

Разпространение на многовъжените подемни машини по света. Критерии за оптимално приложение

Антоанета Янева

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

РЕЗЮМЕ. Обект на настоящата публикация са най-широко използваните по света много-въжени ПМ за вертикални шахти с голяма и свръхголяма дълбочина. Изследването се ограничава до брой на подемните въжета $n_b \geq 4$; височина на подема $H \geq 600$ m и пускане в експлоатация на машините след 1970 г.

Разгледани са предимствата, недостатъците и критериите за оптимално приложение на многовъжения подем. Статистичните данни са обобщени в табличен вид с най-важните параметри и дават широка представа за разпространението, възможностите и актуалността на многовъжените ПМ. (Разработката може да служи и като учебно помагало).

SPREADING OF MANY-ROPE WINDING MACHINES IN THE WORLD. CRITERIA FOR OPTIMAL APPLICATION

ABSTRACT. The objects of the present publication are the most widely used in the world many-rope winding machines for vertical shafts with abyss and over depth. The research is limited by the number of the winding ropes $n_b \geq 4$; height of winding $H \geq 600$ m and exploitation of machines after 1970.

The priorities, defects and criteria for optimal application of the many-rope winding are presented.

The statistic data is generalized in tables with the most important parameters and gives the idea of spreading, possibilities and actuality of the many-rope winding machines. (This publication may be used as a training aid.)

Увод

В подземните рудници за вертикален транспорт до повърхността се използват рудничните подемни уредби (РПУ). Основното им предназначение е за извоз на полезно изкопаемо и скална маса, както и на хора, добивна и транспортна механизация, електро- и друго оборудване, крепежни и взривни материали и др. По принцип на действие и конструкция подемните машини (ПМ) се разделят на две групи – с барабанен работен орган и с триеща задвижваща шайба. Барабанните биват едно- и двубарабани с постоянен радиус на навиване на въжето и двубарабани с променлив радиус – билиндроконични. Триещата шайба може да бъде едно- и многовъжена.

За последните 60-70 години многовъжените ПМ с брой на въжетата $n_b \geq 4$ са получили най-широко приложение поради необходимостта от преминаване към по-големи работни дълбочини и производителности на рудниците, както и заради компактността си.

Сравнителен анализ на ПМ с многовъжена триеща шайба и с два цилиндрични барабана

Основни предимства на многовъжената подемна машина

- Има значително по-малък диаметър на подемните въжета – d_b , от този при едновъжения подем d_1 заради увеличението им брой – n_b . Зависимостта е:

$$d_b = d_1 / \sqrt{n_b}; \text{ може да се осигури по-добър и}$$

достоверен контрол на състоянието на въжето.

- Диаметърът на работния орган е също по-малък в пропорция като въжетата, което води до по-малък въртящ момент и съответно - мощност на задвижването.
- По-малки размери и маса, голяма компактност – намалени разходи по производство и монтаж; лесен транспорт.
- Дава възможност за издигане на големи товари от големи дълбочини.
- По-безопасни са при работа – задвижващата шайба представлява фрикционна защита срещу прекомерни увеличения на силите в подемните въжета при максимални и аварийни натоварвания (има специални изисквания и ограничения при проектиране – най-вече при избора на ускорения и оразмеряването на спирателната система).
- Не е необходим монтаж на парашутни устройства при необръщателни клетки и $n_b \geq 4$, защото практически е
- невъзможно скъсването на всички въжета едновременно.
- Има възможност за монтаж на ПМ в надшахтната кула, което подобрява условията на експлоатация на подемните въжета – едновременно са предпазени от вредните атмосферни влияния, а също не са натоварени на допълнителни напрежения от огъване и усукване. Друго допълнително предимство в случая е и общото по-благоприятно разположение на повърхностния технологичен комплекс, намалената площ на подемната уредба (ПУ) – 15 % и повече заради липсата на наклонена опора на кулата и отделна сграда за ПМ, поевтиняване на строителната част на надшахтните съоръжения и на самата ПУ и т.н.

