

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДОЛНИ УРАВНОВЕСЯВАЩИ ВЪЖЕТА ПРИ РУДНИЧНИ ПОДЕМНИ УРЕДБИ. ИЗИСКВАНИЯ ЗА ИЗБОР И ПРИЛОЖЕНИЕ

Антоанета Янева

МГУ "Св. Иван Рилски", 1700, София

РЕЗЮМЕ: В настоящата работа обект на направеното изследване са долните уравновесяващи въжета (ДРВ) за руднични подемни уредби. Разгледана е необходимостта за използването им при различни типове подемни машини, различни дълбочини и скорости на движение. Обобщени и анализирани са критериите за избор на конструкцията при вече изчислено тегло на въжетата, свързани с режима на работа на подемна уредба (ПУ), условията във вертикалната шахта, изискванията към якостта, поведението и дълготрайността на въжетата.

Оформена е препоръчителна методика за избор на ДРВ при многовъжени подемни машини (ПМ) в зависимост от височината H , полезния товар и броя на подемните съдове, ускоренията и изискванията за частично динамично уравновесяване. Резултатите могат да се разпространят и за други типове ПМ, както и за по-големи дълбочини и товари. Изследването може да послужи както при проектиране на РПУ, така и при оптимизиране на динамиката им в експлоатация при промяна на някои от работните параметри.

INVESTIGATION OF BALANCE ROPES IN MINE HOISTING. REQUIREMENTS FOR CHOICE AND APPLICATION

Antoaneta Yaneva

University of Mining and Geology 1700, Sofia

ABSTRACT: In the present research work the object of the carried out study is the balance ropes (BR) usage in mining hoist machines (HM). The necessity of their appliance in different winder (drum, friction) types, depths and speed, is examined. The criteria for choice of the construction, with already estimated ropes weight, and criteria, connected with the work regime of the HM, are analyzed and generalized, as well as the conditions in vertical shaft, strength and behavior, and durability requirements of ropes.

Advisable methods for choice of BR, used in multi-rope hoist machines, depending on the depth, the pay load and the number of hoist conveyances, accelerations and requirements for partial dynamic balancing, are formed. The results may be spread for other types of HM, as well as for bigger depths and loads. The research work may be used for HM design, as well as for optimization of their dynamics in the exploitation, when some of the parameters change.

Увод

Необходимост, предназначение и приложение на долните уравновесяващи въжета (ДРВ) при руднични подемни уредби (РПУ) за вертикални шахти (ВШ).

При проектиране и избор на оптимален вариант за РПУ една от основните проверки е тази за необходимостта от ДРВ. Главното предназначение на тези въжета е да осигурят статично или частично динамично уравновесяване на подемната система, на силите в двата клона на въжетата, в зависимост от височината на подема H и избрания подемен съд (ПС) с проектен полезен товар Q_p . Основните фактори, влияещи върху използването на ДРВ, са: H , типът на подемната машина (ПМ) и условията на работа на електрозадвижването. По-голямото тегло на ДРВ противодействува и на максималните динамични сили при ускоряване и забавяне на системата.

Както е известно при големи дълбочини и многовъжени триещи шайби окачването на ДРВ е задължително за постигане на необходимото отношение на силите в двата клона на въжетата и осигуряване на нормална и безопасна работа на системата. При бицилиндроконични барабанни машини ДРВ не е необходимо, защото принципът на

уравновесяване се осигурява от профила на работния орган за навиване на въжетата.

При цилиндрични барабанни машини чрез ДРВ може да се постигне по-равномерно натоварване и съответно намаляване на мощността на двигателя. Прави се проверка за степента на неуравновесеност и, ако има нужда, се избира по-малко или по-голямо тегло (q) на ДРВ спрямо това на подемното (p): 1) $q = p$ или 2) $q > p$. В първия случай се осигурява пълно уравновесяване на статичната сила ($F_{ст} = const$) за един подем. Ако искаме отчасти да намалим влиянието и на инерционните сили при потегляне и спиране, търсим по-високо тегло " q " в определени граници, зависещи от равномерното натоварване на двигателя и от необходимите капиталовложения, като максимално внимание се отделя на сигурната и безопасна работа на ПУ.

