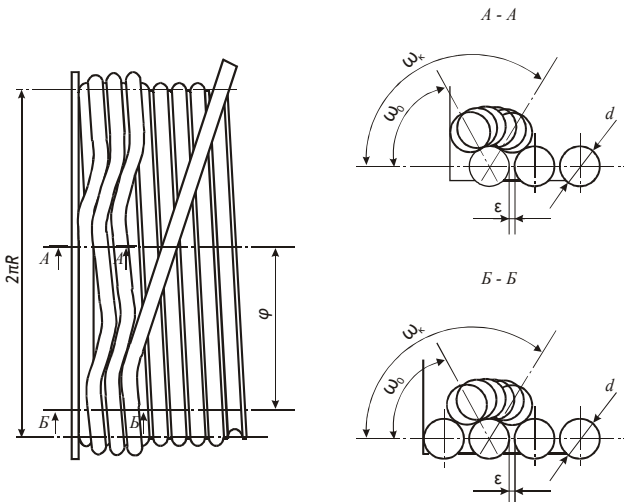


Figure 2.

2. Selection of rational parameters of the hoist machine by the multilayer coiling of hoisting rope according to the scheme with annular grooves.

The angle of slope β (fig.1) of the roll smooth part towards the roll axis and the length of smooth part φ, rad is specified by the expressions (Dimashko etc. 1969):

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{\varepsilon}{d} \right)} \sqrt{\frac{D}{d}} F(\beta) \quad (1)$$

$$\varphi = 2 \sqrt{\frac{d}{D}} F(\varphi) \quad (2)$$

$$F(\beta) = \int_{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\varepsilon}{2d}}^{\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{\varepsilon}{2d}} \frac{dx}{\phi(x)} \quad (3)$$

$$F(\varphi) = \int_{\arccos \frac{d+\varepsilon}{2d}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{dx}{\phi(x)} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} [\phi(x)]^2 &= \frac{\sin x - 2f \cos x}{1 + 4f^2} - \frac{1}{2} + \exp \left[2f \left(\arccos \frac{d+\varepsilon}{2d} - x \right) \right] x \\ &\times \left[\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{4d^2 - (d+\varepsilon)^2 + 2f(d+\varepsilon)}}{2d(1+4f^2)} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

d - is the rope diameter;
D - roll diameter;
ε - distance between the coils;

f – coefficient of friction “Rope to rope” depending on lubrication (0,1 - 0,14);

However, complex analytic expressions for values of F(β) and F(φ) involve determination by the diagram in fig. 3. (Dimashko etc., 1969). That enables β and φ to be set.

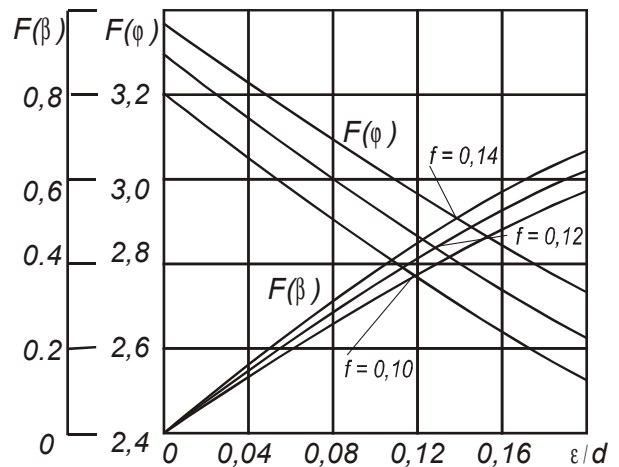


Figure 3.

The parallel coiling of rope to the rim and in the layers happens according to the scheme in fig.4. As roll width B and rope diameter d are preset, the only values that may be changed are ε and n – number of the coils in the first layer that must be integers, specified by the following expressions for the satisfying the given scheme for coiling of hoist rope

$$n = \frac{2B - d - \varepsilon}{2(d + \varepsilon)} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{2B - d(2n + 1)}{2n - 1} \quad (7)$$

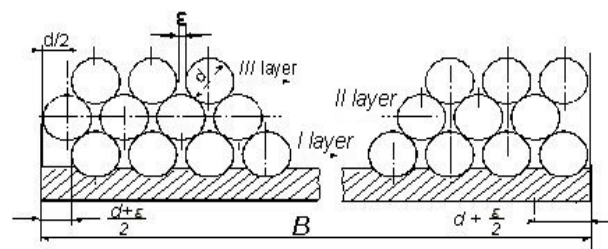


Figure 4.

The rational values of deviation angles providing the parallel coiling are attached in table.1.

Table 1

The angle of deviation must be within: $1^0 \leq \alpha \leq 1,30^0$
(Guidelines for Safety..., 1969)

That calculation enables the parameters of the multi-layered coiling with annular grooves to be specified accurately enough.