- Наличието на долни равновесни въжета осигурява статично ($p=q$) или частично динамично ($p>q$) уравновесяване на подемната система и води до по-равномерно натоварване на двигателя и по-висок к.п.д., а също така повишава сигурността на работа на триещата шайба; ($p, q - N/m$ – линейни тегла съответно на подемните и долните равновесни въжета). Може да се осъществи по-малка обща мощност, а следователно и намалени капитални разходи за самата ПМ.
- Дава възможност за безредукторно високооборотното задвижване – постоянно-токово - и значително понижава експлоатационните разходи;

Недостатъци – за съобразяване при проектиране и експлоатация на многовъжения подем

- Задължителното използване на долни равновесни въжета, въпреки техните предимства, изисква по-големи капитални разходи за купуването и монтажа им.
- Сложно окачване и смяна на подемните и долни равновесни въжета; по-трудоемка поддръжка по почистването и смазването им.
- Затруднен е прегледът и контролът на състоянието на въжетата поради броя, конструкцията и начина им на работа. Невъзможно е разрушаващото изпитване; необходими са специални магнитоиндуктивни и други уреди.
- Има опасност от приплъзване на въжетата по триещата шайба при намаляване на коефициента на триене или при аварийно спиране;
- Неравномерното разпределение на товарите между подемните въжета води до различни напрежения и износване както на въжетата, така и на облицовката в каналите на задвижващата шайба. Необходим е контрол и изравняване на силите.
- Невъзможна е работа на няколко хоризонта при ПУ с два подемни съда (ПС) – този недостатък може да се избегне чрез използване на един ПС и противо-тежест; монтаж на две и повече ПМ в една шахта и други варианти.

Избор на подемна машина

Оразмеряването, изборът и монтажът на един или друг вид ПМ зависи от много фактори – инженерно-конструктивни; експлоатационни; технико-икономически и др.

Необходимостта от новия тип конструкция на многовъжена ПМ се явява, когато се изчерпани възможностите на 2-барабанните машини с цилиндрични барабани ($R = \text{const}$) като: диаметър въже (d_v), диаметър и ширина на барабана; конструктивна и икономическа целесъобразност от увеличаване на параметрите; големи въртящи се маси, голяма мощност на двигателя и икономическа неефективност.

При проектиране на РПУ за по-големи товари и дълбочини може да се обмислят и сравняват варианти на бицилиндро-конична барабанна ПМ с многовъжена триеща задвижваща шайба. При едни и същи начални условия бицилиндро-коничната машина би била с много по-големи размери, тегло и мощност от една компактна 4-, 6- или 8-въжена триеща шайба с всичките й изброени по-горе предимства.

Всички изброени факти налагат необходимостта да се уточнят и проверят възможно повече условия, даващи основание за използване на триеща многовъжена ПМ.

Критерии за оптимално приложение на многовъжения подем

В началото на проектиране на една ПУ трябва да има данни за: годишната производителност на полезно изкопаемо за дадения рудник или количеството, което уредбата ще извозва; вид на полезното изкопаемо; брой хоризонти и система на разкриване и разработване на находището; обем и качество на залежите и срок на експлоатация на рудника; брой, разположение и предназначение на вертикалните шахти (ВШ); дълбочина на ВШ или височина на подема (Н); вид на добивната технология и механизация.

Информация за геоложките условия, водообилност; състав и качества на вместващите скали; устойчивост на почвата на повърхността са също необходими, за да могат да се преценят възможностите за строително-монтажни работи по надшахтната кула и съоръжения, на технологичния комплекс на повърхността, на транспортните връзки и т.н.

Стоманено-бетонната кула на многовъжената ПМ е с много по-голямо тегло от съответната ѝ метална конструкция, освен това времето за построяването ѝ е по-дълго от това за монтаж на другия тип, така че е необходима както якостно-конструктивна оценка, така и организационна. При недостатъчно устойчиви почви може да се премине и към наземен монтаж на многовъжената ПМ с всичките му предимства и недостатъци. В Германия голям брой от 4-въжените ПМ се експлоатират по този начин - аналогично на барабанни ПМ в отделна сграда на повърхността.