В представената работа се разглеждат най-вече ПМ с триещи шайба, където се следят допустимите максимални ускорения и сигурността срещу приплъзване на подемните въжета и окачването на ДРВ е задължително.

1. Основни уравнения и зависимости, свързани с избора на долно уравниващо въже

За ориентировъчен избор на ДРВ като линейно тегло – q , N/m - преди изчисляване на динамиката се прави проверка за степен на неуравновесеност “ δ ”; т.е. доколко окачването на долно въже би компенсирало теглото на полезния товар и част от големината на инерционните сили при потегляне и спиране на подемната система. Ако “ δ ” е повече от 50%, се избира ДРВ ($q \neq 0$).

$$\delta = \frac{n_B \cdot p \cdot H}{k \cdot Q_n} \quad (1)$$

За ПМ с постоянен радиус на навиване – 2-барабанни и многовъжени – и работа с два ПС важат следните динамични уравнения:

$$F_{дв} = k \cdot Q_n - (q - p)(H - 2x) \pm m_0 a \quad (2)$$

$$F_{ст} = k \cdot Q_n - (q - p)(H - 2x) \quad (3)$$

Използвани са следните означения:

$F_{ст}$ – статична сила, N

$F_{дв}$ – двигателна сила, N

k – товарен коефициент ($k = 1,15$ за скипови ПУ);

Q_n , N – полезен товар;

q , N/m - линейно тегло на долното уравниващо въже;

p , N/m – линейно тегло на подемното въже;

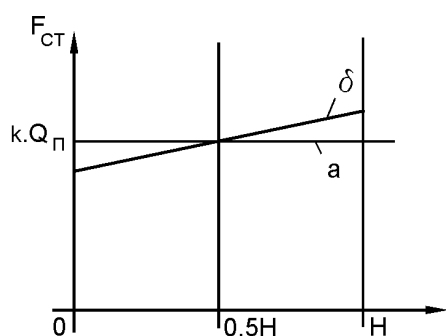
$\Delta = q - p$, N/m – разлика в линейните тегла на въжетата

n_B – брой подемни въжета;

m_0 , kg – приведена маса на всички движещи се части

$a_i = a_1, a_3$, m/s^2 – линейни ускорения, съответно при потегляне и спиране.

Правите линии, построени по уравнение (3) - за изменение на статичните сили във функция от изминатия път за една подемна операция, са показани схематично на фиг.1. а) при $q = p$ и б) при $q > p$.



Фиг.1

При многовъжени триещи шайби трябва да се направи и проверка на коефициентите на сигурност срещу приплъзване - статичен ($\mu_{ст}$) и динамичен ($\mu_{д}$). Важен в случая е изборът на ъгъл на обхващане на подемното въже около триещата шайба - α_0 , както и изборът на подходяща облицовка на каналите на шайбата. Ъгълът може да бъде

от 180° до 230° в зависимост от конструкцията на подемните съдове и начина им на водене. Най-често при монтаж на отклоняваща шайба се осигурява ъгъл $195^\circ - 215^\circ$. При проектиране според повечето норми и правилници ПБТ /2/, VDI /4/, TAS /3/ се препоръчва да се заложи коефициент на триене между въжето и канала на шайбата при пресовани пластмасови облицовки $f = 0,25$.

При подем на товар статичният коефициент на сигурност се изчислява по следната формула:

$$\mu_{ст} = \frac{F_{пр} (e^{f \cdot \alpha_0} - 1)}{F_T - F_{пр}} \geq 1,75 \quad (4)$$

При проектиране на РПУ и избрана конструкция и начин на монтаж на многовъжената триеща шайба – на повърхността или в подемната кула – с или без отклоняваща шайба, ъгълът “ α_0 ” и коефициентът на триене “ f ” са известни. Остава да се определят силите в товарния и празния клон на подемните въжета, така че да е спазено изискването за минималния коефициент на сигурност $\mu_{ст}$. Това отново зависи само от теглото на ДРВ при вече избран ПС.