3. Conditions for arising of resonance in rope string.

It was mentioned above that in the scheme of multilayer coiling with a spirally positioned first layer the rope performs a double shift on every revolution of the roll at every even layer. This means that every revolution of the roll brings to two impact pulses.

For certain conditions, frequency of those impact pulses may coincide with frequency of own transverse vibration of a part of the rope, situated between the roll and the guiding wheels.

This effect is called resonance and may cause strong transverse motions of rope string, resulting in rope springing out from rims of guiding wheel, which is already an accident.

Frequency of the forced oscillation caused by impact-pulses in the transition of rope from coil to coil is as follows (Dimashko etc., 1969).

$$P_n = \frac{2\pi}{\varphi} n, \text{ cycles/min.} \quad (8)$$

n – number of revolutions of the roll per minute;
 φ – the angle between the double impact pulse, set on the basis of the expression (Dimashko etc., 1969) (fig.2);

$$\tau_2 = \tau \left[1 - \frac{d}{2(d + \varepsilon)} (\sqrt{3} \cdot \sin \omega_0 - \cos \omega_0) \right], \text{ s} \quad (9)$$

τ_2 is a time interval between first impact pulse and second impact pulse;

τ – time interval corresponding to one revolution of the roll;

ω_0 – angle of passage (coordinating angle), fig. 2.

The angle ω_0 is specified according to the diagram in fig.5 (Dimashko etc., 1969) depending on angle of deviation.

The natural frequency of the transverse vibrations is set according to the expression (Alexeev, 1975):

$$P_c = \frac{\varepsilon_0}{L} \sqrt{\frac{Qg}{q}} = 94 \frac{\varepsilon_0}{L} \sqrt{\frac{Q}{q}}, \text{ cycles/min} \quad (10)$$

L is the distance between vertical axes of body for coiling and guiding wheels;

Q – final load including the weight of rope;
 ε_0 – dimension of the resonance - 1,2,3...;
 q – linear weight of rope;
 α – angle of deviation.

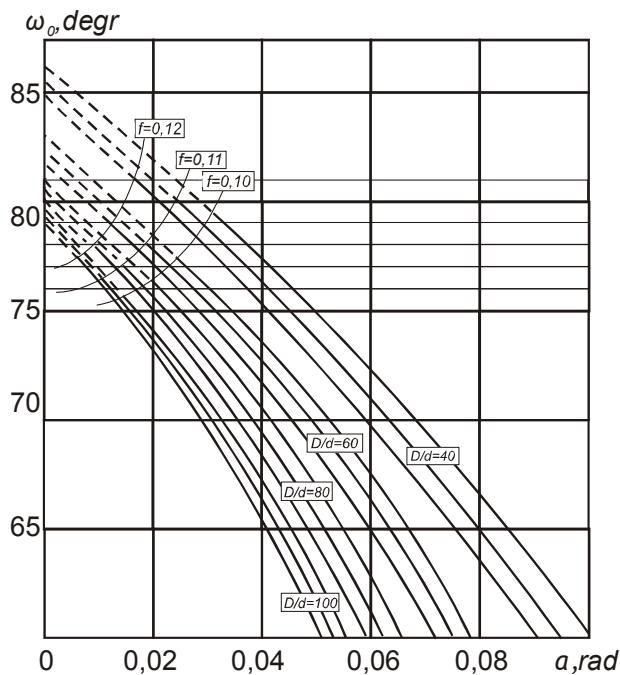


Figure 5.

To avoid the resonance the following condition must be satisfied:

$$P_n \neq P_c \quad (11)$$

The parameters Q , L , α , q , D/d of the hoist machine may be changed to fulfil this condition:

CONCLUSION

The above results are applied to development of design decisions for updating and reconstruction of MHS at Capitalna shaft Capitalna, Gorubso, Madan.

REFERENCES

- Alexeev, Л.А. 1975. Theory and practice of mine hoist, K. Nukovaia dumka (in Russian).
- Dimashko A.D. et al. 1969. On the selection of rational parameters of multi-layered rope coiling. Mine construction, №8. (in Russian)
- Karcelin E. R. et al. 1998. Reconstruction of mine hoist for "Capitalna" shaft, Gorubso-Madan. Scientific conference on occupational safety in underground and opencast mines and quarries, Varna, 8-11 June, *Proceeding, Vol. 2, p. 243-249.* (in Bulgarian)
- Guidelines for safety of development of ore and non-ore deposits by underground method of mining. 1969. (B-01-02-04), Sofia, "Technika". (in Bulgarian)

*Recommended for publication by Department
of Mine Mechanization, Faculty of Mining Electromechanics*