Задача на проектанта е накрая да избере оптимален вариант за многовъжен подем според следните условия и параметри (критерии):

- вид и брой на ПУ, работещи в една шахта;
- монтаж на ПМ в подемната кула над ВШ или на повърхността (препоръки за взаимно разположение на подемните машини и за конструкцията на кулата);
- вид и брой на многовъжените ПМ и еднакво или различно ниво на монтаж; необходимост от помощна механизация и обем на монтажно-настроечните работи;
- ъгъл на обхвата на въжето около задвижващата шайба (α_0):
 - $\alpha_0 = 180^\circ$ без отклоняваща шайба, като разстоянието между подемните съдове трябва да бъде равно на диаметъра на триещата шайба;
 - $\alpha_0 > 180^\circ$ (до 195°) с отклоняваща шайба – съответното разстояние може да бъде по-малко и зависи от вида на водещата армировка; в случая се увеличава сигурността на работа, но се повишава и височината на кулата;
- вид на армировката за водене на ПС - твърда или гъвкава с различни схеми на разположение на водачите; изборът ѝ зависи от максималната скорост на движение, от конструкцията на ПС, α_0 на триещата шайба; от праволинейността на ВШ и др.;
- оптимално отношение между капитални и експлоатационни разходи, бързо променящи (у нас) се през последните години, и темпове на развитие на различните производства в отрасъла;

- предварителни препоръки по избора на скоростна диаграма и вид на задвижването – постоянно- или променливотоково; редуторно или без-; вграден двигател или стандартен и др.;
- оптимално отношение между полезен товар (Q_n) и максимална скорост (v_m) – за определянето му трябва да се отчетат основните предимства и недостатъци при промяната на единия или другия параметър – максимална е трудността, когато се касае за големи производителности и дълбочини:
 - нарастването на вместимостта и крайния окачен товар води до нарастване и на динамичните сили през преходните процеси – поради еластичността на подемото въже колебанията на тежък ПС могат да достигнат до няколко метра и да предизвикат и колебания на скоростта на ПМ; има и опасност от приплъзване на въжето по триещата шайба при ускоряване и забавяне отново в следствие на повишената динамика; в същото време скоростта намалява в същата пропорция, а съответно и кинетичната енергия на системата – това облекчава спирачния режим и осигурява по-спокойно движение и водене на ПС във ВШ;
 - увеличаването на Q_n води до по-голямо линейно тегло на подемото въже (p , N/m) и свързаните с това последици – увеличаване на размерите, теглото и мощността на ПМ, както и нарастване на спирачните усилия; в Русия, например, до скоро произвежданите ПС са с $Q_n \leq 55 \text{ m}^3$ (ако полезният товар расте още, расте и времето за разтоварване, увеличава се времето на подемния цикъл и съответно намалява часовата производителност);
 - конструкциите пък на ПМ (тип МК, Русия) са с максимална скорост 16 m/s по условия за динамична якост и бързоходност – ограниченията се налагат заради типа на ПС и вида на водещата армировка; в практиката също така при $v_m > 12 \text{ m/s}$ се наблюдават значителни напречни колебания на долните равновесни въжета;
- гранични възможности на подемната система – зависят от максималното линейно тегло на подемните въжета (материал, конструкция, производител); оптимален брой на подемните въжета; максимална скорост на подема (за конкретния случай); полезно и мъртво тегло на ПС (размери, обем, конструкция, материали, цена); мощност и вид на задвижването.

Разпространение на многовъжените ПМ, фирми-производители

Настоящата публикация няма за цел всеобхватна статистика на ПМ и не претендира за пълна изчерпателност. Основната задача е да се покажат и подчертаят възможностите и актуалността на многовъжения подем.

Още в началото на 50-те години в света работят вече над 60 многовъжени ПМ, около 40 от тях – в Швеция, а останалите – в Канада, Германия, Финландия и ЮАР. В Русия в края на 60-те години многовъженият подем получава широко разпространение в Донецкия басейн за ВШ с $H = 900 \div 1400 \text{ m}$.

За Европа двете най-големи и с традиции фирми за производство на ПМ, ПС, принадлежности за въжета, измервателни системи и др. са: шведската ABB (ASEA Brown Boveri) и немската GHH-Siemag. За Русия и страните от бившия соцлагер основен доставчик беше Донецкият машиностроителен завод (ПМ тип МК и ЦШ). Канадски са другите два наложили се в света производителя: New Era и Herburn Engineering. Над 300 ПМ от различен тип е пуснала в действие и английската фирма Aker Kvaerner.