Линейното тегло “ q ” на ДРВ - според /5/, /6/ - може да варира от 5-10% до максимум 20% по-тежко от това на подемните въжета, в повечето случаи се стремим към равенството им. Обобщените данни от практиката, както и от източниците – правилници за проектиране, показват стойности за $\Delta = q - p$ в рамките 1,5 до 3kg/m. Максималната стойност на “ Δ ”, анализирана в настоящата публикация, е 5 kg/m.

Граничната теоретична стойност, важаща за 2-периоден хармоничен подем /1/, може да се изчисли за конкретна РПУ по следния начин:

$$\Delta = \frac{m_0 a_3}{H} \quad (5)$$

За условията на РПУ с триеща шайба и извоз на товар $a_{max} = 1m/s^2$. За разглежданите в разработката височини на подема от 900, 1300 и 1700m и малък $Q_n=20t$ приблизителната разлика в теглата на въжетата би се движела в рамките на около 35 до 70 kg/m или 7 до 14 пъти повече от горепрепоръчаната. Предлаганият хармоничен подем е практически неприложим, но сравнението се прави, само за да подчертае влиянието на долните уравниващи въжета върху динамиката на подемната система и възможностите за намаляване на експлоатационните разходи на електрозадвижването.

2. Критерии при избора на конструкция ДРВ.

2.1. Основни изисквания при вече точно изчислено линейно тегло “ q ”, N/m.

ДРВ трябва да имат достатъчна гъвкавост, за да се спази разстоянието между осите на подемните съдове при огъване на въжетата в зумпфа. При различните конструкции отношението на този диаметър на огъване към диаметъра на въжето е $Doq : dv = 25-45 (60-90)$. При плоски

ДРВ се постигат още по-малки отношения. Необходима е и устойчивост на разсукване, комбинирана с достатъчна якост и корозоустойчивост.

а) фирмата "Bridon" – предлага няколко конструкции:

- Multi-strand rotation resistant ropes – много-дилково устойчиво на разсукване въже - отговаря на всички горни изисквания;
- Superflex balance ropes (non-rotating) – суперфлекс долно въже (неразсукващо се) - най-голяма устойчивост на разсукване и оптимална якост, съчетана с корозоустойчивост; поради липса на усукване както в краищата на захващане в прицепните устройства, така и в участъка на провисване в зумпфа разрушаването от умора в тези места е изцяло елиминирано;
- приложими са и алтернативни конструкции - където не се изисква максимално "неразсукване" – за най-близък отговор на специфичните условия на работа на ПМ и за оптимални капитални и експлоатационни разходи;
- Flat balance ropes – плоски долни въжета – неразсукващи се.

В областта на производство на стоманени въжета за минната промишленост работят много фирми от Австралия, Австрия, Германия, Италия, Канада, САЩ, Украйна, Чехия, Швеция, ЮАР и др.

Основно разглеждаме продуктите на английската фирма Bridon, като едни от най-разнообразните, най-близки и използвани в Европа и с най-сериозен сертификат за качество на производство, изпитване и експлоатация.

2.2. Работни условия във ВШ

- влажност, температура и промяната им;
- руднични води - количество, качество, рН-ниво и др;
- наличие на входна или изходна естествена тяга или вентилационна струя;
- наличие на пара, вредни газове и др.;
- вид на шахтната армировка за водене на ПС – твърда, гъвкава, конструкция на водачите;
- условия за първоначално окачване, прегледи и смяна на долните въжета:
 - ДРВ могат да се опънат предварително и да се свържат с прицепните устройства преди окачването им към ПС – това спестява време за монтаж; осигурява еднаква дължина на въжетата и намалява остатъчното им удължение – особено благоприятно е за ВШ с ограничено надзумпфово пространство;
 - прицепното устройство (Swivel – англ., Wirbel – немски) шарнирен кауш (с възможност за движение в две равнини) е задължително при свързването на кръгли ДРВ с ПС срещу усукване – според TAS /3/ и Mining Rules Handbook /4/;
 - провисът на въжето в зумпфа нормално е свободен (не преминава през шайба, не се опъва специално); радиусът на огъване и необразуването на усуквания или "осморки" може да се осигури чрез вертикални дървени водачи и напречна греда.

2.3. Работни условия на подемната уредба:

- краен окачен товар (Q_0); динамични работни и аварийни натоварвания (напр.: влияние на високите скорости и ускорения, внезапни спирания и потегляния,

брой работни цикли за час; начин на товарене – засто- порен ПС или висящ на подемните въжета и др.);

- умора на огъване на ДРВ – зависи от диаметъра и броя на шайби, барабани или ролки, около които преминава въжето; ДРВ в болшинството случаи не са опънати около изброените органи, огъват се на радиус, зависещ от разстоянието между ПС и под действие на собственото си тегло;
- механично разрушаване – външно или вътрешно – при преминаване по диаметъра на огъване или в среда на пясък, абразивни материали; теглене през ръбове – при пренавиване и монтаж и др. – за предпазване от тези въздействия се препоръчва при кръглите въжета те да се избират нормално с по-голям диаметър на външния слой жички;
- вибрации в системата – водят до скъсване на жички в мястото на поглъщането на вибрационното въздействие – очакват се само във вътрешността на въжето; не могат да се открият с визуален контрол;
- корозия – очаква се за ДРВ при преминаването им през зумпфа – препоръчва се избор на галванизирани въжета, а за дилките на плоските и общо за кръглите въжета – възможно най-голям диаметър на външния слой жички, ако това не противоречи на други изисквания.;
- работни температури – оказват основно влияние върху избора на сърцевината на въжето и на смазочните материали – последните, както и всякакви синтетични запълвачи или покривачи материали (консервационни и др.), могат да станат неефективни при определени много ниски или много високи температури.

3. Препоръчителна методика за избор на линейното тегло "q" на ДРВ

3.1. Условия на изследването

Разглежда се ПМ – триеща шайба за извоз на товар, който е по-тежкия случай. Ако ПУ извозва хора, теглото на избраните ДРВ ще уравновесява още по-добре инерционните сили, защото ускоренията при извоз на хора са по-малки от тези при извоз на товар.

За условията на българския рудодобив избирам необръщателен скип с шибърен затвор и средна вместимост $V=11m^3$. При плътност на рудата $\rho = 1,82 Mg/m^3$ получавам за полезния товар $Q_{п} = \rho \cdot V = 20 t$

$$Q_{п} = const = 20 t$$

$$H = 900, 1300, 1700 m$$

$$a = 1m/s^2 = const$$

$$p = const$$

$$\Delta = q - p = var$$

Брой подемни съдове – изследват се два варианта:

- А) РПУ с 2 необръщателни скипа;
 - Б) РПУ с 1 необръщателен скип и противотежест.
- За вариант А уравнение (3) за статичната сила в началото на подема ще има вида:

$$F_{ст} = k \cdot Q_{п} - \Delta \cdot H, N \quad (6)$$

За вариант Б уравнение (3) за статичната сила в началото на подема ще бъде:

$$F_{CT} = (k - 0,5)Q_{\Pi} - \Delta \cdot H, N \quad (7)$$

3.2. Изчисления и резултати

По дадените формули за двата варианта пресмятаме силите за трите избрани височини на подема - H_i и за четирите разлики в теглата на въжетата - Δ_i . Представяме резултатите в Таблица 1, като в отделни редове даваме и процентните намаления на статичните сили спрямо тази при липса на долно въже F_{CT0} за $\Delta_i = 0$.

за условията на РПУ с $Q_{\Pi} = 20t = 196,2 \text{ kN}$; $k = 1,15$ – необръщателен скип.

Таблица 1

		2 ПС		1 ПС	
H, m	Δ , N/m	F _{CT} , N	F _{CTi} / F _{CT0} , %	F _{CT} , N	F _{CTi} / F _{CT0} , %
F _{CT0}	0	225630	100	127530	100
900	9.81	216801	96.09	118701	93.08
	19.62	207972	92.17	109872	86.15
	29.43	199143	88.26	101043	79.23
	49.05	181485	80.43	83385	65.38
1300	9.81	212877	94.35	114777	90.00
	19.62	200124	88.70	102024	80.00
	29.43	187371	83.04	89271	70.00
	49.05	161865	71.74	63765	50.00
1700	9.81	208953	92.61	110853	86.92
	19.62	192276	85.22	94176	73.85
	29.43	175599	77.83	77499	60.77
	49.05	142245	63.04	44145	34.62