Фирмата ABB съществува от 1925 г. и повече от 60 години разработва и внедрява над 600 нови подемни машини различен тип, а е модернизирала и стотици други. 1962 г. пуска в действие първата 8-въжена ПМ с първото тиристорно задвижване. GHH-Siemag е достоен конкурент и предлага ПМ тип Кьопе (триеща шайба), барабанны и система Блейер с обикновен или вграден двигател.

В таблица 1 са обобщени данни само за многовъжени ПУ, като представянето е ограничено за брой на подемните въжета $n_v \geq 4$; височина на подема $H \geq 600 \text{ m}$ и начало на експлоатация след 1970 г.

Използвани са следните означения:

- за вида на подемния съд (ПС): С – скип; К – клетка; СК – скипклетка; Т – противотежест;
- за вида на задвижването: ПТ – постоянно-токово (с тиристорен преобразувател; АД – променливотоково асинхронно; WL – система Вард Леонард.

Анализ на прегледаните данни

При изследването от автора са прегледани данни за над 500 действащи РПУ с различен тип ПМ. От тях около 350 са многовъжени, като за Шведските ПМ преобладават тези с 4 въжета, после – с 6 и сравнително по-малко – с 2 въжета. За немските 2- и 4-въжените ПМ са с приблизително равен брой. Руското производство е най-вече с 4-въжени ПМ. Максимални проектни товари за ПМ на GHH-Siemag са до 170 t, като производството е разделено на групи многовъжени триещи шайби до 30 t, до 60 t, до 80 t и над 80 t. При ПМ на ABB съответните товари се движат между 5 и 220 t. За руските машини тип МК тези стойности са 20 до 240 t. Възможностите на произвежданите ПМ и въжета като максимална височина на подема са до около 2000 m.

Диаметрите на задвижващите шайби се движат за шведските ПМ между 1,7 и 7,5 m; за немските – между 1,6 и 8 m и за руските – между 2,1 и 5 m. Работните скорости на експлоатираните машини са в диапазона от 5 до 20 m/s, като най-често за добра ефективност се прилагат 10 до 16 m/s.

Диаметри на подемните въжета – максималните стойности са до 65 mm ($p \leq 255 \text{ N/m}$) за действащите немски и шведски ПМ. Като възможности на производството (напр. фирма Thyssen) параметрите стигат до 80 mm, а при някои специални видове (плоско-оплетени и др.) и до 100 mm – $p \leq 415 \text{ N/m}$.

При около 90 % от многовъжените ПМ задвижването е постоянно-токово и безредукторно. При мощности под 1600 kW може да се срещнат както постоянно-токови, така и променливотокови редуторни задвижвания.