Изводите от горните пресмятания са, че при промяна на линейното тегло на долното въже с 1 до 5kg/m повече от това на подемото за статичните сили получаваме намаление средно с 4,5 до 37 % спрямо тази при $q = p$ за ПУ с 2 ПС и със 7 до 65% при 1 ПС и противотезест. Двигателните сили ще намаляват приблизително със същото процентно отношение при равни други условия ($a = \text{const}$). Това е така, защото приведената маса на системата "m₀" ще се променя в незначителни гарници от нарастването на "q". Например за $\Delta = 5 \text{ kg/m}$ и $H = 900 \text{ m}$ общото нарастване на теглото на ДРВ ще бъде около 450kg или 4,4kN.

За да намерим реални стойности на "q", от разглежданите примери изчисляваме теглото на подемото въже "p" при следните конкретни условия:

$$H = 900 \text{ m}; Q_{\Pi} = 20 \text{ t}; Q_M = 24,4 \text{ t};$$

$$n_B = 4 \text{ (брой подедни въжета)}$$

$k_{\Pi} = 9,5$ – приведен коефициент на сигурност при избор на подедни въжета за ПМ с триещя шайба и височина, по-голяма от 600m)

$$\gamma_0 = 95000 \text{ N/m}^3 \text{ – обемно тегло на въжето};$$

$\sigma_0 = 1770 \text{ N/m}^2$ – гранична якост на опън на въжето (от каталог /7/)

Крайният окачен товар на едно въже е:

$$Q_0 = \frac{Q_{\Pi} + Q_M}{n_B}, N \quad (8)$$

$$Q_0 = \frac{20 + 24,4}{4} = 11,1 \text{ t} = 11,1 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 109 \text{ kN}$$

Линейното тегло се изчислява по следната формула /1/:

$$p = \frac{Q_0}{\sigma_0} \cdot k_{\Pi} \cdot \gamma_0, N/m \quad (9)$$

$$p = 109 \cdot 1000 \cdot 9,5 \cdot 95000 / 1770 \cdot 1000000 = 55,58 \text{ N/m} = 5,66 \text{ kg/m}$$

Данните за линейното тегло на ДРВ при избраните за проверка стойности на Δ_i са показани в таблица 2:

Таблица 2

p, kg/m	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66
Δ_i , kg/m	0	1	2	3	5
$q_i = \Delta_i + p$, kg/m	5,66	6,66	7,66	8,66	10,66

За окончателно оптимизиране на избора на ДРВ след съобразяване с горепосочените критерии търсим изчисленията q_i при минимално сечение на въжетата, особено за конструкции с кръгло сечение. От данните за отношението на Dor:dv = 25÷60 Bridon /6/, стр.56/ виждаме, че колкото по-голям е броят на дилките във въжето и на жичките в дилките, толкова горното отношение е по-малко, към което се и стремим за осигуряване на провиса на ДРВ и за спазване на междуцентровото разстояние на 2-та подедни съда. Затова избираме конструкции с Dor:dv = 25÷35. От фирмата-производител "Bridon Ropes" /6/ подходящи са следните конкретни типове конструкции:

- въжета с кръгло сечение и кръгли жички – 2-слойни 18x19 и 3-слойни – 34x19, тип Tiger;
- въжета с кръгло сечение и комбинирани жички – кръгли и профилни – 2-слойни 18x19 и 3-слойни 34x19 – Tiger Dyform;
- въжета с кръгло сечение плоскооплетени – 2-слойни 14x6 и 17x6 и 3-слойни 20x6 – Tiger Superflex;
- плоски въжета двойно ушити (DIN 21256), /7/ – 8x4x7 или 8x4x12;

В таблица 3 са дадени линейните тегла и геометричните параметри на ДРВ за граничните избрани разлики $\Delta_2 = 1 \text{ kg/m}$ и $\Delta_5 = 5 \text{ kg/m}$ и за 8-те типа конструкции.