Таблица 1

Разпространение на многовъжените подемни машини

N	Държава, подемна уредба	H, m	F _{ст max} , t	ПС	V _m , m/s	пв	Д _{тш} , m	Задв.	Ндв, kW
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Австралия, К 57	1220	24	С/С	15.3	4	4.75	ПТ	2175
2	Уджър	920	15	С/СК	15	4	3	ПТ	2283
3	Аржентина, Сиера Гранде 700	700	22.3	С/С	12	8	2.5	ПТ	2800
4	Белгия, Св. Катерина	900	12	К/К	16	4	4	ПТ	2840
5	Бразилия, Караиба	750	16.8	С/С	11	8	2.5	ПТ	3200
6	Караиба	750	9	К/Т	6.7	8	2.375	ПТ	550
7	България, Юбилейна	825		К/Т	8	4	4		
8	Рибница, Изворите	525	22,5	К/Т	6	4	2.1	АД	400
9	Голям Палас С	713	17,5	К/Т	8	4	2,25	ПТ	315
10	Мина Росен, N 3	700		С/К	12	4	2.25	ПТ	
11	Германия, Енсдорф С	1450	35	К/К	12	6	5	ПТ	4200
12	Проспер Ханиел	850	22	С/С	18	4	7.5	ПТ	4440
13	Ханс Аден	1023	16	С/С	16	4	7.5	ПТ	2x1400
14	Фридрих Х. 1 С	1000	19.2	С/С	16	4	4.5	ПТ	3620
15	Проспер 10	1400	25	К/Т	12	4	5	ПТ	1500
16	Нидерберг 5 3	780	27.5	К/К	16	4	5	ПТ	2x2400
17	Емил Майриш 3	1200	25.2	К/К	16	4	5.4	ПТ	4800
18	Аугуста. Виктория 8	1130	28	К/К	14	6	5	ПТ	3060
19	Хановер 2	1350	33	С/С	18	4	5	ПТ	2x3200
20	Консолидация N 3	1180	42	С/С	18	6	5	ПТ	2x4600
21	Заир, Кипуши N 5	1475	15	С/С	18	4	4.5	ПТ	2x1750
22	Кипуши N 5	1475	14	К/Т	13.5	4	4.5	ПТ	1750
23	Камото	700	15	С/С	5	4	4	ПТ	2x1180
24	Замбия, Чибулума	1050	6.4	С/С	12	4	2.1	ПТ	1000
25	Чибулума	1050	9.1	К/Т	12	6	2.1	ПТ	1000
26	Миндола 2	980	13.6	С/С	15.3	4	3.66	АД	2x1540
27	Зимбабве, Рейлуей Блок	975	5	С/С	7.6	4	2.29	ПТ	450
28	Индия, Тата Айрон Ко	600	8	С/С	10	6	2.2	ПТ	1100
29	Ядугуда	600	5	К/Т	10	4	2	АД	360
30	Испания, Алберто	1120	12.4	К/Т	10	4	4	ПТ	825
31	Рубиалес	1000	14	С/К	10	4	4,2	ПТ	1600
32	Поцо Сантьяго	724	17	С/Т	13	2	4.5	WL	2x827
33	Сан Йоакин	700	7	С/Т	8	4	3.15	ПТ	815
34	Италия, Бочегано	887	26.5	С/Т	16	6	2.7	ПТ	2600
35	Канада, Брунсуик N 3	1380	27	С/Т	12.7	4	5.33	ПТ	4020
36	Дофин	910	12	С/С	9.5	6	2.2	ПТ	2x600
37	Норанда	1280	16.3	С/С	15.24	4	4.57	ПТ	2812
38	Кид грик N 3	1070	12	С/К	12.2	4	3.35	ПТ	1490
39	Страткона	1525	9,5	К/Т	10	4	2,75	WL	550
40	Кон Майн	2170	11,4		12,6	4	5,33	ПТ	1500
41	Томпсън	1340	8	К/Т	7.6	4	3.9	ПТ	450
42	Томпсън	1310	13.6	С/С	13.3	4	4.6	ПТ	2x1200
43	Китай, Хеганг	1000	12	С/С	9	6	2.3	ПТ	1250
44	Донг Туан	751	12	К/К	12	6	2.8	ПТ	1700
45	Сан Шан Дао Голд майн	702	10,5	К/Т	7,7	5	2,08	ПТ	427
46	Анкинг Копер Майн	771	20	С/С	10	4	4	ПТ	1500
47	Пинг Динг Шан С	820	16	С/С	10	4	4	ПТ	2100
48	Корея, Канг Вон N 3	620	12	С/Т	10	6	2.1	ПТ	880
49	Ханг Сунг	615	12	К/Т	10	4	3.2	ПТ	950
50	Мексико, Такско	600	13	С/Т	10	4	2.5	ПТ	870
51	Сан Игнасио	1220	10	С/С	16.3	6	2.3	ПТ	2100