Таблица 3

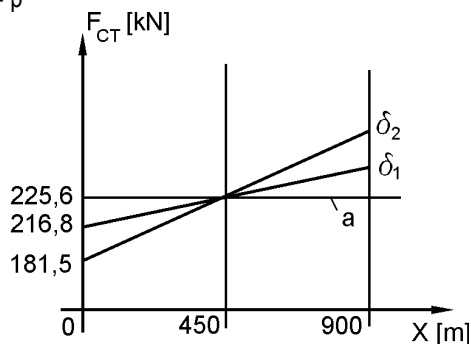
	Тип въже	$q_{\text{изч}}$, kg/m	$q_{\text{избр}}$, kg/m	dv, mm (bx6)	Dor : dv
$\Delta = 1 \text{ kg/m}$	20x6 SF	6,66	0	0	25
	17x6 SF	6,66	7,31	44	30
	14x6 SF	6,66	7,22	43	30
	34x19	6,66	6,96	40	30
	18x19	6,66	0	0	35
	34x19 Dyf	6,66	6,67	36	30
	18x19 Dyf	6,66	6,8	37	35
	8x4x7	6,66	6,76	113x20	
	20x6 SF	10,66	11,12	54	25

$\Delta = 5\text{kg/m}$	17x6 SF	10,66	10,83	54	30
	14x6 SF	10,66	0	0	30
	34x19	10,66	10,88	50	30
	18x19	10,66	0	0	35
	34x19 Dyf	10,66	10,90	46	30
	18x19 Dyf	10,66	11,45	48	35
	6x4x12	10,66	11,1	130x29	
	8x4x12	10,66	11,0	146x25	

За $\Delta = 1\text{kg/m}$ най-подходящи биха били конструкциите кръгло въже 34x19Dyf и плоско въже 8x4x7. За $\Delta = 5\text{kg/m}$ са препоръчителни също 34x19Dyf и плоско 8x4x12.

За решения пример и избраните подедни и долни въжета пресмятаме по формула (3) за началото и края на подема и чертаем изменението на статичната сила за двата гранични случая: б₁) $\Delta = 1\text{kg/m}$ и б₂) $\Delta = 5\text{kg/m}$. При РПУ с 2 ПС стойността на $k.Q_p$ е:

$k.Q_p = 1,15.196200 = 225,63\text{ kN}$, отговаря на права линия а) за $q = p$



Фиг.2

Аналогични изследвания могат да се направят и за други по-големи полезни товари Q_p , дълбочини H_i и конструкции въжета, а резултатите и препоръките могат да се разпространят и за други типове ПМ (2-барабанна цилиндрична или 2-барабанна система Блейер), което е и предимството на разработената кратка методика.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Механизация на мините", МЕМФ

Може да бъде решавана и обратната задача. Избраното по якост и конструкцията долно равновесно въже да се провери каква максимална разлика в силите или степен на уравновесеност може да осигури.

Заклучение

Изследвани и анализирани са различни конструкции ДРВ, както и критериите и обосновката за избора им.

Разработена е препоръчителна методика за оптимизиране на избора на ДРВ по линейно тегло, конструкцията и специфични изисквания на РПУ и условията на експлоатация.

Направени са примерни изчисления и сравнителен анализ на различните конструкции ДРВ при различни височини на подема и различен брой ПС.

Предложени са оптимални конструкции въжета за конкретни работни условия на ПМ с триеща задвижваща шайба и частично динамично уравновесяване при използване на един или два ПС.

Изследването е приложимо както при проектиране, така и при оптимизиране на динамиката на РПУ по време на експлоатация.

Литература

- Ковачев В., "Руднични подедни уредби", Техника, София, 1990г.
- Правилник по безопасността на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин, Б-01-02-04, Техника, София, 1971г.
- Technische Anforderungen an Schacht- und Schragforderanlagen –TAS, 1982
- VDI 2358 – Drahtseile fur Fordermittel, VDI-Verlag, GmbH, Dusseldorf, 1984
- Hard Rock Miner's Handbook – Rules of Thumb – Jack de la Vergne, McIntosh Engeneering, Edition 3, 2003
- www.bridon.com и фирмени каталози, 2004
- DIN 21256, 1981