52	Норвегия, Тверфилет	750	13.5	СК/Т	12	6	2.25	ПТ	1100
53	Фосдаленс Бергверк 5	1540	12,5	С/С	12	4	4	АД	2x1104
54	Полша, Рудна R2	1075	30	С/С	20	4	5.5	ПТ	2x3600
55	Рудна R 1	1034	15	С/С	16	4	4	ПТ	2900
56	Бржешче	695	25	С/С	20	4	5	ПТ	2x2900
57	Полковице Р6	1034	15	С/С	16	4	4	ПТ	3000
58	XXX - Леси	1160	25	С/С	20	4	5	ПТ	2x2900
59	САЩ, Хоумстейк N 6	1360	7.7	С/С	10.7	6	2.1	ПТ	1000
60	Фелпс Додж, Раб.1	1112	1,4	К/Т	7,6	2	1,98	ПТ	100
61	Фелпс Додж, Серв.	751	27.2	С/Т	12.2	4	33.5	ПТ	1900
62	Фелпс Додж, Раб.2	1097	16.3	К/Т	7.6	8	2.54	ПТ	835
63	Турция, Армучук	600	11	К/К	8	4	2,8	ПТ	925
64	Финландия, Раутаруки	1000	7	К/Т	5	4	2	ПТ	220
65	Франция, Ленс 1	1100	13.2	К/К	18	4	5	ПТ	3250
66	Амели	700	19	С/С	14,8	2	7,4	ПТ	2x1440
67	Щафелфелден	880	11.4	С/С	12.6	4	5.33	ПТ	1500
68	Швеция, Стекенъок	1000	14	С/Т	6	8	2.25	ПТ	1200
69	Кристинеберг	760	9	С/С	7	4	5	ПТ	800
70	Гренгесберг	1006	15	С/С	16	8	2.29	WL	785
71	Неслиден	1000	14	С/Т	10	10	1,85	ПТ	550
72	Кируна В4	802	30	С/С	17	4	3.25	ПТ	5600
73	Кируна В3	802	40	С/Т	17	6	3.25	ПТ	4300
74	Перие 1	1000	5.5	К/Т	5.4	4	1.35	ПТ	350
75	Перие 2	800	16	СК/Т	12	8	2.7	ПТ	1700
76	Югославия, РТБ Бор	760	15	К/Т	16	6	2.5	ПТ	1500
77	Стари Търг	880	6	К/Т	6	4	2.24	ПТ	280
78	ЮАР, Премиер N 3	790	10.9	С/Т	4.5	6	2.25	ПТ	335
79	Кофифонтан N 2	1000	5	К/Т	6.1	6	2.2	ПТ	360
80	Уеселтон N 2	1220	5	К/Т	7.6	6	1.5	ПТ	275
81	Уестърн дийп N 3	1890	13.7	С/С	18.3	4	5	АД	2x2208
82	Уест Драйфонтейн N 3	1190	11	С/Т	15,3	2	5,34	ПТ	1545
83	Вал Рийф С N 2	2100	12.8	С/С	18.3	4	5.25	АД	2x2208
84	Япония, Понбецу	1260	12	С/С	16	2	5.6	ПТ	1400

През последните години се разработват и налагат системи на задвижване със синхронни двигатели и цифрово управляеми конвертори, които успешно конкурират постоянно-токовите двигатели при големите мощности.

За ПМ на фирмата GHH около 70 % от използваните спирачки са с челюстен работен орган. Шведските и канадски фирми произвеждат и оборудват машините в по-голямата им част с дискови спирачки.

Като място на монтаж на многовъжената триеща шайба за тях е характерно разположение най-вече в подезната кула над вертикалната шахта. Наземен монтаж може да се срещне при средните и големи работни товари, диаметри на шайбите и мощности за РПУ в Германия, Испания, Франция.

Заключение

Новото и приносът на направеното изследване е:

- по-многогранно са разгледани и уточнени критериите за избор на многовъжена ПМ;
- оптимизирани са възможностите за варианти при проектиране;

- подбрани, прегледани и обобщени са данни за многовъжени ПМ – руско, немско, шведско и канадско производство, използвани във ВШ по цял свят;
- избрани са най-показателните според автора параметри за лесно сравнение и представа за възможностите на многовъжения подем;
- направен е обобщаващ анализ по групи параметри.

Литература

- Йочев И. Щ., 2002, *Изследване на състоянието и избор на решение за модернизация на рудничните подезни уредби в системата на Горубсо, дисертационна работа.*
- Картавий Н.Г., 1981, *Стационарни машини*, М. Недра.
- Янева А., Переновски Н., 2003, *“Ръководство за упражнения по РПУ”*, издателска къща МГУ.
- ABB – ASEA Brown Boveri, 2002.
- GHH-Siemag, 2001.
- Thyssen- Krupp- Foerdertechnik, 1998.